

Relatório de Atividade Profissional

Nelson João Viegas Gago

Relatório para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica e Eletrónica
Área de Especialização: Sistemas de Energia e Controlo

Trabalho efetuado sob orientação de:
Professor Doutor Luís Manuel Ramos Oliveira

Relatório de Atividade Profissional

Nelson João Viegas Gago

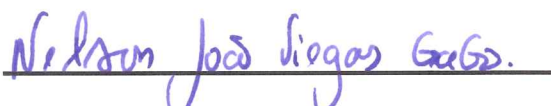
Relatório para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica e Eletrónica
Área de Especialização: Sistemas de Energia e Controlo

Trabalho efetuado sob orientação de:
Professor Doutor Luís Manuel Ramos Oliveira

Declaração de autoria de trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Faro, 24 de janeiro de 2015


(Nelson João Viegas Gago)

Copyright de Nelson João Viegas Gago

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

O mais profundo agradecimento a todos aqueles que contribuíram para a concretização deste relatório.

À minha família e em particular à minha esposa e filhos pela disponibilidade e paciência, dando-me o tempo e o estado de espírito necessários ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador Professor Luís Oliveira pela orientação metódica e perspicaz e pelo constante incentivo, confiança e disponibilidade que sempre demonstrou.

Aos meus colegas de trabalho, em particular ao Eng.º Santana, que se manifestaram sempre disponíveis.

A todos, muito obrigado.

Resumo

Os desafios colocados aos engenheiros de manutenção e reabilitação das infraestruturas técnicas são desde sempre extremamente exigentes. O percurso profissional nesta área requer um permanente esforço de consolidação de técnicas de engenharia e de aprendizagem de novos conhecimentos.

Neste contexto foi necessário responder aos desafios que foram sendo encontrados em domínios tão vastos como: projeto de instalações elétricas, eficiência energética, manutenção de infraestruturas e equipamentos elétricos e de climatização, gestão de edifícios, qualidade de energia elétrica, eletrónica de potência, entre outros. O percurso profissional inclui ainda atividade de docente no ensino superior politécnico no Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve.

O presente trabalho tem como objetivo principal apresentar uma descrição das tarefas desempenhadas no âmbito da atividade profissional nos Serviços Técnicos da Universidade do Algarve e também como docente no Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve.

Palavras-chave: Qualidade de energia elétrica, manutenção de infraestruturas em edifícios, central fotovoltaica, filtro ativo de potência e simulação em ambiente Simulink.

Abstract

The challenges to maintenance engineers and rehabilitation of the technical infrastructure are always extremely demanding. The career path in this area requires an ongoing effort to engineering techniques and consolidation of new knowledge learning.

In this context it was necessary to meet the challenges that have been found in such broad areas as: Design electrical installations, energy efficiency, maintenance of infrastructure and electrical and air conditioning, building management, power quality and power electronics. The career includes teaching activity in polytechnic education at the Institute of Engineering, University of Algarve.

This paper aims to present a description of the tasks performed within the professional activity in the Algarve University of Technical Services and as a lecturer at the School of Engineering, University of Algarve. This report also presents a study on the effects, consequences and mitigation strategies harmonic disturbances in electrical installations.

Keywords: power quality, maintenance of infrastructure in buildings, photovoltaic plant, active power filter and simulation in Simulink environment.

Índice Geral

Declaração de autoria de trabalho	i
Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice Geral	v
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xi
Índice de Anexos	xi
1. Introdução	1
2. Atividades Desenvolvidas / Curriculum Vitae	2
2.1. Percurso académico.....	2
2.1.1. Habilitações académicas	2
2.1.1.1. Grau de bacharel	2
2.1.1.2. Grau de licenciado (pré-Bolonha)	2
2.1.1.3. Frequência de pós-graduação	3
2.1.2. Habilitações profissionais	3
2.1.2.1. Técnico Superior de Higiene e Segurança no Trabalho.....	3
2.1.2.2. Formador.....	3
2.1.3. Formação profissional	3
2.1.3.1. Cursos de formação profissional.....	4
2.1.3.2. Seminários assistidos	5
2.2. Atividade profissional	8
2.2.1. Resumo da atividade nos Serviços Técnicos da Universidade do Algarve	8

2.2.2.	Projetista de instalações elétricas.....	15
2.2.2.1.	Residência para docente - Solar do Alto	16
2.2.2.2.	Candidatura ao Programa Operacional Algarve 21: Instalação de Central Fotovoltaica e adoção de medidas de eficiência energética na vertente de iluminação.....	18
2.2.2.3.	Descrição técnica de funcionamento da Central Fotovoltaica	23
2.2.3.	Elaboração de estudos de eficiência energética	26
2.2.3.1.	Instalação de reguladores de fluxo luminoso	26
2.2.3.2.	Plano energético para a Universidade do Algarve	29
2.2.3.3.	Candidatura ao Prémio EDP/2014	32
2.2.4.	Docente no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve	35
2.2.4.1.	Trabalhos práticos propostos para a disciplina de Eletrónica de potência	35
2.2.4.1.1.	Conversor comutado com IGBT	36
2.2.4.1.2.	Ponte retificadora monofásica	36
2.2.4.1.3.	Ponte retificadora trifásica	37
2.2.4.1.4.	Conversores DC-DC em ambiente PSpice.....	38
2.2.4.2.	Trabalhos práticos propostos para a disciplina de Acionamentos Eletromecânicos	38
2.2.4.2.1.	Inversor de tensão monofásico em ambiente PSpice.....	39
2.2.4.2.3.	Inversor de trifásico em ponte	39
2.2.4.2.3.	Estudo de um variador eletrónico de velocidade	40
2.2.4.2.4.	Estudo das curvas características de um motor de assíncrono com variação eletrónica de velocidade	41
2.2.4.2.5.	Acionamento de motor assíncrono com variador eletrónico de velocidade industrial	42
2.2.4.3.	Trabalhos práticos propostos para a disciplina de Eletrónica de Regulação e Comando	43

2.2.4.3.1. Estudo das características dos semicondutores de potência, em ambiente PSpice.....	44
2.2.4.3.2. Transístores bipolares de junção (BJT).....	45
2.2.4.3.3. Dispositivos com tecnologia MOSFET	46
3. Qualidade de Energia.....	47
3.1. Problemas de Qualidade da Energia Elétrica [3], [4].....	47
3.1.1. Cava de tensão (sags).....	48
3.1.2. Sobretensão temporária (swell).....	49
3.1.3. Interrupção breve.....	50
3.1.4. Distorção harmónica de tensão	51
3.1.5. Fator de Potência [3]	52
3.2. Custos inerentes às perturbações da qualidade de energia elétrica [4]..	54
3.2.1. Avaliação de custos.....	55
3.2.2. Estimativa de custos.....	56
3.3. Soluções para Problemas de Qualidade de Energia.....	57
3.3.1. Filtros passivos LC	57
3.3.2. Banco de condensadores	58
3.3.3. Fontes de alimentação ininterrupta.....	58
3.3.4. Filtro ativo paralelo	61
3.3.5. Filtro ativo série	62
3.3.6. Filtro ativo série-paralelo	63
4. Simulação de Aplicação de Filtro Ativo Paralelo a Cargas Reais das Instalações da Universidade do Algarve	64
4.1 Vantagens da utilização de ferramentas de simulação [5]	64
4.2. <i>Matlab / Simulink e SimPowerSystems [5]</i>	65
4.3. Filtro Ativo Paralelo de Potência [6]	66
4.3.1. Teoria p-q	66

4.3.2. Controlo de filtros ativos paralelos.....	69
4.4. Aquisição de dados	72
4.5. Caracterização de cargas	73
4.6. Simulação através de Simulink / Matlab.....	74
4.6.1. Carga não linear	76
4.6.2. Filtro ativo de potência.....	77
4.6.3. Comando dos semicondutores	78
4.6.4. Cálculo de potência ativa, reativa e correntes compensação	79
4.7. Análise de resultados	80
5. Conclusões	82
Bibliografia.....	83

Índice de Figuras

Fig. 2.1 – Edifício dos Serviços Técnicos.....	9
Fig. 2. 2 – Edifício de Residência de docentes (Solar do Alto).....	16
Fig. 2. 3 - Diagrama de quadros elétricos do edifício solar do Alto.	17
Fig. 2. 4 – Cobertura do edifício 8/9 do Campus de Gambelas.....	23
Fig. 2. 5 – Esquema elétrico de princípio de funcionamento.....	25
Fig. 2. 6 - Colunas de iluminação de 8 m em ambos os <i>Campi</i>	27
Fig. 2. 7 – Reguladores de Fluxo Luminoso.....	29
Fig. 2. 8 – Conversor comutado por IGBT.....	36
Fig. 2. 9 – Ponte retificadora monofásica.	37
Fig. 2. 10 – Ponte retificadora trifásica.....	37
Fig. 2. 11 – Conversor DC-DC (reductor).....	38
Fig. 2. 12 – Simulação de inversor monofásico.....	39
Fig. 2. 13 – Estudo de um inversor trifásico em ponte.	40
Fig. 2. 14 – Variador eletrónico de velocidade com motor de indução.....	41
Fig. 2. 15 – Obtenção das características de funcionamento de motor assíncrono.....	42
Fig. 2. 16 – Acionamento de motor assíncrono com variador eletrónico de velocidade.....	43
Fig. 2. 17 – Estudo das características dos semicondutores de potência, em ambiente PSpice.	44
Fig. 2. 18 – Transístor bipolar de junção.....	45
Fig. 2. 19 – Dispositivo com tecnologia MOSFET.	46
Fig. 3. 1 - Exemplo de cava de tensão.....	48
Fig. 3. 2 - Exemplo de sobretensão.....	49
Fig. 3. 3 – Exemplo de interrupção momentânea.....	51
Fig. 3. 4 – Exemplo de distorção harmónica.	52
Fig. 3. 5 – Filtro passivo LC.....	58
Fig. 3. 6 – Diagrama simplificado de UPS estática.....	59

Fig. 3. 7 – Diagrama simplificado de UPS interativa.	60
Fig. 3. 8 – Diagrama simplificado de UPS online.	60
Fig. 3. 9 – Diagrama simplificado de filtro ativo paralelo.	61
Fig. 3. 10 – Diagrama simplificado de filtro ativo série.	62
Fig. 4. 1 - Esquema de potências na teoria p-q.....	68
Fig. 4. 2 - Diagrama de potências num sistema elétrico com harmónicos e desequilibrados e cujas correntes são compensadas por filtro ativo de potência	69
Fig. 4. 3 – Equipamento instalado.....	72
Fig. 4. 4 – Espectrogramas das correntes da carga 3.....	74
Fig. 4. 5. – Esquema Geral (Simulink).....	75
Fig. 4. 6 - Carga não linear (bloco Simulink).	76
Fig. 4. 7 – Filtro ativo de potência (bloco Simulink).	77
Fig. 4. 8 – Comando dos semicondutores (bloco Simulink).	78
Fig. 4. 9 – Cálculo de potência ativa, reativa e correntes compensação (bloco Simulink).....	79
Fig. 4. 10 – Formas de onda das tensões de entrada e correntes de entrada e saída.	80
Fig. 4. 11 – Formas de onda das correntes de compensação e de neutro.	81

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Componentes, ações e orçamento total, por componente e Ação “Impulso Verde da Universidade do Algarve”.....	20
Tabela 2 – Consumos e custo de eletricidade do <i>Campus</i> de Gambelas de 2012.	21
Tabela 3 - Poupanças estimadas nos consumos de eletricidade no Campus de Gambelas associadas à implementação do projeto.	22
Tabela 4 - Cálculo das amortizações parciais e total da aquisição dos reguladores.....	28
Tabela 5 - Distorção harmónica total, inicial, para cada carga.....	73
Tabela 6 - Distorção harmónica total, final, para cada carga.....	81

Índice de Anexos

Anexo A - Diplomas e certificados de participação em cursos e seminários;	
Anexo B - Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011;	
Anexo C - Projeto de instalações elétricas, residência de docentes;	
Anexo D - Projeto de instalações elétricas, central fotovoltaica;	
Anexo E - Estudo de eficiência energética – Instalação de reguladores de fluxo luminoso;	
Anexo F - Plano energético para a Universidade do Algarve;	
Anexo G - Certificados de participação no prémio EDP/2014;	
Anexo H - Enunciados dos trabalhos práticos.	

1. Introdução

O presente Relatório foi elaborado ao abrigo do despacho reitoral RT 33/2011 - Obtenção do Grau de Mestre pelos Licenciados Pré Bolonha, para a obtenção de grau de Mestre em Engenharia Elétrica e Eletrotécnica, Ramo de Sistemas de Energia e controlo do Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve. Tendo o mesmo sido elaborado de acordo com as normas estipuladas no Regulamento n.º 286/2012 de 24 de julho.

No capítulo de Atividades Desenvolvidas / Curriculum Vitae descreve-se o percurso académico (cursos frequentados, Instituições, classificações obtidas e títulos de trabalhos finais de cursos realizados), assim como, a atividade profissional realizada na Universidade do Algarve, nomeadamente nos Serviços Técnicos e no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia.

No terceiro capítulo encontra-se um breve resumo sobre a qualidade de energia elétrica, bem como, os principais problemas e soluções possíveis de serem adotadas.

Por fim é exposto o trabalho de simulação, em ambiente Matlab / Simulink, de funcionamento de diversas cargas reais (datascenter, iluminação por lâmpadas fluorescentes compactas e LEDs) com a introdução de um filtro ativo de potência de modo a melhorar a qualidade de energia elétrica.

2. Atividades Desenvolvidas / Curriculum Vitae

2.1. Percurso académico

2.1.1. Habilitações académicas

2.1.1.1. *Grau de bacharel*

O curso de Bacharelato em Engenharia Elétrica e Eletrónica, ramo de Sistemas de Energia e Controlo, foi efetuado na Escola Superior de Tecnologia (atual Instituto Superior de Engenharia) da Universidade do Algarve com duração de quatro anos, entre 1997 e 2001, em que a média final foi de 15 valores.

O trabalho final de curso teve como tema “Auditoria Energética (vertente elétrica)” realizada aos edifícios da Escola Superior de Tecnologia e Administração/Reitoria do Campus da Penha” e foi orientado pelos Prof.ºs Ana Beatriz Azevedo e Luís Oliveira.

2.1.1.2. *Grau de licenciado (pré-Bolonha)*

O curso de Licenciatura em Engenharia Elétrica e Eletrónica, ramo de Sistemas de Energia e Controlo, foi efetuado na Escola Superior de Tecnologia (atual Instituto Superior de Engenharia) da Universidade do Algarve com duração de quatro anos, entre 2001 e 2003, em que a média final foi de 15 valores.

O trabalho final de curso teve como tema “Sistema Móvel de Aquisição de Dados de uma Via Rodoviária” e foi orientado pelo Prof.º Paulo Santos.

2.1.1.3. *Frequência de pós-graduação*

Frequência de parte letiva do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra entre 2004 e 2006, com aprovação das seguintes disciplinas:

1. Organização e Gestão da Manutenção;
2. Qualidade de Energia;
3. Gestão de Energia em Edifícios e Indústria;
4. Organização e Gestão de Sistemas de Energia Elétrica.

2.1.2. *Habilitações profissionais*

2.1.2.1. *Técnico Superior de Higiene e Segurança no Trabalho*

Certificado de Aptidão Profissional de Técnico Superior de Segurança e Higiene do Trabalho, desde fevereiro de 2008, pela Autoridade para as Condições do Trabalho, certificado n.º 0802/11658/02.

2.1.2.2. *Formador*

Certificado de Aptidão Profissional de Formador, desde outubro de 2006, pelo Instituto do Emprego e Formação Profissional, certificado n.º EDF 418657/2006DG.

2.1.3. *Formação profissional*

De seguida, apresenta-se uma listagem de todos os cursos de formação profissional, bem como de todos os seminários assistidos, em que os comprovativos encontram-se no Anexo A.

2.1.3.1. Cursos de formação profissional

1. Curso de “*Projeto e Instalação de Infraestruturas de Telecomunicações em Loteamentos, Urbanizações e Conjuntos de Edifícios (ITUR)*”, promovido pela TELECERT com a duração de 25 horas;
2. Curso de “*Projeto e instalação de Infraestruturas de Telecomunicações em Edifícios (ITED)*”, promovido pela TELECERT, com a duração de 50 horas;
3. “*Curso de Formação de Peritos Qualificados – Módulo RSECE – QAI*”, promovido pela Universidade do Algarve, com a duração de 24 horas;
4. Curso de “*Projeto de Sistemas Fotovoltaicos*”, promovido pela IXUS – Formação Profissional, com a duração de 30 horas;
5. Curso de “*Tutoria Electrónica*”, promovido pela Universidade do Algarve com a duração de 18 horas;
6. Curso de “*SIADAP para Avaliadores – O Papel do Avaliador na Avaliação de Desempenho*”, promovido pela Universidade do Algarve com a duração de 30 horas;
7. Curso de “*Segurança e Higiene no Trabalho*”, promovido pela Universidade do Algarve com a duração de 18 horas;
8. Curso de “*Publicação de Conteúdos no Portal da Universidade*”, promovido pela Universidade do Algarve com a duração de 12 horas;
9. Curso de “*Técnico Superior de Segurança e Higiene no Trabalho, nível V*”, promovido pela Studytrab com a duração de 650 horas;
10. Curso de “*Office XP*”, promovido pela Formalgarve, com a duração de 155 horas;
11. Curso de “*Projectista de Redes de Gás*”, promovido pelo Instituto Tecnológico de Gás, com uma duração de duas semanas e com média final de 16 valores;
12. Curso “*Análise de Risco*”, promovido pela EcoSaúde, com uma duração de 39 horas;

13. Curso "*Labview Hands-on*", promovido pela National Instruments;
14. Curso "*Electrical Variable Speed Drives*", promovido pela Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve e pelo Prof. Manfred Schulze da Universidade FH-Zwickau, Alemanha, com uma duração de 12 horas;
15. Curso "*Digital Processing and Applications using VEE-Software*", promovido pela Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve e pelo Prof. Juergen Kloetzner da Universidade FH-Zwickau, Alemanha, com a duração de 10 horas;
16. Curso "*Amplificação de Microondas*", promovido pela Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve e pelo Prof. Vicent Didier da Universidade St. Etienne, França, com a duração de 8 horas.

2.1.3.2. Seminários assistidos

1. Seminário "*Contratação Pública e Portal Base*", promovido pela CCDR/Algarve, a 29 de setembro de 2014;
2. Seminário "*2º Seminário – higiene e Segurança no Trabalho*", promovido por PREVIGARB, a 1 de fevereiro de 2013;
3. Seminário "*Mobilidade Sustentável, o Futuro do Automóvel – Visão Toyota*" promovido por Caetano Auto (Algarve), a 11 março de 2011
4. ;Seminário "*Roadshow do Sistema Nacional de Compras Públicas (SNCP)*" da Agência Nacional de Compras Públicas, EPE, em 26 novembro de 2009.
5. Seminário "*Sistemas de Aquecimento Residencial*", Altherma-Daikin, no ISE a 7 outubro de 2009;

6. Seminário “*Eficiência Energética*”, promovido pela Câmara Municipal de Tavira, a 29 de maio de 2008;
7. Seminário “*Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão*”, promovido pela CERTIEL, a 23 de abril de 2007;
8. Seminário “*Eficiência energética em Edifícios*”, promovido pela CCDR_Algarve, a 12 de abril de 2007;
9. Seminário de “*Protecção Contra Descargas Atmosféricas*”, promovido pela QEnergia e Infocontrol, em maio de 2005;
10. Seminário técnico e comercial “*Sistemas de Vídeo Porteiro*”, promovido pela Fermax, na Rolear em Faro, a 17 de maio de 2004;
11. Seminário “*Protecções Contra Sobretensões*”, promovido pela Weidmuller, a 3 de maio de 2004;
12. Seminário “*Dia de Luxo da Siemens*”, na Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve, 16 fevereiro de 2004;
13. Seminários “*4 dias, 4 temas*” na firma Rolear, sobre “*Linha de novos produtos; Accionamentos e automatismos; Projectistas e instaladores de média tensão; Projectistas e instaladores em uso residencial, armários e catálogo do electricista (Merlin Gerin/Schneider)*”, Faro, em 9, 10, 15 e 18 de julho de 2002;
14. Jornada de Electricidade na DGE, sobre “*Média tensão e respectivos equipamentos (Efacec)*”, Faro, em 21 de junho de 2002;
15. Seminário de “*Produção e Utilização de Energia Térmica e Electricidade na indústria e nos Edifícios*”, na Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve, 1 de fevereiro de 2002;
16. Jornadas de Electricidade na DGE, sobre “*Aparelhos de protecção diferencial e aparelhos de protecção contra sobrecorrentes*”, Faro em 20 de abril de 2001 e 25 de maio de 2001;

17. Conferência de "*Ética e Deontologia*", na Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve, 14 fevereiro de 2001;
18. Seminário de "*Energias Renováveis*", na Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve, 9 de novembro de 2000;
19. Seminário de "*Ambiência Luminotécnica*", na Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve, 8 de novembro de 2000;
20. Seminário de "*Tecnologias de Informação na Monitorização das Condições de Produção Agrícola*", na Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve, 7 de novembro de 2000;
21. Seminário de "*Tecnologias Versus Ambiente*", na Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve, 6 de novembro de 2000;
22. Conferência "*Supervisão e Controlo Remoto de Emissores de Radiodifusão*", na Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve, 6 de maio de 2000;
23. Conferência "*Arquitectura Luminotécnica*", na Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve, 18 de março de 2000;
24. Conferência "*Análise Funcional de Sistemas de Informação – Metodologias e Ferramentas*", na Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve, 26 de fevereiro de 2000;
25. Seminário sobre "*Automação & Accionamentos Luminotecnica & Gestão Técnica de Edifícios Soluções Globais*", na Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve, 26 de fevereiro de 2000;

2.2. Atividade profissional

Esta secção aborda as atividades profissionais desenvolvidas nos Serviços Técnicos, começando por descrever resumidamente as principais funções.

Posteriormente, apresentam-se alguns dos trabalhos realizados com maior relevância na área da Engenharia Eletrotécnica, nomeadamente, os projetos de instalações elétricas do edifício Solar do Alto (residência para docentes) e Central Fotovoltaica.

Por fim, apresenta-se uma descrição das funções de docente no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia.

2.2.1. Resumo da atividade nos Serviços Técnicos da Universidade do Algarve

A Universidade do Algarve é composta de três *Campi* na cidade de Faro, (*Campus* Penha, *Campus* Gambelas e *Campus* da Saúde), um Centro de Investigação de Ciências do Mar, sito no esteiro do Ramalhete, junto à Ria Formosa e ainda um *Campus* na cidade de Portimão.

Em todos estes locais as instalações são próprias, tendo as mesmas vindo a ser remodeladas, ampliadas e mantidas sob orientação dos Serviços Técnicos da Universidade do Algarve, ao longo de trinta e cinco anos, com exceção do *Campus* da Saúde, cuja construção foi efetuada pelo Ministério da Saúde, sob orientação da Direção das construções hospitalares do Sul.

A Universidade do Algarve ministra cursos em diversas áreas Científicas dispondo assim de uma variedade considerável de infraestruturas a saber: salas de aula, auditórios, anfiteatros, laboratórios de ensino, investigação e prestação de serviços ao exterior, gabinetes, secretarias, bibliotecas, arquivos, *data centers*, garagens, oficinas, bares, cantinas e residências de estudantes (os três últimos sob administração dos Serviços de Ação Social da Universidade do Algarve).

Os Serviços Técnicos da Universidade do Algarve constituem uma das Direções de Serviços da Universidade do Algarve, exercendo as suas competências no domínio da construção, manutenção, conservação, reabilitação, segurança de edifícios e equipamentos e limpezas interiores e exteriores.

Estes Serviços estão sediados no *Campus* da Penha, Fig. 2.1, e integram, conforme os estatutos em vigor, a Divisão de Manutenção, Qualidade e Segurança e o Núcleo de Infraestruturas e Construções.

Fazem parte destes Serviços 48 funcionários (em dezembro de 2014), que se distribuem nas mais variadas categorias: técnicos superiores, técnicos de instalações (eletricidade, canalização e carpintaria), guardas-noturnos, motoristas, auxiliares de ação educativa e assistentes administrativos.

Na prática, dado o reduzido número de técnicos superiores e técnicos operacionais, a Divisão de Manutenção, Qualidade e segurança e o Núcleo de infraestruturas e construções, não se encontra concretizado de uma forma rígida, atuando todos os funcionários de uma forma polivalente.



Fig. 2.1 – Edifício dos Serviços Técnicos.

Compete aos Serviços Técnicos:

1. Elaborar planos, estudos e projetos de desenvolvimento físico da Universidade;
2. Organizar e lançar os procedimentos, gerir todos os processos de empreitadas e aquisição de bens relativos a edifícios, equipamentos e infraestruturas que a universidade decida promover, quer sejam de construção, de manutenção ou de reabilitação;
3. Elaborar planos de manutenção e conservação dos edifícios, infraestruturas, equipamentos e espaços exteriores, assegurando a organização das necessárias ações para concretização dos planos elaborados;
4. Promover a implementação de procedimentos no âmbito das disposições legais sobre saúde higiene e segurança das instalações e equipamentos;
5. Gerir os espaços e imóveis;
6. Assegurar a eficiência energética dos *Campi*.

Após ingressar nos Serviços Técnicos a dois de novembro de 1999 e, posteriormente, com a conclusão da licenciatura em Engenharia Elétrica e Eletrotécnica, ramo de Sistemas de Energia e Controlo, na Escola Superior de Engenharia (atual Instituto Superior de Engenharia) da Universidade do Algarve, iniciou funções de coordenação em diversas áreas dos serviços referidos, nomeadamente na Divisão de Manutenção, Qualidade e Segurança.

Nestes serviços e através da Divisão de Manutenção, Qualidade e Segurança são efetuadas as seguintes funções:

1. Coordenação de ações de manutenção, reparação, remodelação e aquisição de equipamentos nas áreas de:
 - a. Infraestruturas elétricas de baixa e média tensão;
 - b. Instalações de ar condicionado, aquecimento e ventilação, centrais ou individuais, efetuando também a sua condução e monitorização;
 - c. Infraestruturas de telecomunicações, no âmbito de voz;
 - d. Instalações especiais de ar comprimido, alarmes de intrusão, vídeo vigilância e deteção de incêndios.
2. Apoio à área da mecânica no âmbito da coordenação de ações de manutenção, reparação, remodelação e aquisição de centrais de bombagem de águas residuais domésticas e pluviais e seus quadros de alimentação, comando e controlo;
3. Apoio à área da mecânica no âmbito da gestão de contratos de manutenção de elevadores e monta-cargas;
4. Apoio a ações pontuais de serralharia e carpintaria;
5. Coordenação e apoio, em todas as ações de manutenção, aos sete postos de transformação e ao posto de seccionamento da Universidade, incluindo os sistemas de telecontagem e gestão de energia;
6. Gestão do contrato de manutenção das três centrais telefónicas da Universidade, a funcionar em rede, comportando aproximadamente 1.600 extensões, incluindo sistema de taxação. Neste âmbito, compreende ainda, a coordenação de todas as ações sobre a rede de telecomunicações e equipamentos terminais.
7. Funções de Gestor Local de Energia e Carbono (GLEC), pela Universidade do Algarve, do programa ECO-AP, de acordo com a Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011 [Anexo B].

8. Participação e apoio às inspeções e ações de manutenção dos elevadores (trinta e oito) e monta-cargas (dois) existentes na Universidade do Algarve;
9. Participação na abertura e análise de propostas de concursos públicos e consultas prévias, para adjudicação de empreitadas de obras e/ou aquisição de equipamentos. Neste âmbito, destacam-se os seguintes concursos:
 - a. Empreitada de Remodelação da Iluminação Interior do Átrio de Entrada da Escola Superior de Educação e Comunicação no *Campus* da Penha, no valor de 10.000 €;
 - b. Empreitada de Adaptação nos Espaços H10, J9, J19 e J24 do *Campus* de Gambelas, no valor de 25.897,63 €;
 - c. Empreitada Remodelação dos Espaços G's e E's, nos Pavilhões de Alvenaria de Gambelas, no valor de 319.800,00 €;
 - d. Empreitada de Beneficiação do Edifício do Ramalhete, no valor de 119.940,20 €;
 - e. Aquisição de Seguro de Frota para as Viaturas da Universidade do Algarve, no valor anual de 1.836,06 €;
 - f. Aquisição de Serviços de Monitorização Remota do Alarme de Intrusão, do Centro de Ciências do Mar (Ramalhete), no valor anual de 251,83 €;
 - g. Aquisição e Instalação de Climatização para Centro de Dados, no valor de 54.796,50 €
 - h. Empreitada de construção do edifício, para o curso de medicina da Universidade do Algarve – 2ª fase do edifício 2 da Faculdade de Ciências e Tecnologia, no valor de 2.693.700,00 €;
 - i. Empreitada de remodelação, do edifício do Solar do Alto, para residência de docentes convidados, no valor de 220.847,20 €;

- j. Empreitada de construção dos corpos C e D do Complexo Pedagógico do *Campus* da Penha – Biblioteca, no valor de 2.841.080,00 €;
- k. Empreitada de construção da 2ª fase do edifício da Unidade de Ciências de Tecnologias e Recursos Aquáticos (ed. 7) do *Campus* de Gambelas, no valor de 3.602.928,00€;
- l. Empreitada de construção do edifício das Unidades de Ciências Económicas e Empresariais e Unidade de Ciências e Tecnologias Agrícolas, no valor de 9.313.294,00€;
- m. Empreitada de construção da conclusão do edifício de Engenharia Civil, no valor de 361.276,20 €;
- n. Aquisição de serviços para reparação das infraestruturas telefónicas dos *Campi* da Universidade, no valor anual de 17.372,72 €;
- o. Fornecimento/Substituição do Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT), para o posto de Transformação do Centro de Ciências do Mar (Ramalhete), no valor de 17.385,20 €;
- p. Fornecimento de grupo eletrogéneo (gerador), para os serviços de Informática (edifício 1), no *Campus* de Gambelas, no valor de 25.830,00 €;
- q. Fornecimento de grupo eletrogéneo (gerador), para os laboratórios D's e G's dos pavilhões de alvenaria, no *Campus* de Gambelas, no valor de 24.264,81 €;
- r. Fornecimento de Sistema de Compensação de Energia Reativa, para o *Campus* da Penha, no valor de 9.088,18 €;
- s. Fornecimento de Sistema de telecontagem a instalar nos postos de transformação do *Campus* de Gambelas, no valor de 37.158,65 €;

- t. Empreitada de abertura de vãos e claraboias e respetiva motorização nos edifícios do *Campus* da Penha (nos anfiteatros do complexo pedagógico e no Edifício de Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia), no valor de 54.536,40 €
 - u. Fornecimento de Sistema de Compensação de Energia Reativa para a Escola Superior de Saúde, no valor de 3.382,50 €;
 - v. Fornecimento de quadro elétrico de baixa tensão e sistema de compensação de energia reativa, para o Centro de Ciências do Mar (Ramalhete), no valor de 15.221,25 €;
 - w. Realização de auditoria energética com vista à certificação energética e qualidade do ar interior, dos edifícios dos *Campi* da Penha, Gambelas e Saúde, no valor de 390.240,00 €;
 - x. Reparação dos chiller`s do edifício 8/9, no *Campus* de Gambelas, no valor de 11.740,35 €;
10. Funções de coordenador de segurança em obra, em diversas empreitadas, de 2014, as principais que ainda decorrem são:
- a. Empreitada de Remodelação dos Espaços G's e E's, nos Pavilhões de Alvenaria de Gambelas;
 - b. Empreitada de beneficiação do Edifício do Ramalhete.
11. Funções de diretor de fiscalização de diversas empreitadas, sendo que, em 2014, as principais foram:
- a. Empreitada de Remodelação da Iluminação Interior do Átrio de Entrada da Escola Superior de Educação e Comunicação no *Campus* da Penha;
 - b. Empreitada de Adaptação nos Espaços H10, J9, J19 e J24 do *Campus* de Gambelas;
 - c. Colaboração nas áreas de eletricidade, telecomunicações, climatização, produção de água quente, e instalações especiais, na remodelação do edifício Solar do Alto.
12. Coordenação e apoio, em todas as ações de remodelação e manutenção das redes de gás propano bem como dos reservatórios

instalados nos *Campi* da Penha, Gambelas e Saúde, incluindo o acompanhamento e apoio às inspeções periódicas obrigatórias;

13. Colaboração pontual, quando solicitada, com os Serviços de Ação Social da Universidade do Algarve em estudos e pareceres na sua área de especialidade;
14. Execução de diversos projetos de instalações elétricas para as demais remodelações/ampliações efetuadas na Universidade do Algarve. Pela sua importância técnica destes trabalhos apresentam-se de seguida os dois mais relevantes: a remodelação do edifício do Solar do Alto e o projeto de instalação de central fotovoltaica de 70 kVA.

2.2.2. Projetista de instalações elétricas

Os principais projetos de instalações elétricas efetuados, nos Serviços Técnicos, foram a Remodelação do Solar do Alto (residência de docentes) e a Central Fotovoltaica do edifício 8/9 do *Campus* de Gambelas, que se descrevem de seguida.

2.2.2.1. Residência para docente - Solar do Alto

O edifício do Solar do Alto, Fig. 2.2, foi adquirido pela Universidade do Algarve em 1986 para residência de alunos, tendo sido reconvertido para a sede dos Serviços de Ação Social em 1998.

No ano de 2011 através do financiamento, a fundo perdido, da Caixa Geral de Depósitos foi efetuada uma remodelação de modo a possibilitar o alojamento de 9 docentes convidados. Tratou-se de uma remodelação de todo o edifício, incluindo todas as diversas instalações/infraestruturas, tendo sido uma empreitada no valor 220.847,00 €, por 6 meses.

Todos os projetos das especialidades foram elaborados por docentes do Departamento de Engenharia Civil, exceto as infraestruturas elétricas, de telecomunicações e deteção de incêndio que foram realizadas pelos Serviços Técnicos. O projeto de instalações elétricas encontra-se no Anexo C.

A fiscalização e acompanhamento do desenvolvimento da empreitada, foi efetuada pelos Serviços Técnicos, nas suas diversas especialidades.



Fig. 2. 2 – Edifício de Residência de docentes (Solar do Alto).

No âmbito das instalações elétricas foi efetuado o respetivo projeto, sendo este do tipo C de acordo com o art.º 7 do decreto-lei n.º 101/2007 [1]. Toda a instalação elétrica foi dimensionada de acordo com a legislação em vigor nomeadamente, as Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT, aprovadas pela portaria 949-A/2006 de 11 de setembro) [2]. Na Fig. 2.3 encontra-se o diagrama de quadros elétricos da instalação onde foram previstos todos os circuitos de iluminação normal e de emergência, tomadas de uso geral e circuitos de força motriz, circuitos estes que foram dimensionados com proteções contra contatos diretos e indiretos de acordo com a utilização e local onde seriam instalados.

Na elaboração do projeto de infraestruturas de telecomunicações foram consideradas as prescrições técnicas ITED, validadas pelo decreto-lei n.º 123/2009 de 21 de maio.

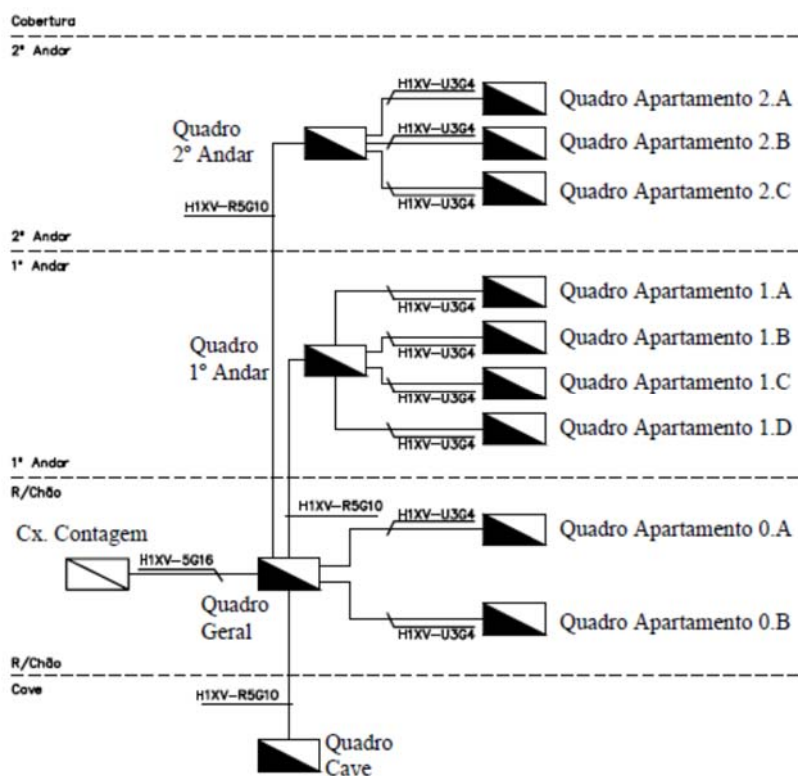


Fig. 2. 3 - Diagrama de quadros elétricos do edifício solar do Alto.

**2.2.2.2. Candidatura ao Programa Operacional Algarve 21:
Instalação de Central Fotovoltaica e adoção de medidas de
eficiência energética na vertente de iluminação**

A União Europeia, através da diretiva 2010/31/UE, destaca que em matéria de eficiência energética nos edifícios, as autoridades públicas deverão dar o exemplo, demonstrando que as considerações ambientais e energéticas são tomadas na devida conta, assegurando a execução de medidas que visem a eficiência energética e a utilização de energia de fontes renováveis em todos os edifícios ocupados por autoridades públicas.

No âmbito do Programa Operacional Algarve 21, através do Aviso – ALG-65-2013-16 | Energia – Eficiência Energética para Equipamentos Coletivos, a Universidade do Algarve pretende ir ao encontro do estabelecido no ponto i) da alínea c) do ponto 1 do Art.º 5º do Regulamento de Especifico de Energia - “Sistemas de utilização racional de energia e de eficiência energético-ambiental em equipamentos afetos a uma utilização pública e equipamentos coletivos sociais existentes, incluindo os próprios edifícios”.

O projeto “Impulso Verde da Universidade do Algarve” tem como objetivo central melhorar a eficiência e o consumo energético das instalações do *Campus* de Gambelas da Universidade do Algarve, promovendo a implementação de uma estratégia permanente de valorização das energias endógenas.

Assim, através do supramencionado projeto, prevê-se o desenvolvimento de duas intervenções complementares no *Campus* de Gambelas, perfeitamente enquadradas no Regulamento:

1. Instalação de um sistema de produção de energia elétrica com base em energia renovável, através da instalação de um sistema fotovoltaico no edifício 8/9 do *Campus* de Gambelas, exclusivamente para consumo próprio;
2. Instalação de sistemas de eficiência energética na vertente de iluminação interior, para redução de consumo e de aquecimento

induzido, através da instalação de luminárias LED no edifício 3/4 - Complexo Pedagógico do *Campus* de Gambelas.

A Universidade do Algarve, no seu *Campus* de Gambelas, é responsável por um consumo energético mensal médio de 450.000 kWh, a que equivale um custo mensal médio em 2013 de 61.500 €, estimando-se que este valor possa subir até próximo dos 70.000 € em 2015.

A introdução das duas medidas previstas no âmbito do projeto “Impulso Verde da Universidade do Algarve” permitirá uma redução significativa no consumo de energia.

Através da implementação do sistema fotovoltaico no edifício 8/9, que contará com 341 painéis fotovoltaicos para uma potência instalada de 70 kVA, serão produzidos cerca de 168.000 kWh anuais, que correspondem a uma redução média de 3,1% do consumo total do *Campus* de Gambelas. Acresce que esta produção de energia para consumo próprio incidirá fundamentalmente no período de ponta/cheio, correspondente também ao período de maior atividade e maior consumo no *Campus* de Gambelas, e irá permitir uma poupança anual estimada em 23.000 €.

Com a instalação de luminárias LED no Edifício do Complexo Pedagógico do *Campus* de Gambelas, será possível reduzir o consumo energético associado à iluminação do edifício em cerca de 50%, correspondente a uma redução no consumo energético mensal de 1.000 kWh, e a uma poupança anual de cerca de 1.600 €.

A estruturação das componentes, ações e orçamento do projeto é apresentada na Tabela 1. No cálculo do cofinanciamento FEDER, é considerada uma taxa de 65%, de acordo com o Ponto 10 do Aviso de Abertura de Candidaturas.

O Investimento total deverá ser de 344.814,97 €, incluindo o IVA da operação, considerado elegível, em conformidade com a legislação em vigor.

Consequentemente, o financiamento proposto corresponde a 224.129,73 €, cujas fontes são as que se apresentam na Tabela 1.

Tabela 1 – Componentes, ações e orçamento total, por componente e Ação “Impulso Verde da Universidade do Algarve”.

Componentes		Equipamentos de informática, administrativo e básico (Infraestrutural)		Serviços - Assessoria para Certificação Energética	Pessoal - Remunerações - Pessoal Técnico	Total	Co-financiamento FEDER (65% Investimento total elegível)	Contrapartida Nacional (35% Investimento total elegível)
Ação		1 – Instalação de central fotovoltaica	2 - Instalação de Luminárias (LEDs)	3 - Assessoria para Certificação Energética	4 - Gestão e Acompanhamento			
Orçamento	Total s/ IVA	135.000,00 €	50.400,00 €	86.991,87 €	9.772,97 €	282.164,84 €	224.129,73 €	120.685,24 €
	IVA	31.050,00 €	11.592,00 €	20.008,13 €		62.650,13 €		
	Total c/ IVA	166.050,00 €	61.992,00 €	107.000,00 €	9.772,97 €	344.814,97 €		
Método de Cálculo	Estimativa		Estimativa	Base Real	-			
Ano 2014	166.050,00 €	61.992,00 €	107.000,00 €	9.772,97 €	344.814,97 €			
Total por Componente		228.042,00 €		107.000,00 €	9.772,97 €	344.814,97 €		

Com vista a demonstrar a situação atual da entidade, no que diz respeito aos níveis de consumo de energia, foi feita uma análise que teve por base os consumos reais de energia do *Campus* de Gambelas da Universidade do Algarve, na vertente de energia elétrica (considerando uma amostra associada a um período de 12 meses), através das informações constantes na fatura do fornecedor.

Da análise, resultaram estimativas para os consumos de energia elétrica (em Euro e kWh), a conversão destes valores para toneladas equivalentes de petróleo (Tep) e ainda das emissões de CO² associadas. A Tabela 2 sintetiza a informação relativa aos consumos de energia elétrica.

Com base nos valores do ponto anterior, foram calculados os níveis de poupança associados à implementação do projeto, no pressuposto de uma poupança estimada no consumo de energia elétrica, associada à Instalação de Lâmpadas Eficientes (LEDs) e à Aquisição e Instalação de Sistema solar térmico para produção de águas quentes sanitárias, tendo-se obtido os valores constantes na Tabela 3.

Tabela 2 – Consumos e custo de eletricidade do *Campus* de Gambelas de 2012.

Ano	Meses	Custo [€]	Consumo [Kwh]	Tep*	Emissões CO2 (Kg)
2012	Fev. – Mar.	130.716,65	900 153	193,5	423 071,9
2012	Jun. – Jul	125.621,20	899 650	193,4	422 835,5
2012	Ago – Set.	128.279,51	926 949	199,3	435 666,0
2012	Out. – Nov.	125.292,03	908 673	195,4	427 076,3
2012/2013	Dez. – Jan.	130.724,65	962 600	207	452 422,0
Total		640.634,04	4 598 025	988,6	2 161 071,8
Média Mensal		53.386,17	383 168	82,4	180 089,3

*Fator de conversão Kwh/Tep: 0,000215, de acordo com o Conversor SGCIE disponível em www.adene.pt

Tabela 3 - Poupanças estimadas nos consumos de eletricidade no Campus de Gambelas associadas à implementação do projeto.

	Tipo	Poupança Média	
		Mensal [€]	Anual [€]
Custo [€]	Central fotovoltaica	1 894,20	22 730,40
	Luminárias LEDs	135,30	1 623,60
	Total	2 029,50	24 354,00
Produção [kWh]	Central fotovoltaica	14 000	168 000
	Luminárias LEDs	1 000	12 000
	Total	15 000	180 000
Produção [Tep]	Central fotovoltaica	42	504
	Luminárias LEDs	0,25	3
	Total	42,25	507
Emissões de [CO2 (Kg)]	Central fotovoltaica	6 580	78 960
	Luminárias LEDs	470	5 640
	Total	7 050	84 600

Sublinhe-se que não foi considerado o efeito da inflação, que resultaria num aumento da poupança anual, e logo promoveria uma melhoria dos resultados obtidos, que ainda assim justificam plenamente, do ponto de vista económico, o investimento proposto.

Assim procedendo a uma análise custo/benefício simples, contabilizando-se em função da produção e do valor comercial do kWh, a poupança monetária anual dos equipamentos instalados é para as duas medidas de:

1. 34.095 €, para a central fotovoltaica (168 MWh x 0,165 [€/kWh]+iva);
2. 2.435 €, para luminárias LED's (12 MWh x 0,165 [€/kWh] +iva).

2.2.2.3. Descrição técnica de funcionamento da Central Fotovoltaica

Para efeitos de licenciamento a instalação é de categoria A (produção de energia), de acordo com o art.º 7 do Dec. Lei 101/2007 [1].

Trata-se de uma instalação de produção de energia elétrica em regime permanente, diurno, em paralelo com a rede elétrica existente, sem injeção de energia nesta, com a potência de 70 kVA, 230/400 V, 50 Hz, que servirá o edifício 8/9, na Universidade do Algarve – *Campus* de Gambelas, sita na freguesia de Montenegro e Concelho de Faro, Fig. 2.4.

Na conceção do projeto teve-se em conta a economia e simplicidade, observando-se os princípios do bom funcionamento e segurança conforme prescrito nas “Regras Técnicas das Instalações Elétricas em Baixa Tensão” – RTIEBT (Portaria 949-A/2006) [2]. O projeto completo encontra-se no Anexo D.

A Central Fotovoltaica de 70 kVA injetará energia no Quadro Geral de Baixa Tensão do posto de transformação n.º 3, existente no mesmo edifício.

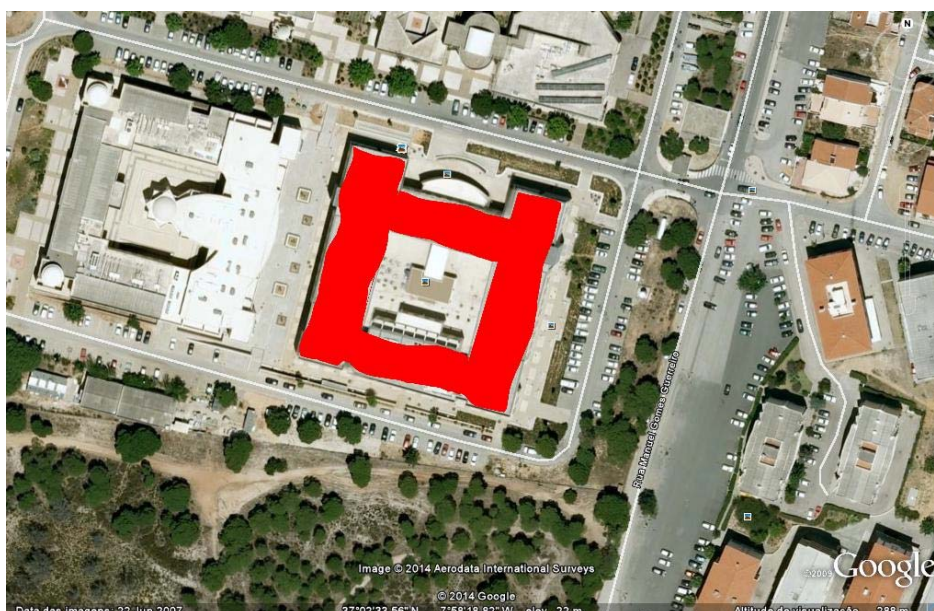


Fig. 2. 4 – Cobertura do edifício 8/9 do Campus de Gambelas.

A instalação de consumo fica dotada de duas fontes fornecedoras de energia, a Central Fotovoltaica e a rede elétrica existente que funcionará como fornecedor complementar durante o dia e único durante a noite pois a Central Fotovoltaica não contempla qualquer tipo de acumulação de energia.

A Central Fotovoltaica destina-se a funcionar permanentemente, em paralelo com a rede existente, sem injeção de energia nesta, alimentando as instalações elétricas de utilização a partir do Quadro Geral Baixa Tensão.

Será instalado um sistema fotovoltaico com a potência máxima de 85,25 kW, composto por 341 módulos fotovoltaicos que transformam energia solar em energia elétrica.

Um inversor fotovoltaico tipo *on-grid* recebe a energia produzida nos módulos fotovoltaicos e encarrega-se de fazer o sincronismo com a rede e injetar energia no Quadro Geral Baixa Tensão.

Toda a energia gerada pela Central será utilizada na instalação de consumo. Existe um sistema de comando e controlo (autómato programável) que garante que não flui energia para a rede existente.

Em cada instante, através de um analisador de rede, os dados de consumo geral da instalação de utilização são monitorizados. Com base nesses valores o autómato fornece indicação ao inversor de qual deverá ser a sua potência máxima de saída.

Desta forma, atuando sobre a saída do inversor (redução), garante-se que a energia gerada pela Central Fotovoltaica será sempre inferior às necessidades de consumo por forma a garantir que nunca fluirá energia para a rede existente.

Durante o funcionamento existem vários cenários possíveis:

1. Quando a potência solar é superior às necessidades de consumo, então a saída do inversor é limitada, por indicação do sistema de controlo, abaixo do valor de consumo por forma a não fluir energia para a rede elétrica;
2. Quando a potência solar é inferior às necessidades de consumo então a rede elétrica assegura o fornecimento da energia complementar por forma a satisfazer os consumos em cada instante. Assim toda a energia produzida pela Central Fotovoltaica será consumida na instalação de utilização.

A central fotovoltaica não prevê a utilização de quaisquer elementos de acumulação, como tal, durante o período noturno será sempre a rede elétrica a fornecer a totalidade de energia à instalação de utilização.

No circuito de potência do inversor é instalado um equipamento de corte com possibilidade de manobra à distância, que colocará fora de serviço a Central Fotovoltaica por betoneira de emergência local ou comando do autómato aquando de uma falha do sistema de controlo da Unidade de Gestão.

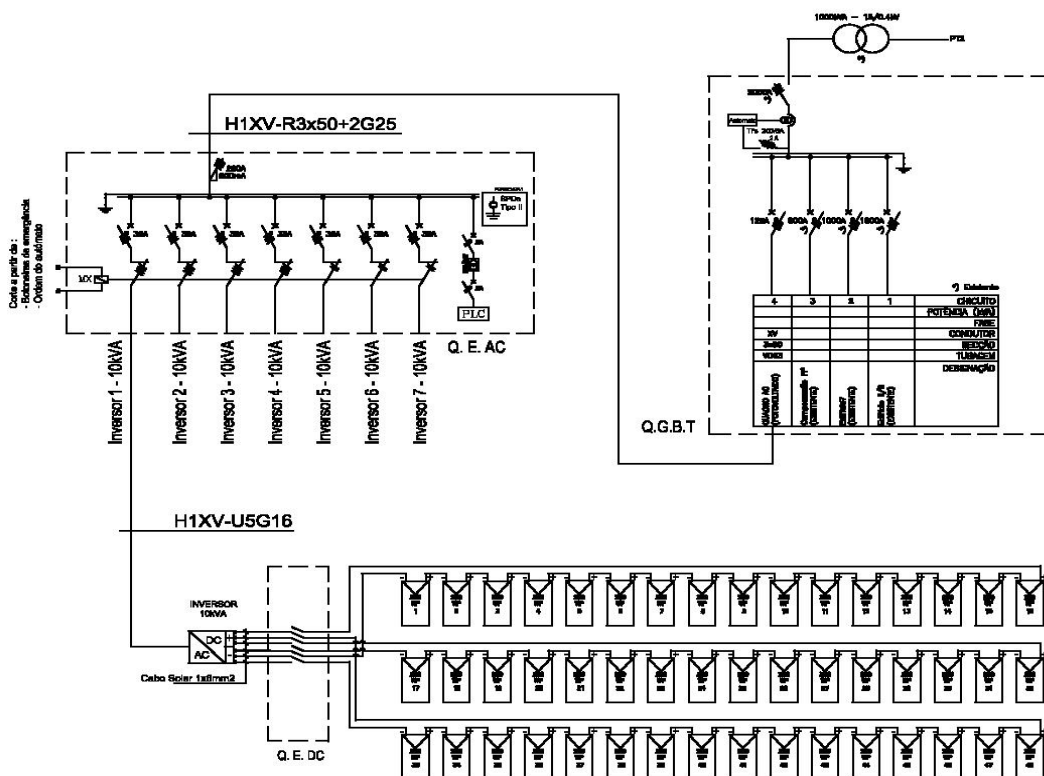


Fig. 2. 5 – Esquema elétrico de princípio de funcionamento.

Apresenta-se na Fig. 2.5 o esquema unifilar de funcionamento da central fotovoltaica, em que a energia solar é captada e convertida em energia elétrica pelos painéis fotovoltaicos, as características principais unitárias dos mesmos são:

- Tensão de funcionamento de 30 V;
- Potência nominal de 250 W.

Através três conjuntos de associações série de 16 painéis fotovoltaicos, alimenta-se o inversor que fará a conversão de tensão contínua para tensão alternada que será injetada no QEAC, onde se encontram as proteções elétricas para injeção no QGBT.

A existência de autômato programável, garante que quando a carga do edifício for inferior à produção fotovoltaica, não existirá injeção de energia elétrica na rede.

2.2.3. Elaboração de estudos de eficiência energética

No âmbito da eficiência energética foram efetuados diversos estudos, em que se pretende, principalmente, a redução da fatura energética permitindo também minimizar o consumo energético e o impacto ambiental.

2.2.3.1. Instalação de reguladores de fluxo luminoso

Durante o ano de 2005 realizou-se um estudo sobre a viabilidade de instalação de reguladores de fluxo luminoso para a iluminação exterior existente nos *Campi* de Penha e Gambelas. O *Campus* da Saúde não foi considerado dado que a iluminação exterior tem uma potência de cerca de 200 W.

Em ambos os *Campi*, a iluminação exterior é constituída unicamente por lâmpadas de descarga de vapor de sódio a alta pressão com três gamas de potência de 150 W (em colunas de 8 m, Fig. 2.6), 400 W (em colunas de 24 m) e 1000 W (em colunas de 24 m). A iluminação exterior tem um funcionamento contínuo médio anual de 10 horas diárias (das 20H00 às 06H00).

No *Campus* da Penha a iluminação exterior é obtida através de 84 lâmpadas de 150 W e 20 lâmpadas de 1000 W, separadas em dois ramais distintos, resultando numa potência de 40,46 kVA.

No *Campus* de Gambelas a iluminação exterior é obtida através de 44 lâmpadas de 150 W e 30 lâmpadas de 1000 W, separadas em dois ramais distintos, resultando numa potência de 23,58 kVA.



Fig. 2. 6 - Colunas de iluminação de 8 m em ambos os *Campi*.

Dado que as lâmpadas de vapor de sódio têm uma maior eficiência luminosa para valores inferiores à tensão da rede elétrica (aproximadamente 185 V), consegue-se através da utilização de reguladores de tensão (para esta situação denominam-se por fluxo luminoso) uma redução da energia elétrica consumida, porque a potência elétrica varia com o quadrado da tensão aplicada, visto que durante o normal funcionamento a lâmpada de descarga tem um comportamento resistivo.

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (2.1)$$

Através da instalação de 4 reguladores de fluxo luminoso, Fig. 2.7, nos postos de transformação existentes com circuitos de iluminação exterior, permitiu poupanças de energia, custos e amortizações conforme indicados na Tabela 4 (valores de 2005)

Tabela 4 – Cálculo das amortizações parciais e total da aquisição dos reguladores.

	Campus	S_regulador [kVA]	Custo Inicial [€]	Economia de Energia [€]	Economia de Manutenção [€]	Amortização [anos]
1	Penha, ramal 1	30	12 005,62	1 729,36	1 029,10	4,4
2	Penha, ramal 2	27	10 543,94	769,43	803,20	6,7
3	Gambelas (PT1)	21	9 700,57	819,42	549,69	7,1
4	Gambelas (PT2)	15	8 621,25	632,30	416,66	8,2
		TOTAL	40 871,38	3 950,51	2 798,65	6,1

Também o meio ambiente é poupado visto que a redução anual de energia (70.456,7 kWh) equivale a uma redução nas emissões de CO₂ de 32.269 kg.

No Anexo E encontra-se todo o trabalho realizado, tendo o mesmo sido apresentado no âmbito da realização de uma disciplina do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra entre 2004 e 2006,



Fig. 2. 7 – Reguladores de Fluxo Luminoso.

2.2.3.2. Plano energético para a Universidade do Algarve

Em julho de 2009 foi celebrado pela Universidade do Algarve com o Estado Português através dos Ministérios da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior, de Estado e das Finanças e da Economia e da Inovação, um protocolo, Anexo F, no valor de 3.822.250,00 € ao abrigo da Iniciativa para o Investimento e o Emprego para a realização de obras na Universidade do Algarve com vista à melhoria da eficiência energética dos edifícios.

Assim, foi criado um grupo de trabalho, composto por diversos docentes dos Departamentos de Engenharia Mecânica e de Engenharia do Ambiente e pelos Serviços Técnicos, que definiu um conjunto de medidas a adotar nos edifícios com idade superior a 20 anos, de forma a aumentar a eficiência energética dos mesmos, que se indicam de seguida:

1. Instalação de telecontagem de energia elétrica no *Campus* de Gambelas;
2. Instalação de equipamento de compensação de fator de potência para o *Campus* da Penha;
3. Aquisição de analisador de energia portátil;
4. Instalação de 20 m² de coletores solares, com depósito de acumulação de 1.500 litros e caldeira a gás de apoio;
5. Instalação de 80 m² de coletores solares, com depósito de inércia de 12.000 litros e caldeira a gás de apoio;
6. Instalação de dois sistemas termosifão com 4m² e depósito de 300 litros e outro com 2 m² e depósito de 150 litros;
7. Instalação de 70 m² de coletores solares, c/ depósito de inércia de 6.000 litros, e apoio a bomba de calor com anel de retorno;
8. Instalação de 48 m² de coletores solares, com depósito de acumulação de 3.000 litros e apoio a gás;
9. Instalação de 40 m² de coletores solares, com depósito de acumulação de 3.000 litros e caldeira a gás de apoio;
10. Instalação de 20 m² de coletores solares, com depósito de acumulação de 2.000 litros e caldeira a gás de apoio;

11. Aquisição de chuveiros economizadores com sistema antiroubo;
12. – Substituição de isolamentos e das tubagens externas dos sistemas de água quente sanitária instalados, nas residências de estudantes do Ferragial nº. 16 e 17, Albacor e Rua das Hortênsias – Gambelas.
13. Ação de formação e sensibilização à utilização racional de energia, junto dos utentes de todas as residências da UALG;
14. Colocação de sistemas de película refletora em vãos de edifícios do *Campus* de Gambelas;
15. Abertura de vãos nas quatro fachadas do edifício de Anfiteatros do Complexo Pedagógico do *Campus* da Penha;
16. Abertura de claraboias e respetiva motorização nas duas zonas interiores do edifício de Anfiteatros do Complexo Pedagógico do *Campus* da Penha;
17. Abertura de vãos e respetiva motorização na fachada Nordeste do edifício de Engenharia Civil no *Campus* da Penha;
18. Colocação de sistemas de película refletora no vão virado a Nordeste do Edifício de Engenharia Civil no *Campus* da Penha;
19. Realizações de auditorias a todos os edifícios dos *Campi* de Gambelas e Penha;
20. Aquisição de equipamento de monitorização para apoio à realização de auditorias de Qualidade do Ar Interior, para medir os seguintes parâmetros: CO₂; CO; COV; O₃; Formaldeído; Partículas PM 10; Velocidade do ar; e Caudal do ar;
21. Formação a dois técnicos dos Serviços Técnicos da UALG no âmbito da Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior;

22. Substituição dos sistemas de iluminação, com automatização e substituição de lâmpadas e armaduras, em todos os edifícios dos *Campi* de Gambelas e da Penha;
23. Instalação de temporizadores para os sistemas de ar condicionado tipo *split* existentes no *Campus* da Penha;
24. Substituição das caixilharias mais antigas, nos edifícios com mais de 20 anos;
25. Instalação de palas de sombreamento ajustáveis no Edifício de Engenharia Civil.

A maioria destes procedimentos de ajustes diretos foram efetuados pelos Serviços Técnicos, bem como o acompanhamento da execução e fiscalização, apesar da elevada limitação temporal, imposta pelo Estado Português.

2.2.3.3. Candidatura ao Prémio EDP/2014

Durante ano de 2014, foram efetuadas duas candidaturas ao Prémio EDP/2014, Anexo G, através das instalações elétricas dos *Campi* de Penha e Gambelas. Nestas candidaturas foram descritas as medidas de eficiência energética implementadas durante o ano de 2012, bem como os resultados obtidos.

As medidas implementadas foram:

1. Substituição de 236 lâmpadas de incandescentes (40 W) por lâmpadas LED (7 W) em quatro anfiteatros de ensino;
2. Substituição de 50 lâmpadas de halogéneo (20 W) por lâmpadas LED (4 W) no bar do Instituto Superior de Engenharia;

3. Substituição de 13 equipamentos de ar condicionado, tipo *split* individuais, por equipamentos de sistema inverter, em diversas unidades orgânicas e Serviços;
4. Programação do sistema centralizado de ar condicionado, no edifício Biblioteca/Administração de modo a desligar os ventilosconvetores de gabinetes e salas de aulas em 2 horários distintos (17:00h e 19:00h) e inibição de funcionamento no período noturno (00:00h às 08:00h) e fins de semana;
5. Alteração dos *setpoints* nos equipamentos de climatização de grande potência (*rooftop's* e VRF's), em 2°C.

Os resultados obtidos, para as medidas acima indicadas foram os seguintes:

1. A remodelação da iluminação dos anfiteatros permitiu uma redução anual de 13.700 kWh, para uma utilização diária de 8 horas;
2. A remodelação da iluminação do bar do Instituto Superior de Engenharia permitiu uma redução anual de 2.300 kWh, para uma utilização diária de 12 horas;
3. A substituição de equipamentos de ar condicionado de compressor convencional para compressores tipo *inverter*, permite uma estimativa de redução de 25 %, obtendo-se uma poupança anual de 15.600 kWh, para um funcionamento diário de 2 horas;
4. A programação da inibição de funcionamento de ventilosconvetores permite uma poupança estimada de 15.000 kWh e 3.000 kWh para os *Campi* de Gambelas e Penha respetivamente;
5. A alteração dos *setpoints* de temperatura, 2°C, nos equipamentos de climatização de elevada potência, permitiu uma poupança estimada de 14.400 kWh e 2.400 kWh para os *Campi* de Gambelas e Penha respetivamente;

Todas as medidas implementadas foram de fácil execução, sem necessidade de aquisição de serviços externos, exceto as aquisições e instalações de equipamentos de ar condicionado.

O investimento de 7.779,14€, para aquisição de lâmpadas e equipamentos de ar condicionado, foi enquadrando em despesas normais de funcionamento, dado que foram substituídos quando apresentavam avarias demasiado onerosas. O acréscimo de custo das lâmpadas e equipamentos de ar condicionado, em relação aos equipamentos convencionais, traduz-se um retorno de investimentos bastante aceitáveis (2,3 anos e 2,5 anos para os *Campi* de Penha e Gambelas respetivamente).

Quanto ao conforto dos utilizadores este não foi prejudicado.

Também o meio ambiente é beneficiado visto que existe uma redução anual de CO₂ de 31.201 kg[CO₂].

2.2.4. Docente no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve

Durante os anos letivos 2002/2003 a 2010/2011 foram lecionadas diversas componentes (teórica, teórico-prática, prática e de orientação tutorial) das disciplinas abaixo mencionadas:

1. Orientação tutorial de Eletrónica de Potência e Gestão e Qualidade de Energia Elétrica no 1º Semestre e todas as componentes de Acionamentos Eletromecânicos no 2º Semestre do 1ºciclo (3ºano) da Licenciatura em Engenharia Elétrica e Eletrónica, ramo de Sistemas de Energia e Controlo;
2. Aulas práticas de Eletrónica de Potência I (1º Semestre) e Eletrónica de Potência II (2º Semestre) do 1ºciclo (3ºano) da Licenciatura bi-etápica em Engenharia Elétrica e Eletrónica, ramo de Sistemas de Energia e Controlo;
3. Aulas teórico-práticas e práticas da disciplina de Eletrónica de Regulação e Comando (1º Semestre) do 2ºciclo (4ºano) da Licenciatura bi-etápica em Engenharia Elétrica e Eletrónica, ramo de Sistemas de Energia e Controlo;
4. Co-orientador na disciplina de Projeto I, nas áreas de Eletrónica de Potência, Gestão de Energia e Qualidade de Energia, nomeadamente:
 - a) Auditoria Energética à Escola Superior de Saúde de Faro da Universidade do Algarve;
 - b) Auditoria Energética à Estação de Tratamento de Águas de Tavira, pertencente às Águas do Algarve;

Foram desenvolvidos vários trabalhos práticos para as aulas laboratoriais, que se encontram no Anexo H.

2.2.4.1. Trabalhos práticos propostos para a disciplina de Eletrónica de potência

Para a disciplina de Eletrónica de Potência foram elaborados os trabalhos práticos que, a seguir, se destacam os esquemas elétricos adotados e os objetivos a atingir.

2.2.4.1.1. Conversor comutado com IGBT

Pretendeu-se com este trabalho prático, Fig. 2.8, o estudo das características de funcionamento do IGBT, semicondutor de potência controlável, em que se verificou experimentalmente o funcionamento dos semicondutores com carga RL série e analisou-se as características de comutação do semicondutor.

2.2.4.1.2. Ponte retificadora monofásica

Pretendeu-se com este trabalho prático o estudo e verificação experimentalmente do funcionamento da ponte retificadora monofásica, Fig. 2.9, em função de variações da carga, distinguindo a influência e características de todos os componentes da ponte retificadora monofásica.

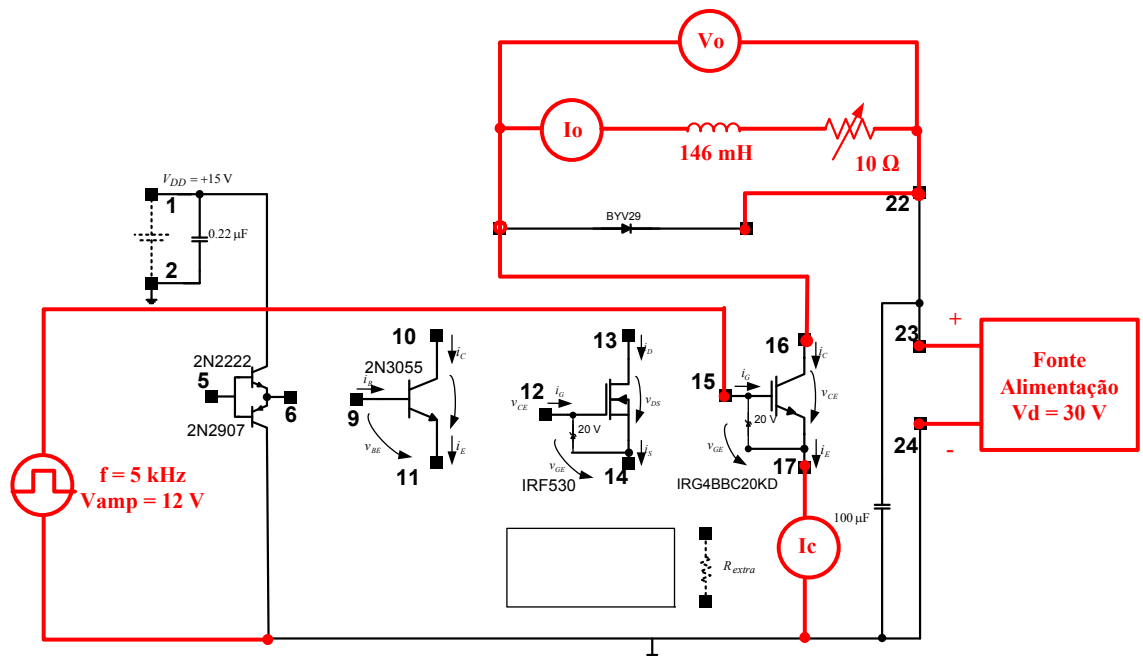


Fig. 2. 8 – Conversor comutado por IGBT.

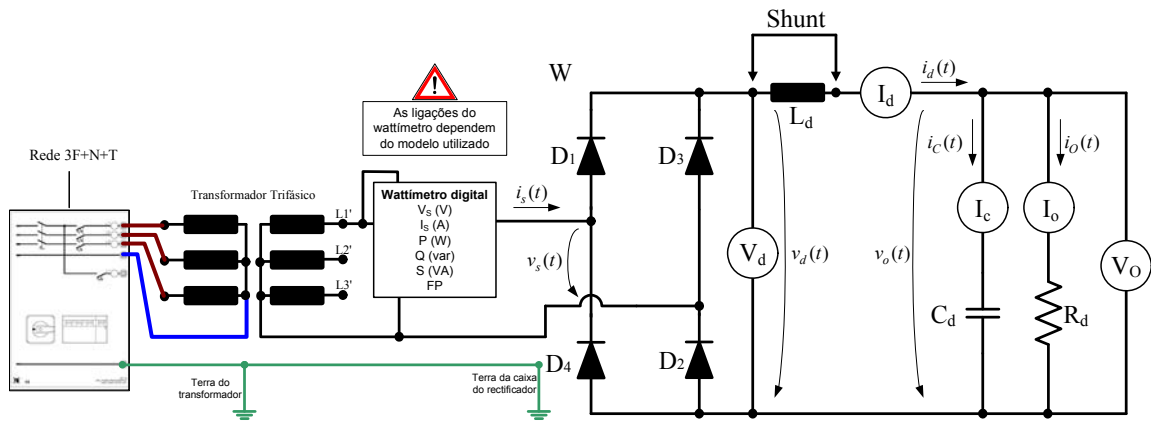


Fig. 2. 9 – Ponte retificadora monofásica.

2.2.4.1.3. Ponte retificadora trifásica

Pretendeu-se com este trabalho prático o estudo e verificação experimentalmente do funcionamento da ponte retificadora trifásica, Fig. 2.10, em função de variações da carga, distinguindo a influência e características de todos os componentes da ponte retificadora trifásica.

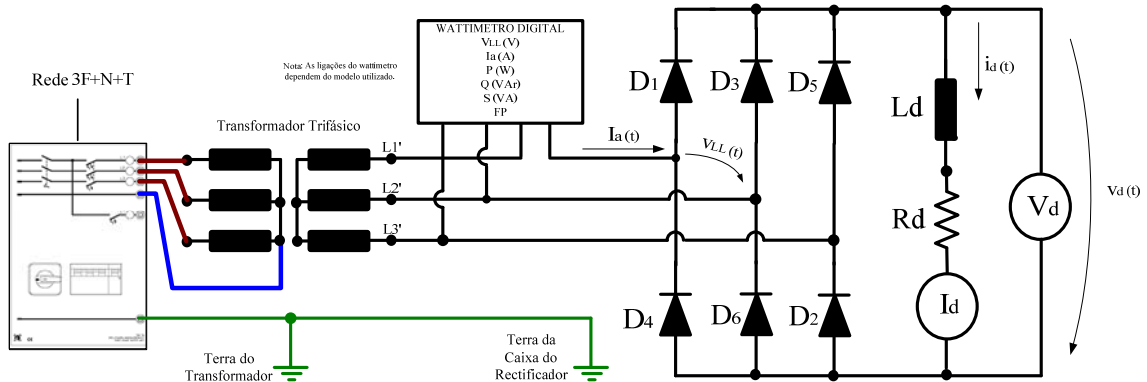


Fig. 2. 10 – Ponte retificadora trifásica.

2.2.4.1.4. Conversores DC-DC em ambiente PSpice

Pretendeu-se com este trabalho a familiarização da utilização e simulação de circuitos de eletrônica de potência em ambiente *PSpice*, em que se verifica o funcionamento do conversor DC-DC (reductor), Fig. 2.11, bem como, a análise de diversas grandezas nos semicondutores utilizados.

2.2.4.2. Trabalhos práticos propostos para a disciplina de Acionamentos Eletromecânicos

Para a disciplina de Acionamentos Eletromecânicos foram elaborados os trabalhos práticos que, a seguir, se destacam os esquemas elétricos adotados e os objetivos a atingir.

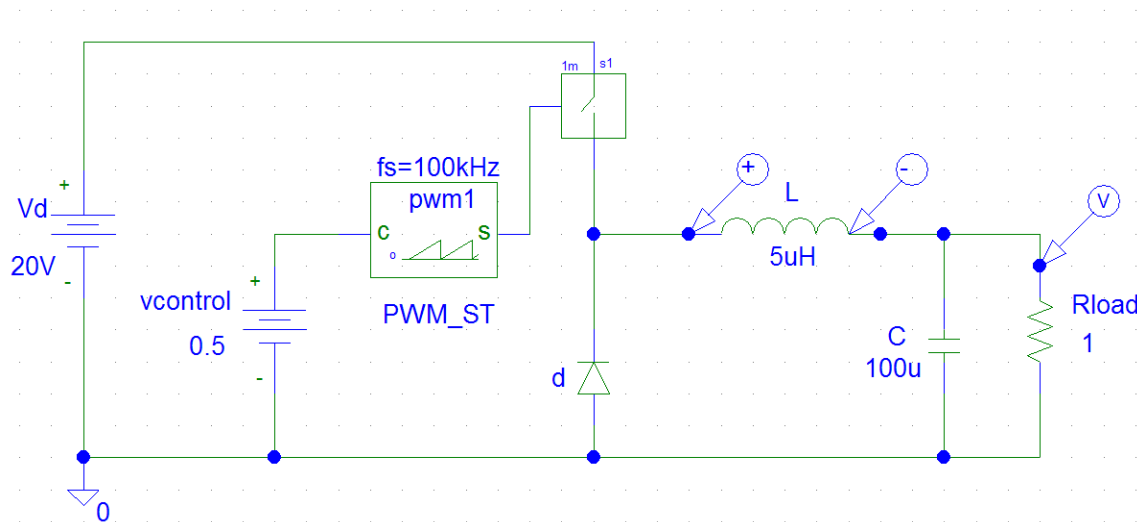


Fig. 2. 11 – Conversor DC-DC (reductor).

2.2.4.2.1. Inversor de tensão monofásico em ambiente PSpice

Pretendeu-se com este trabalho a familiarização da utilização e simulação de circuitos de eletrônica de potência em ambiente *PSpice*, em que se verifica o funcionamento do inversor monofásico de tensão, Fig. 2.12, bem como a análise de diversas grandezas nos semicondutores utilizados.

2.2.4.2.3. Inversor de trifásico em ponte

Pretendeu-se com este trabalho prático o estudo de um inversor trifásico em ponte, Fig. 2.13, para uma carga RL série, em que se testaram diversas formas de comando dos semicondutores de potência, nomeadamente os comandos por PWM, onda quadrada e vetorial.

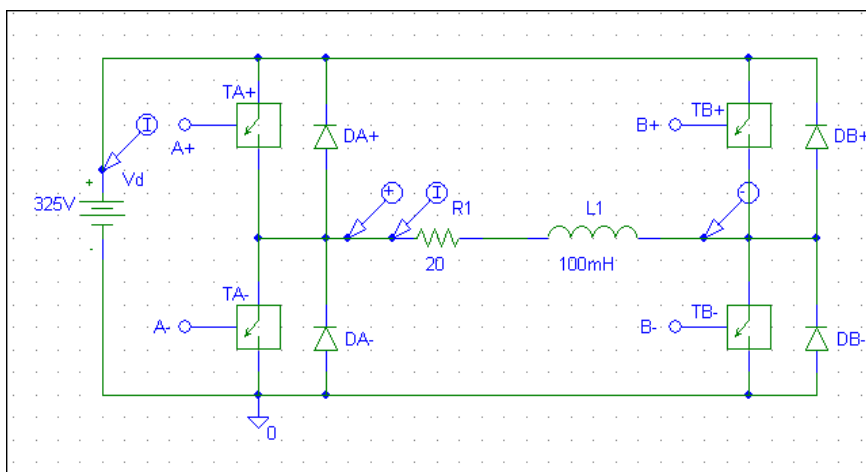


Fig. 2. 12 – Simulação de inversor monofásico.

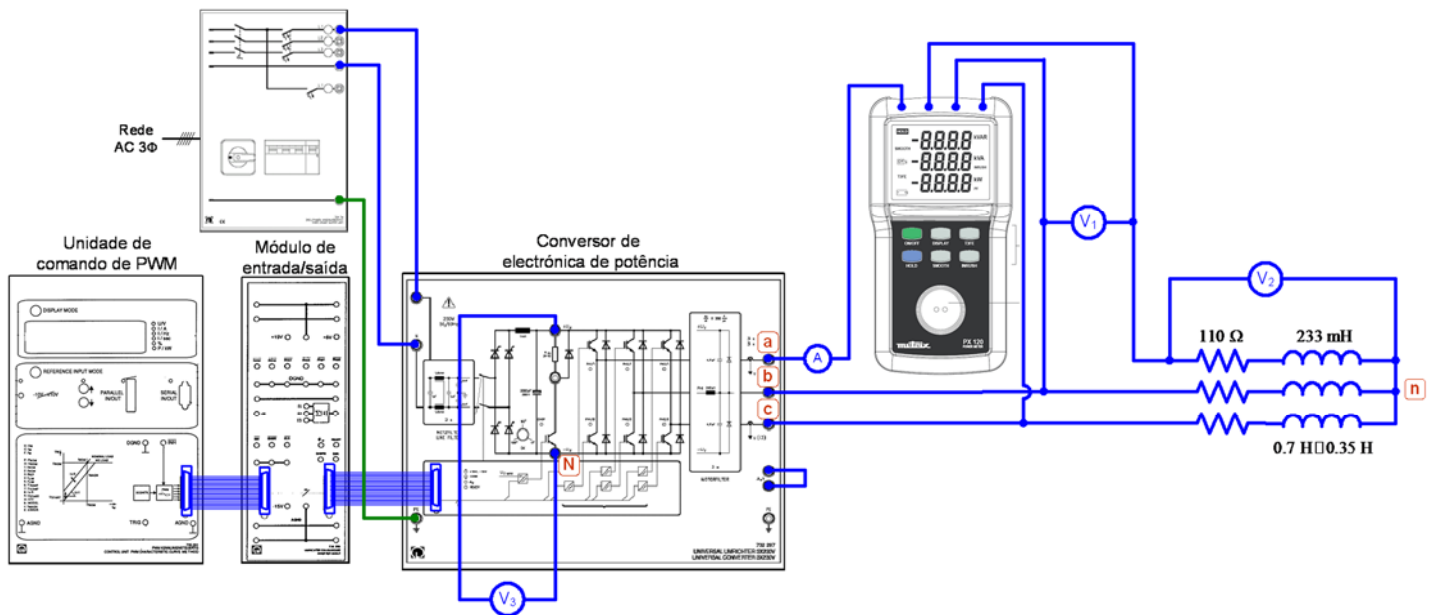


Fig. 2. 13 – Estudo de um inversor trifásico em ponte.

2.2.4.2.3. Estudo de um variador eletrônico de velocidade

Com este trabalho prático pretendeu-se investigar o funcionamento de um variador de frequência, industrial, que permite efetuar a variação eletrónica de velocidade em motores de assíncronos trifásicos. Este trabalho prático permitiu consolidar os conhecimentos de retificadores monofásicos/trifásicos associados a um inversor trifásico, permitindo controlar a amplitude e frequência das tensões aplicadas a um motor de indução, utilizando um variador eletrônico de velocidade industrial, Fig. 2.14.

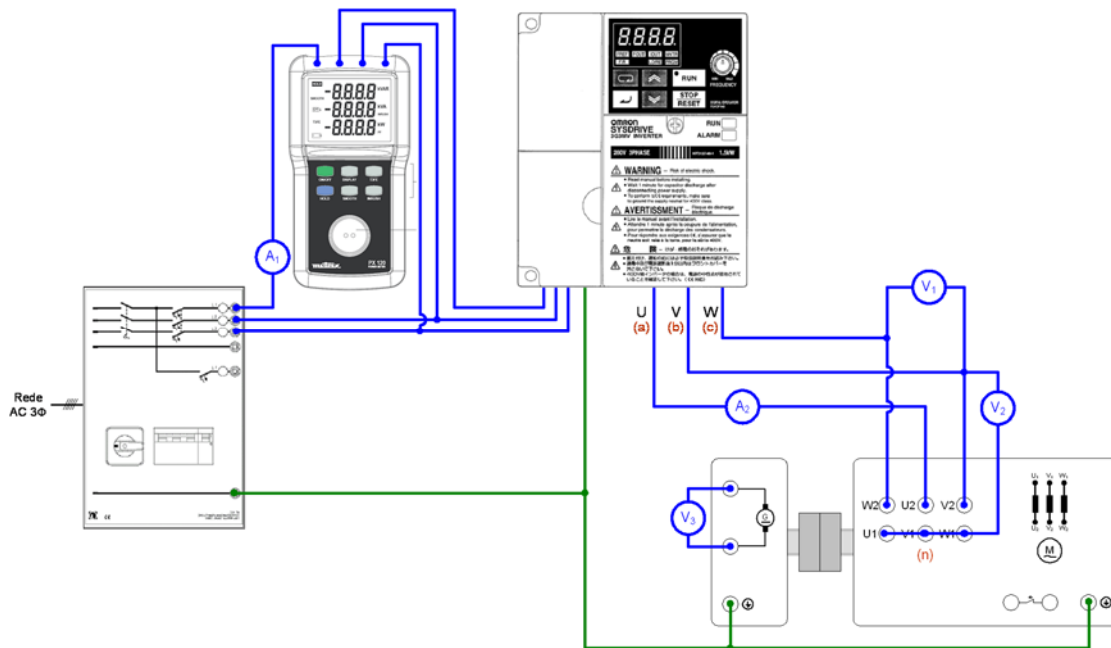


Fig. 2. 14 – Variador eletrônico de velocidade com motor de indução.

2.2.4.2.4. *Estudo das curvas características de um motor de assíncrono com variação eletrônica de velocidade*

Pretendeu-se com este trabalho prático o funcionamento de uma máquina assíncrona com rotor em gaiola de esquilo, com comando (V/f) obtido através de um inversor trifásico em ponte, Fig. 2.15. Onde se obteve experimentalmente as curvas características de funcionamento da máquina assíncrona, nomeadamente: binário-velocidade; corrente de alimentação-velocidade; potência mecânica-velocidade; potência absorvida-velocidade; rendimento-velocidade; fator de potência-velocidade, em regime de variação de velocidade.

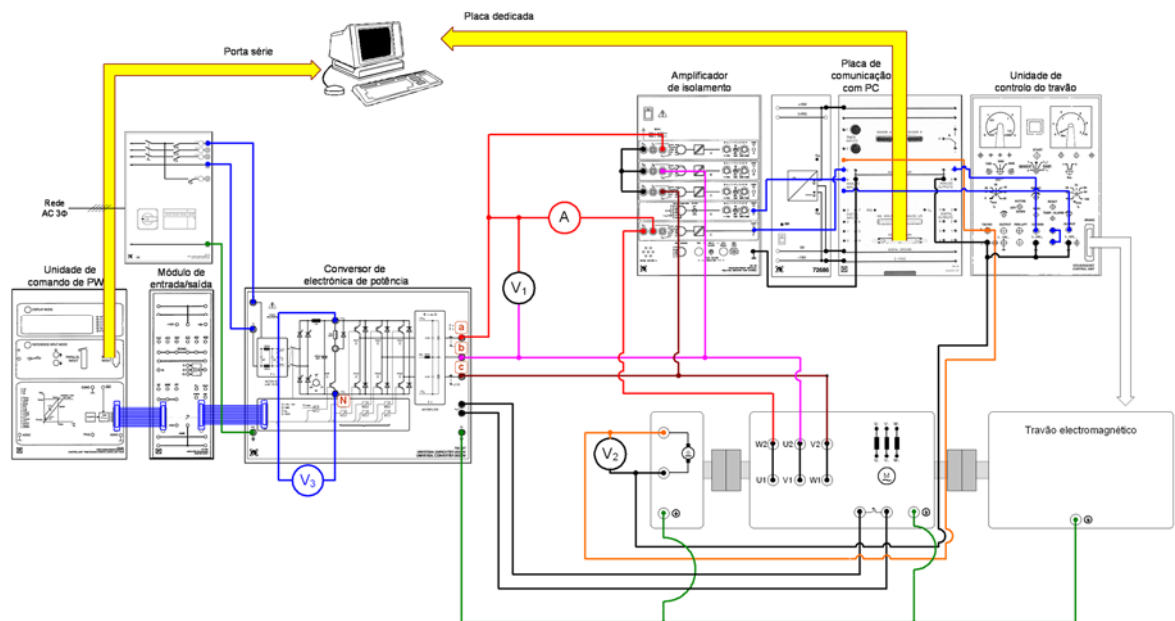


Fig. 2. 15 – Obtenção das características de funcionamento de motor assíncrono.

2.2.4.2.5. *Acionamento de motor assíncrono com variador eletrônico de velocidade industrial*

Pretendeu-se com este trabalho prático o estudo do comportamento da máquina assíncrona quando alimentada pelo variador eletrônico de velocidade, bem como a obtenção das características binário-velocidade para vários valores de tensão e frequência de alimentação, Fig. 2.16.

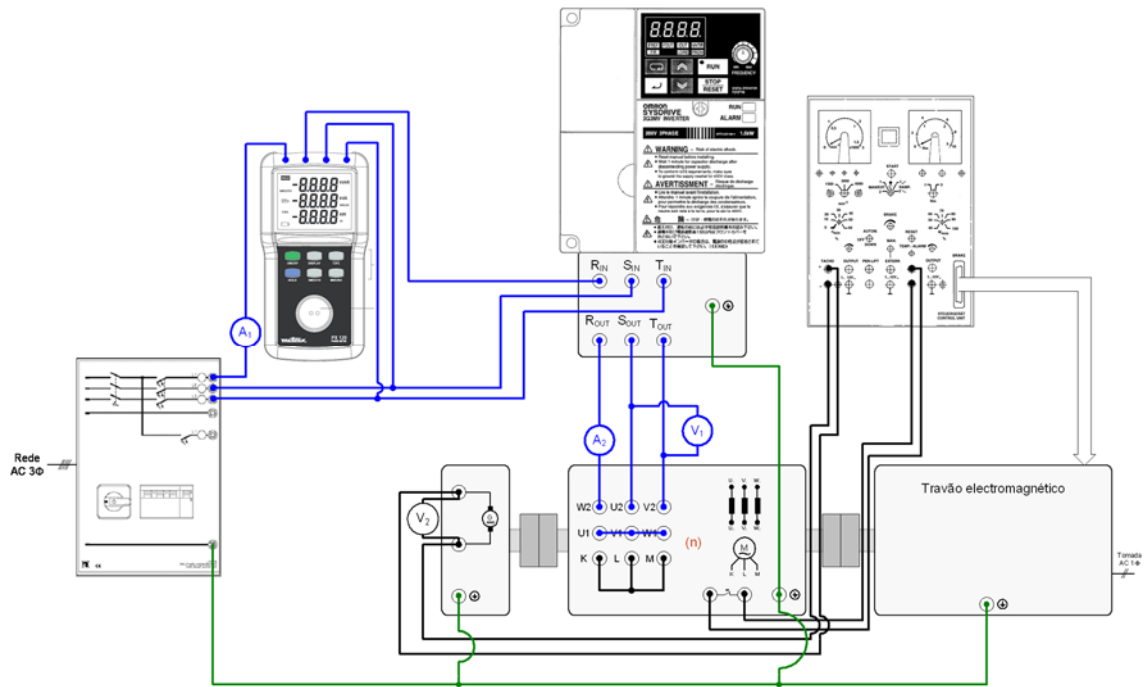


Fig. 2. 16 – Acionamento de motor assíncrono com variador eletrônico de velocidade.

2.2.4.3. Trabalhos práticos propostos para a disciplina de Eletrônica de Regulação e Comando

Para a disciplina de Eletrônica de Regulação e Comando foram elaborados os trabalhos práticos que, a seguir, se destacam os esquemas elétricos adotados e os objetivos a atingir.

2.2.4.3.1. Estudo das características dos semicondutores de potência, em ambiente PSpice

Pretendeu-se com este trabalho a familiarização da utilização e simulação de circuitos de eletrónica de potência em ambiente PSpice, em que se verifica as características de funcionamento de diversos semicondutores de potência, Fig. 2.17.

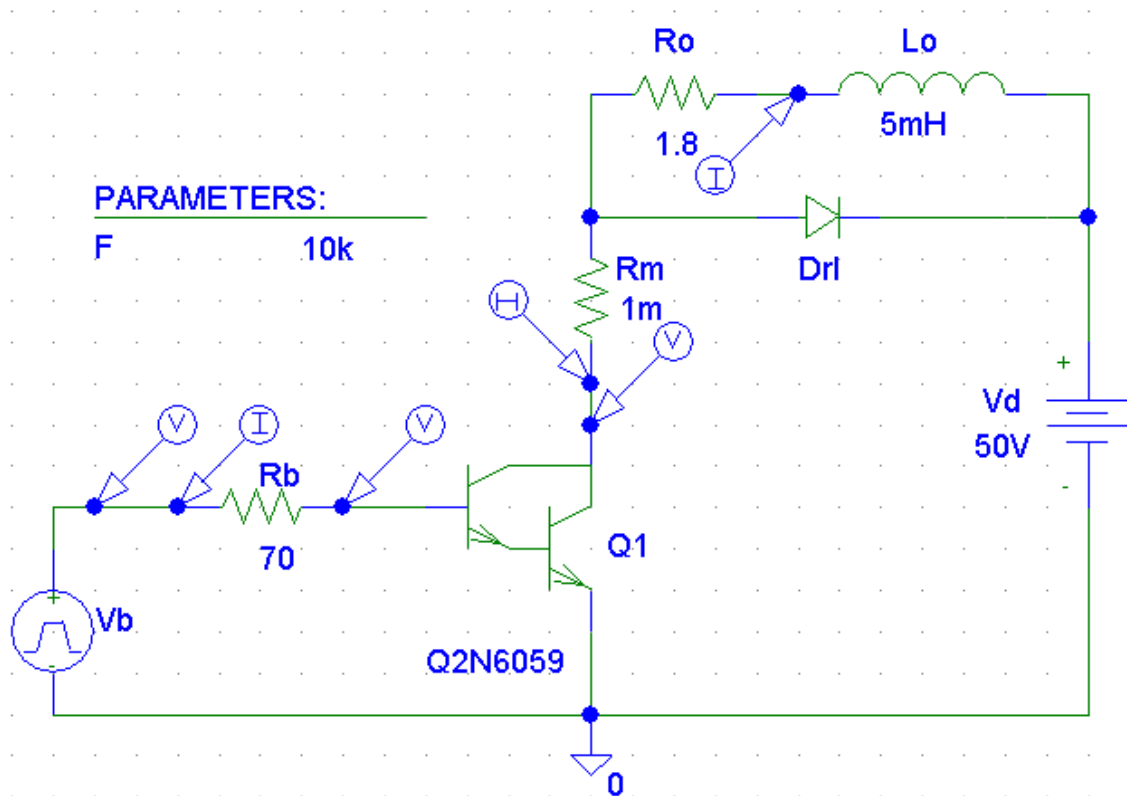


Fig. 2. 17 – Estudo das características dos semicondutores de potência, em ambiente PSpice.

2.2.4.3.2. Transistores bipolares de junção (BJT)

Pretendeu-se com este trabalho prático observar as características de transferência e tensão-corrente, caracterizando tensões e correntes nos terminais de potência e de comando num transistor de junção bipolar. Efetuando o estudo do funcionamento dos circuitos de ajuda à comutação para uma carga indutiva com díodo de roda livre, medindo os tempos de resposta com diversos circuitos de comando de base, Fig. 2.18.

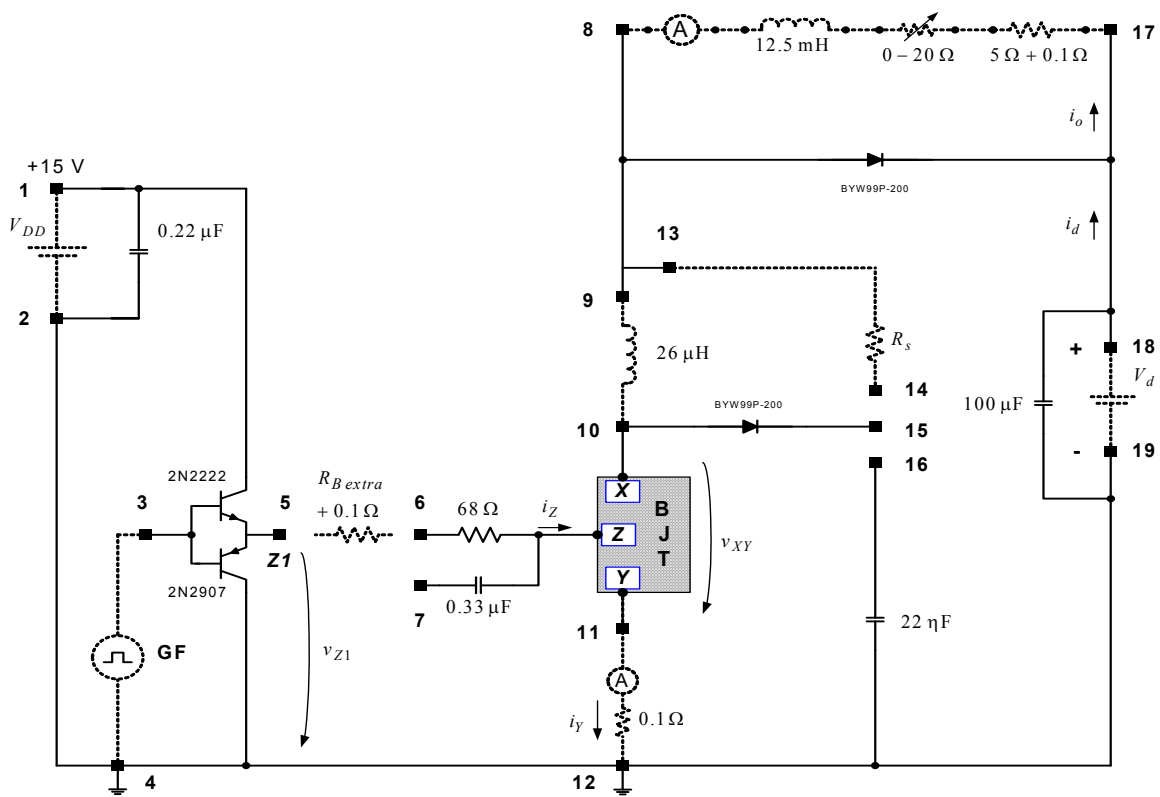


Fig. 2. 18 – Transistor bipolar de junção.

2.2.4.3.3. Dispositivos com tecnologia MOSFET

Pretendeu-se com este trabalho prático observar as características de transferência e tensão-corrente, caracterizando tensões e correntes nos terminais de potência e de comando num transistor de tecnologia *MOSFET*. Efetuando o estudo do funcionamento dos circuitos de ajuda à comutação para uma carga indutiva com díodo de roda livre, medindo os tempos de resposta com diversos circuitos de comando de base, Fig. 2.19.

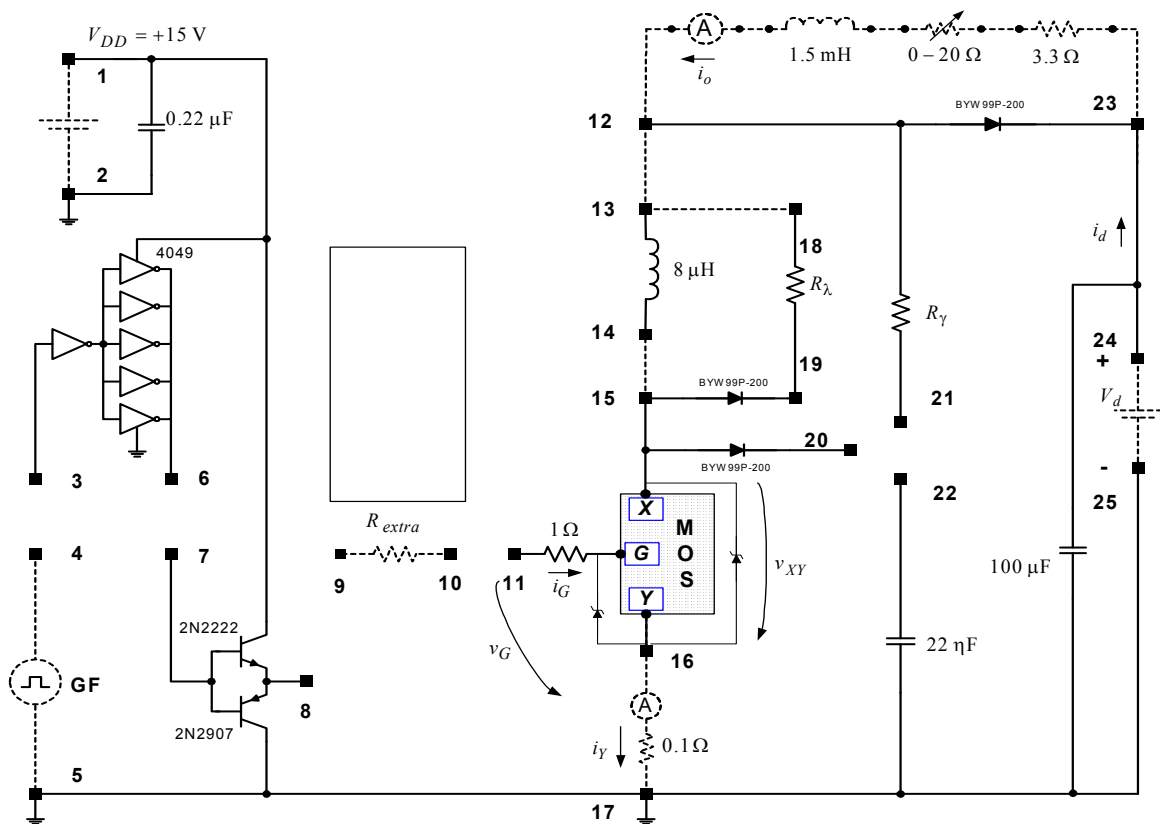


Fig. 2. 19 – Dispositivo com tecnologia MOSFET.

3. Qualidade de Energia

O contexto atual das instalações elétricas requer um sistema de alimentação com elevada fiabilidade.

Nas instalações universitárias, o problema revela-se de particular relevância, pois alguns dos equipamentos utilizados (em *datacenters* e laboratórios) são bastante sensíveis a perturbações da alimentação elétrica.

Neste contexto apresenta-se um resumo sobre os principais problemas da qualidade de energia elétrica.

3.1. Problemas de Qualidade da Energia Elétrica [3], [4]

Existem já várias normas publicadas que descrevem os diversos problemas de qualidade de energia existentes, dando também indicadores para monitorização da qualidade de energia e formas de os resolver. Entre as quais destacam-se a NP 50160, IEEE 1159-2009 e IEEE 1100-1999.

De seguida encontram-se apenas os problemas principais, descritos de uma forma simplificada.

3.1.1. Cava de tensão (sags)

As cavas de tensão caracterizam-se por uma diminuição brusca da tensão de alimentação para valores situados entre 90% e 1% da tensão declarada, durante períodos de 10 milissegundos a 1 minuto, por convenção. A amplitude de uma cava de tensão é definida como sendo a diferença entre a tensão declarada e o valor mínimo de tensão atingido durante a cava de tensão.

Numa qualquer instalação o número de cavas de tensão pode variar de algumas dezenas a um milhar por ano. A maioria tem duração inferior a 1 segundo e amplitude inferior a 60% não causando perturbações perceptíveis ao utilizador final. No entanto, podem ocorrer, embora raramente, cavas de tensão com amplitude e duração superiores e usualmente são causadas pela ligação de cargas de grande potência em determinadas condições de exploração.

Normalmente os equipamentos eletrónicos continuam a funcionar, no entanto, as cavas de tensão poderão causar falhas em circuitos lógicos e consoante a gravidade, poderão por exemplo, levar a que computadores bloqueiem sem razão aparente, ou a que variadores de velocidade e/ou contadores eletromecânicos não operem corretamente. Causam também uma diminuição no rendimento de máquinas elétricas rotativas.

A Fig. 3.1 ilustra em exemplo de uma cava de tensão instantânea de 0,7 p.u. durante 6 ciclos de rede elétrica.

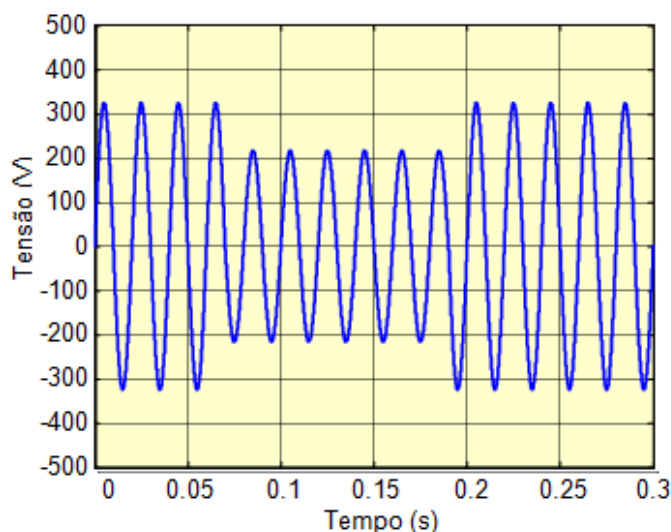


Fig. 3. 1 - Exemplo de cava de tensão.

3.1.2. Sobretensão temporária (swell)

As sobretensões temporárias são variações muito rápidas do valor da tensão, com duração entre alguns microssegundos e poucos milissegundos. A amplitude da tensão pode atingir valores da ordem das centenas de milhares de Volts.

As causas mais frequentes de sobretensões são as descargas atmosféricas, descargas electrostáticas, manobras inerentes à exploração de sistemas de transporte e distribuição de energia elétrica e de algumas instalações de utilizadores finais.

As sobretensões podem causar uma possível destruição de componentes eletrónicos, rutura de isolamento, erros de processamento de dados, interferência eletromagnética, etc.

Na Fig. 3.2 observa-se uma sobretensão com duração de 6 ciclos da rede, e cujo valor eficaz da tensão aumenta para 1,15 p.u..

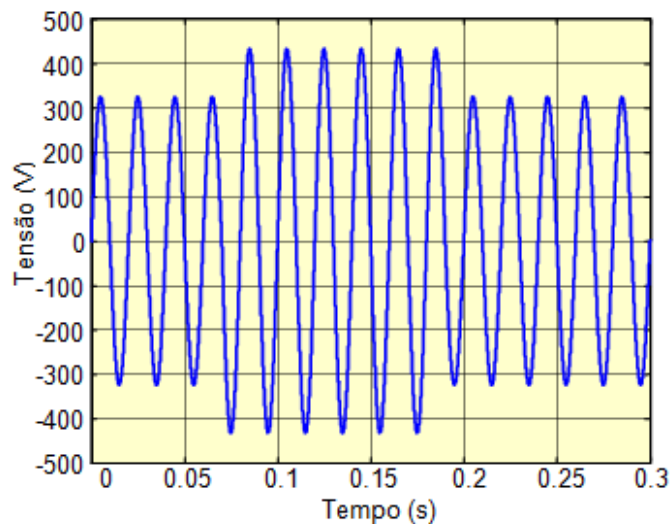


Fig. 3. 2 - Exemplo de sobretensão.

3.1.3. Interrupção breve

Uma interrupção ocorre quando a tensão de alimentação decresce para um valor inferior a 0,1 p.u. Este fenómeno pode ocorrer por causa da atuação de sistemas de proteção com religadores automáticos. Por vezes uma interrupção pode ser precedida de uma cave de tensão, que ocorre entre o tempo em que existe uma falha no sistema elétrico e a atuação do dispositivo de proteção.

A classificação quanto à duração da interrupção breve difere ligeiramente relativamente às cavas e às sobretensões:

1. Interrupções momentâneas: duração entre 0,5 ciclos e 3 s;
2. Interrupções temporárias: duração superior a 3 s e inferior 1 min.

A Fig. 3.3 ilustra um exemplo de uma interrupção momentânea com duração de 6 ciclos da rede, com a tensão a baixar para valores nulos.

As interrupções estão basicamente relacionadas com a ocorrência de defeitos resultantes de condições atmosféricas adversas, deterioração de materiais isoladores nos sistemas elétricos de distribuição e de utilização final de energia, avarias de equipamento, contornamento de isoladores, contacto de árvores e animais com condutores elétricos, acidentes rodoviários, incidentes de construção civil e outros condicionalismos externos aos sistemas elétricos. As interrupções acidentais breves estão especialmente relacionadas com manobras de desligação/religação automáticas de disjuntores para o isolamento e extinção de defeitos

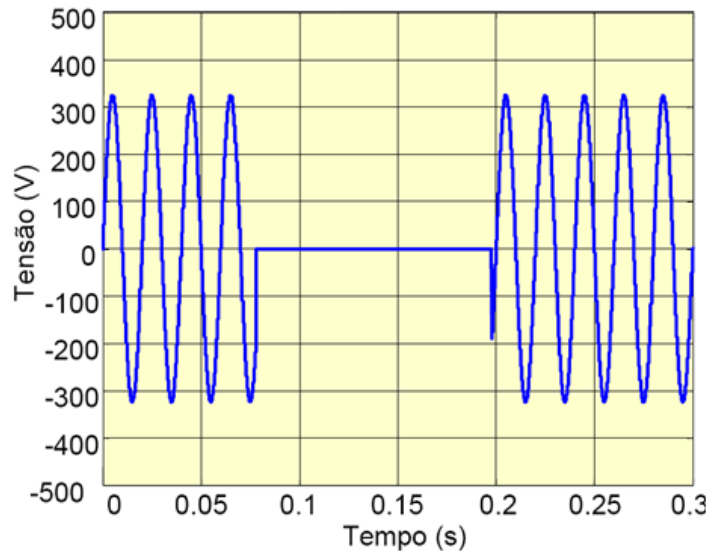


Fig. 3. 3 – Exemplo de interrupção momentânea.

3.1.4. Distorção harmónica de tensão

As formas de onda de tensão e de corrente, na realidade, contêm sempre algum conteúdo harmónico. Qualquer forma de onda periódica pode ser decomposta numa série de sinusóides com amplitudes e fases diferentes, mas com frequências múltiplas da componente fundamental.

As cargas não lineares, tais como inversores, fontes de alimentação de computadores pessoais, sistemas de soldadura por arco, entre outras, são as principais responsáveis pela existência de harmónicos uma vez que necessitam de correntes não sinusoidais. As correntes distorcidas por sua vez fazem com que a tensão do sistema eléctrico se torne também não sinusoidal devido às quedas de tensão nas impedâncias do sistema.

A Fig. 3.4 mostra a tensão de alimentação de uma ponte trifásica tiristorizada com carga RL série, em que o conteúdo (THD – *Total Harmonic Distortion*) é da ordem dos 28 %.

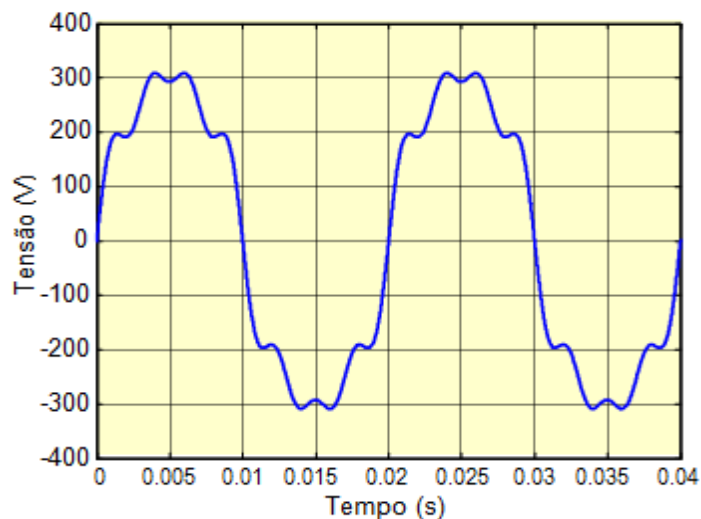


Fig. 3. 4 – Exemplo de distorção harmônica.

As consequências causadas pela distorção harmônica são: existência de sobreaquecimento do equipamento; degradação do fator de potência; diminuição do rendimento de máquinas elétricas; possibilidade de ressonância; interferência eletromagnética; erros de medida em aparelhos com determinação do valor médio; aumento da corrente de neutro; e a redução da vida útil dos equipamentos em geral, levando a custos acrescidos de manutenção e um maior período de paragem para a manutenção.

3.1.5. Fator de Potência [3]

A corrente de uma dada carga que não consome harmônicos pode ser dividida em duas componentes: a componente ativa e a componente reativa. A componente ativa, que está em fase com a tensão de alimentação fornece a energia necessária para a carga operar, e a componente reativa, desfasada 90° da tensão, é utilizada para estabelecer os campos magnéticos necessários em diversos tipos de equipamento comum, como por exemplo o motor de indução.

Muito embora a componente reativa da corrente seja necessária ao funcionamento, esta não realiza trabalho e irá fazer com que a corrente total aumente, o que conseqüentemente provoca um maior aumento das quedas de tensão nas linhas de alimentação e também mais perdas nestas.

Existem duas definições de fator de potência: o fator de potência de fundamental, ou fator de potência de deslocamento e o fator de potência total. O fator de potência do deslocamento é dado por:

$$FP_D = \frac{P_1}{S_1} = \frac{U_1 * I_1 * \cos \varphi}{U_1 * I_1} = \cos \varphi \quad (3.1)$$

Em que I_1 é a corrente eficaz considerando apenas a frequência fundamental, U_1 é a tensão considerando apenas a frequência fundamental, P_1 é a potência ativa, S_1 é a potência aparente e φ é o defasamento entre a corrente e a tensão.

Para o cálculo do fator de potência total, FP_T , tendo atenção à presença de distorção harmônica da tensão e corrente, então a expressão de cálculo deverá ser a seguinte:

$$FP_T = \frac{P}{S} = \frac{P_1 + P_h}{\sqrt{S_1^2 + S_N^2}} = \frac{P_1 + P_h}{\sqrt{1 + \left(\frac{S_N}{S_1}\right)^2}} = \quad (3.2)$$

As componentes: potência ativa não fundamental, P_h ; potência aparente fundamental, S_1 ; e potência aparente não fundamental, S_N . São obtidos pelas expressões abaixo indicadas.

$$P = P_1 + P_h = V_1 * I_1 * \cos \varphi_1 + \sum_{n=2}^{\infty} V_n * I_n * \cos \varphi_n \quad (3.3)$$

$$S_1 = V_1 * I_1 \quad (3.4)$$

$$S_N = \sqrt{(V_1 * I_h)^2 + (V_h * I_1)^2 + (V_h * I_h)^2} \quad (3.5)$$

A expressão (3.2) pode ser simplificada, desde que THD_v seja inferior a 5% e o THD, seja superior a 40%. Nestes casos a expressão do fator de potência passa a ser:

$$F_P \approx \frac{FP_D}{\sqrt{1+THD_I^2}} \quad (3.6)$$

Assim, a situação ideal ocorre quando este fator é 1, significando que a componente reativa é 0.

Uma vez que os consumidores industriais pagam a energia reativa a partir de um certo nível de fator de potência, é do interesse destes compensar o fator de potência, o que por sua vez irá contribuir para que o distribuidor tenha menos perdas e que a corrente total transportada seja menor.

3.2. Custos inerentes às perturbações da qualidade de energia elétrica [4]

Os custos relacionados com a qualidade de energia elétrica, *Power Quality Costs*, dependem de fatores, como a atividade desenvolvida e a tecnologia utilizada pelo Cliente. A sensibilidade do equipamento de utilização final de energia a perturbações de QEE, de reduzida severidade, é determinante para estes custos.

3.2.1. Avaliação de custos

A avaliação dos custos associados às perturbações de qualidade de energia elétrica pode tornar-se numa tarefa bastante difícil. Em termos gerais, é possível dividir estes custos nos seguintes três tipos.

1. Custos diretos – Custos que podem ser atribuídos diretamente a um evento ou perturbação de qualidade de energia elétrica. Estes custos incluem avarias de equipamento, perdas de produção e de matéria-prima, custos de mão-de-obra durante o período não produtivo e os restantes custos inerentes à reinicialização do processo. Algumas perturbações de QEE não conduzem à interrupção dos processos, no entanto, podem dar origem a outros custos diretos, tais como, a diminuição do rendimento e do tempo de vida útil do equipamento;
2. Custos indiretos – Estes custos, embora de difícil avaliação, estão normalmente associados ao incumprimento de prazos de entrega, conduzindo a uma degradação da imagem de mercado. O investimento em soluções de melhoria da qualidade de energia elétrica também pode ser considerado um custo indireto;
3. Prejuízos não materiais – Alguns constrangimentos relacionados com as perturbações de qualidade de energia elétrica são de difícil quantificação económica. Por exemplo, a privação de televisão ou de climatização por interrupção de alimentação, geralmente, não implica prejuízos financeiros, mas pode provocar incómodos significativos. Para a contabilização destes incómodos nos custos resultantes das perturbações de QEE, pode ser considerado o valor que o Cliente estaria disposto a pagar para os evitar.

3.2.2. Estimativa de custos

Já foram efetuados alguns estudos com vista à determinação dos custos inerentes às perturbações de qualidade de energia elétrica. No entanto, tendo em consideração a dificuldade em obter valores exatos para as diferentes instalações, todos os estudos apresentados seguidamente foram baseados em estimativas.

Um dos primeiros estudos foi realizado pela Business Week, em 1991, apontando o valor de 26 mil milhões de dólares de prejuízo por ano, apenas nos EUA.

Em 1998, a Fortune Magazine estimou os mesmos custos, nos EUA, em 10 mil milhões de dólares por ano.

Um estudo mais recente, realizado no primeiro semestre de 2001 pela E Source, também nos EUA, ao nível de empresas baseadas em processos contínuos, serviços financeiros e processamento de alimentos e bebidas, identificou que os custos médios anuais, inerentes às perturbações de QEE se situavam em milhares de dólares por instalação.

Um estudo divulgado pela Copper Development Association estimou os custos associados aos problemas de QEE em 10 mil milhões de euros, por ano, na União Europeia, nos sectores industrial e comercial.

Foi também estimado que as soluções para esses problemas representariam um investimento de apenas 5% deste valor.

Constata-se que alguns destes estudos apresentam estimativas de custos muito diferentes, no entanto, todos apontam no mesmo sentido: os custos associados às perturbações de qualidade de energia elétrica são bastante elevados.

3.3. Soluções para Problemas de Qualidade de Energia

As soluções clássicas, embora possam ser eficientes na resolução de um problema específico, tais como os bancos de condensadores para correção de fator de potência, ou filtros LC para compensar um dado harmónico, nada fazem relativamente a outros problemas, e podem inclusivamente trazer novos problemas devido a ressonâncias.

Os filtros ativos de potência, nas suas diversas vertentes, são soluções que, embora representem um investimento inicial mais elevado, estão bastante mais próximas de serem uma solução universal para sistemas eléctricos e suas cargas, considerando a quantidade de problemas de qualidade de energia eléctrica que ajudam a resolver.

Existem diversos tipos de filtros ativos:

1. Filtro ativo paralelo;
2. Filtro ativo série;
3. Filtro ativo híbrido;
4. Filtro ativo série-paralelo.

De seguida irão ser apresentadas algumas soluções comuns para problemas de qualidade de energia eléctrica.

3.3.1. Filtros passivos LC

Uma solução muito divulgada para a compensação de harmónicos numa instalação é a utilização de filtros LC, Fig. 3.5, sintonizados para um dado harmónico. Muito embora seja uma solução barata e com um bom rendimento, tem diversos inconvenientes uma vez que é necessário um filtro por harmónico e por fase, os filtros não têm comportamento dinâmico (uma vez que não se adaptam aos harmónicos existentes), e são susceptíveis a problemas de ressonância consoante a impedância do sistema eléctrico onde se inserem.

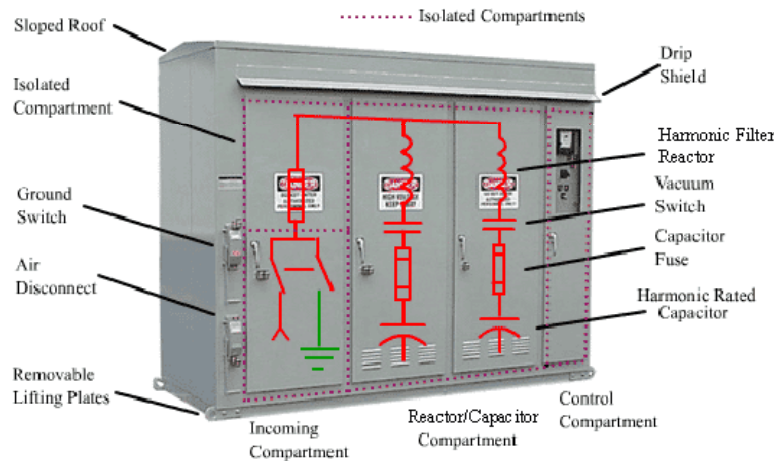


Fig. 3. 5 – Filtro passivo LC.

3.3.2. Banco de condensadores

Para correção de fator de potência, a solução padrão consiste em utilizar bancos de condensadores que, no entanto, sofrem dos mesmos problemas que os filtros passivos LC. Em sistemas onde harmônicos estão presentes devem-se utilizar filtros não sintonizados (*detuned*), de maneira a impedir ressonância no sistema elétrico.

Hoje em dia os bancos de condensadores já compensam dinamicamente o fator de potência, e a sua grande maioria já tem uma relativa imunidade aos harmônicos.

3.3.3. Fontes de alimentação ininterrupta

Uma vez que a tensão da rede elétrica está sujeita a falhas (quer sejam flutuações de nível ou mesmo interrupções) há necessidade de ter energia armazenada que possa ser utilizada na alimentação de cargas críticas durante esses períodos. Uma solução popular é a aplicação de UPSs (monofásicas ou trifásicas), cuja gama de potências, dependendo da topologia, vai desde algumas dezenas de VA até 1 MVA.

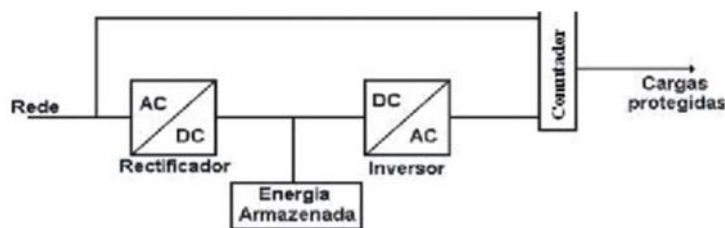


Fig. 3. 6 – Diagrama simplificado de UPS estática.

Existem diversos tipos de UPS: estáticas; interativas; e online que usualmente têm a capacidade de regular a tensão de saída, proteger contra cavas de tensão e sobretensões, entre outros problemas.

As UPS's estáticas, Fig. 3.6, são as mais económicas, mas também são as que oferecem um nível mais baixo de proteção, no entanto, funcionam contra transitórios devido à utilização de supressores e, se a amplitude ou frequência das tensões de alimentação saírem de determinados parâmetros, passa a alimentar as cargas. Este tipo de UPS tem um número de componentes bastante reduzido e encontra-se normalmente no modo standby, sendo ligada quando se deteta uma falha, havendo por isso um tempo de transição relativamente elevado quando comparado com outros tipos de UPS.

Cabe destacar que este tipo de UPS não tem regulação de tensão ou frequência, sendo necessário comutar para a alimentação a partir das baterias quando os sinais da rede se apresentam com problemas. A forma de onda de saída da UPS é quasisinusoidal, não sendo por isso compatível com todos os tipos de cargas, e existe um tempo que pode ir até 10 ms para fazer a comutação da alimentação da carga da rede elétrica para a UPS.

As UPS do tipo interativas, têm um princípio de funcionamento um pouco diferente das UPS estáticas, possuindo um único conversor bidirecional que permite diminuir o tempo necessário para passar a alimentação a partir das baterias. Além disso algumas possuem um transformador que permite fazer a regulação na tensão de saída com a alimentação efetuada a partir da rede elétrica.

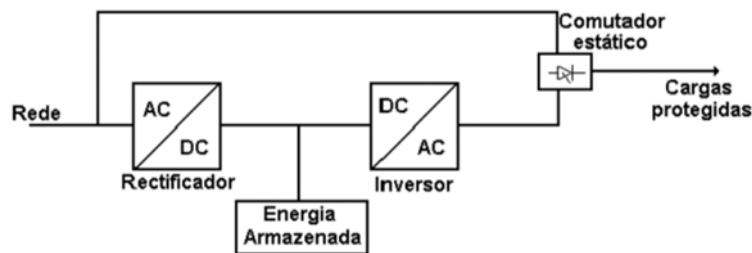


Fig. 3. 7 – Diagrama simplificado de UPS interativa.

Desta forma o nível de proteção oferecido é bastante acrescido e a velocidade de comutação entre a UPS e a rede elétrica é inferior à UPS estática, ver Fig. 3.7.

O tipo de UPS mais avançado, e também mais caro, é a UPS online que apresenta uma topologia radicalmente diferente das apresentadas até agora, uma vez que no estado normal de operação a alimentação passa por um retificador e por um inversor. O diagrama de blocos pode ser observado na Fig. 3.8.

Este tipo de UPS pode atingir por si só 1 MVA, sendo possível fazer uma associação de várias UPS de maneira a atingir potências que vão até 5 MVA. Para além das elevadas potências que podem alcançar, não existe qualquer tempo de transferência quando é necessário comutar entre a rede elétrica e as baterias. Das três topologias é a que oferece mais proteção à carga, no entanto, apresentam perdas mais elevadas uma vez que o retificador e inversor estão sempre em operação.

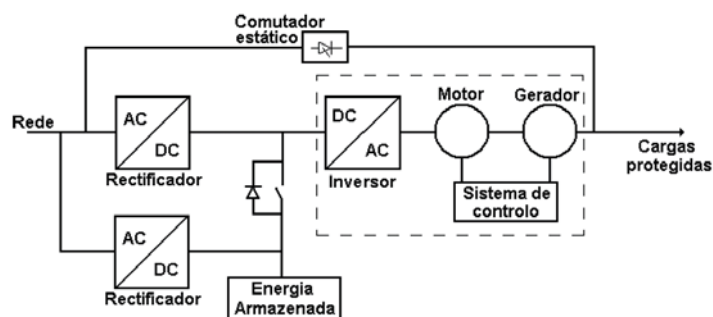


Fig. 3. 8 – Diagrama simplificado de UPS online.

3.3.4. Filtro ativo paralelo

O filtro ativo paralelo é o indicado para resolver problemas relacionados com as correntes num determinado sistema. Consoante o modelo específico, um filtro ativo paralelo poderá ter a capacidade de compensar harmónicos de corrente, desequilíbrios e fator de potência simultaneamente.

Idealmente, num caso de um sistema eléctrico de três fases com neutro acessível, o filtro ativo paralelo funciona como uma fonte de corrente controlada, injetando corrente nas três fases e no neutro para que a fonte só forneça correntes sinusoidais, equilibradas e com fator de potência unitário. Desta forma, do ponto de vista da fonte de alimentação, o conjunto constituído pelo filtro ativo e pelas cargas passa a ser visto como uma carga resistiva equilibrada, uma vez que o filtro ativo fornece a energia reativa, os harmónicos e redistribui as correntes pelas fases e pelo neutro. O diagrama de blocos da Fig. 3.9 permite visualizar os diversos componentes que constituem um filtro ativo paralelo.

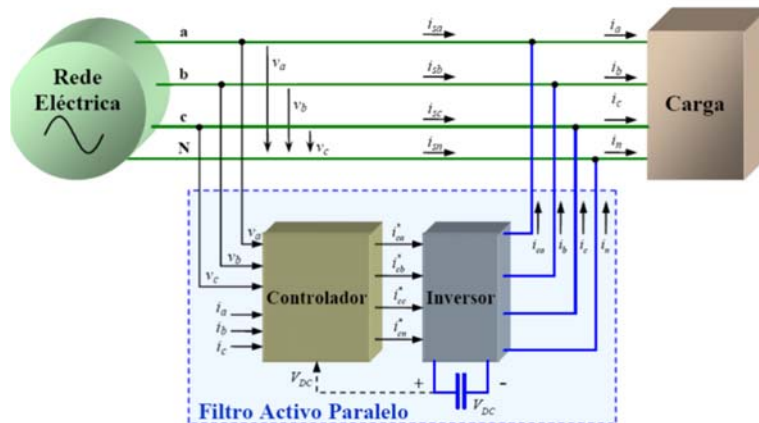


Fig. 3. 9 – Diagrama simplificado de filtro ativo paralelo.

3.3.5. Filtro ativo série

O filtro ativo série funciona como complemento ao filtro ativo paralelo, ou seja, é indicado para corrigir problemas relacionados com as tensões nas cargas. Este tipo de filtro ativo poderá corrigir diversos problemas tais como harmónicos de tensão, desequilíbrios de tensão, e caso tenham a capacidade de fornecer e absorver energia da rede, poderão também compensar afundamentos ou sobretensões. Sendo um complemento do filtro ativo paralelo, é possível ver o filtro ativo série como uma fonte de tensão controlada que injeta tensões no sistema de forma a compensar os problemas de tensão do lado da carga, tal como se pode observar na Fig. 3.10.

O desenvolvimento dos filtros ativo série começou nos anos 80 do século passado, no entanto, este tipo de filtros é utilizado com menos regularidade, havendo um número relativamente reduzido de implementações quando comparado com o filtro ativo paralelo, uma vez que os problemas a nível de tensão poderão ser resolvidos, por exemplo, recorrendo-se a UPS online (a nível de regulação a nível de amplitude e frequência, assim como afundamentos ou sobretensões, por exemplo], apesar de terem perdas relativamente elevadas. No entanto as UPS não resolvem problemas a nível de harmónicos de tensão, no entanto, estes têm uma amplitude bastante reduzida em que os processos produtivos não costumam ser afetados por este problema.

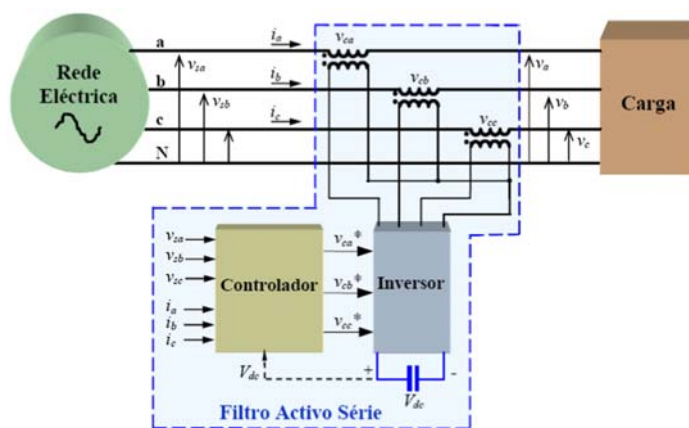


Fig. 3. 10 – Diagrama simplificado de filtro ativo série.

3.3.6. Filtro ativo série-paralelo

Um filtro série-paralelo, também conhecido por *Unified Power Quality Conditioner (UPQC)* pode ser visto como o mais próximo a que se chegou de se ter um equipamento universal para mitigar problemas relacionados com a qualidade de energia elétrica, tanto a nível da forma da onda de tensão como de corrente. É, como o próprio nome indica, um filtro ativo “Unificado”, ou seja, composto por um filtro ativo paralelo e por um filtro ativo série. O filtro ativo paralelo está localizado no lado da carga, sendo utilizado para compensar os harmónicos de corrente e o filtro ativo série, situado no lado da fonte, funciona como isolador para harmónicos de tensão entre a fonte e a carga.

Implementações deste tipo de filtro ativo de potência têm já surgido com relativa frequência, sendo relativamente comum a utilização de inversores de 3 ou mais níveis em substituição aos clássicos inversores de 2 níveis.

4. Simulação de Aplicação de Filtro Ativo Paralelo a Cargas Reais das Instalações da Universidade do Algarve

Neste capítulo analisar-se-á a aplicação de filtros ativos de potência para minimização da distorção harmónica nas correntes das cargas. O estudo foi aplicado a três tipos de cargas: cargas reais com aquisição de grandezas nos quadros de alimentação e uma carga constituída por lâmpadas LED, em ensaio laboratorial. A análise deste último caso é importante pois é expectável que as lâmpadas LED, ou tecnologia similar, sejam cada vez mais utilizados nas instalações da Universidade do Algarve. De facto, com o projeto “Impulso verde para a Universidade do Algarve” vão ser já instaladas 210 luminárias LED.

As correntes e tensões de alimentação de cada uma das cargas foram adquiridas digitalmente e depois trabalhadas para utilização em Matlab / Simulink.

Para efetuar o estudo do filtro ativo de potência recorre-se à simulação em ambiente Matlab / Simulink.

4.1 Vantagens da utilização de ferramentas de simulação [5]

A utilização de ferramentas de simulação tem-se tornado um hábito cada vez mais frequente no desenvolvimento de diversos sistemas, principalmente quando estes têm um grau de complexidade elevado. Estas ferramentas permitem fazer uma análise do comportamento dos sistemas, possibilitando o ajuste dos diversos parâmetros, para que se obtenham os resultados pretendidos. Numa simulação tem-se a vantagem de se poder testar o sistema em qualquer tipo de situação, sem que isso possa causar danos ao material utilizado ou à pessoa que está a desenvolver o trabalho.

Além disso, permite ter a percepção de possíveis problemas que, sendo descobertos apenas na fase de implementação, poderiam ser mais difíceis de resolver e por vezes implicariam gastos acrescidos.

Desta forma, pode-se concluir que as ferramentas de simulação são um auxílio muito importante no desenvolvimento de um sistema, permitindo reduzir o tempo e os custos da investigação e aumentando a segurança do trabalho.

Para que se consigam obter resultados credíveis na simulação, é importante que o modelo se consiga aproximar o mais possível da realidade. O facto de estas ferramentas serem muito utilizadas, tem potenciado um forte desenvolvimento nesse sentido. De um modo geral, as atuais ferramentas de simulação permitem ajustar diversos parâmetros dos componentes para que a aproximação à realidade seja possível.

Dentro das ferramentas de simulação, existem algumas que são dedicadas para um certo tipo de aplicações e outras que são mais gerais e têm uma gama maior de aplicações. As ferramentas dedicadas, geralmente, conseguem melhores desempenhos e uma maior aproximação à realidade, embora haja ferramentas não dedicadas que também consigam bons resultados.

4.2. *Matlab / Simulink e SimPowerSystems [5]*

Dentro das ferramentas disponíveis para fazer a simulação do inversor, optou-se pela utilização do *Matlab / Simulink* com a *toolbox SimPowerSystems*. A sua escolha deve-se ao seu bom desempenho e também aos conhecimentos anteriormente adquiridos em relação a esta ferramenta que facilitaram a realização das simulações.

O *Matlab* é um ambiente de análise e desenvolvimento de sistemas que combina uma grande capacidade de cálculo com uma linguagem de programação de alto nível, sendo orientada a aplicações científicas e de engenharia. O *Simulink* é uma extensão do *Matlab* que permite construir modelos de sistemas, com rapidez e simplicidade, através de diagramas de blocos. Permite também alterar diversos parâmetros de modo a ajustar a simulação e aproximá-la da realidade.

O *Simulink* disponibiliza várias *toolboxes*, sendo estas, livrarias dedicadas a várias áreas específicas. Neste caso foi utilizada a *toolbox SimPowerSystems* que permite a criação de modelos de eletrônica de potência.

4.3. Filtro Ativo Paralelo de Potência [6]

Conforme descrito anteriormente, os filtros ativos de potência permitem as compensações dinâmicas do fator de potência e dos harmônicos.

4.3.1. Teoria p-q

Esta teoria foi proposta em 1983 por *Akagi et al* para o controlo de filtros ativos de potência. O fato de ser baseada no domínio do tempo torna-a válida para operação em regime permanente ou transitório, bem como para formas de ondas genéricas de tensões e correntes, permitindo o controlo dos filtros ativos em tempo real. Os cálculos correspondem apenas a operações algébricas, com exceção à necessidade de separar os valores médios e alternados das potências calculadas. Observa-se também que as grandezas desta teoria apresentam significados físicos o que facilitam a compreensão da operação de qualquer sistema elétrico trifásico, desequilibrado ou não, com ou sem harmônicos.

Inicialmente a teoria p-q foi desenvolvida inicialmente para sistemas trifásicos a 3 condutores, com pequena ressalva a sistemas trifásicos com neutro. Posteriormente foi estendida de forma detalhada por *Watanabe et al.* e *Aredes et. Al.* para sistemas trifásicos a 4 condutores.

Esta teoria faz uma transformação de um sistema de referência estacionário de coordenadas *a-b-c*, para um sistema de coordenadas $\alpha\text{-}\beta\text{-}0$. Tal corresponde a uma transformação algébrica, conhecida por transformada de Clarke, que produz um sistema de referência também estacionário, onde as coordenadas $\alpha\text{-}\beta$ são ortogonais entre si e a coordenada *0* corresponde à componente de sequência zero. A transformação da teoria p-q às tensões das fases e correntes de carga é dada por:

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} * \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} * \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

As potências de sequência zero p_0 , real p e imaginária q são obtidas da seguinte forma respetivamente.

$$\begin{bmatrix} p_0 \\ p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_0 & 0 & 0 \\ 0 & v_\alpha & v_\beta \\ 0 & v_\beta & -v_\alpha \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

A descrição do significado físico das potências da teoria p-q é apresentada na Fig. 4.1 para as coordenadas a-b-c, considerando as seguintes definições:

\bar{p} é o valor médio da potência real instantânea. Corresponde à energia por unidade de tempo transferida da fonte de alimentação para a carga através dos eixos α - β , ou seja, pelas fases a-b-c do sistema trifásico.

\tilde{p} é o valor alternado da potência real instantânea. Corresponde à energia por unidade de tempo trocada entre a fonte de alimentação e a carga, ora da fonte para a carga ou vice-versa, através dos eixos α - β , ou seja, através das fases a-b-c.

q é a potência imaginária instantânea. Corresponde a uma potência que obrigatoriamente tem que circular entre as α - β , ou seja, entre as fases a-b-c do sistema trifásico, sem que com isso exista qualquer transferência ou troca de energia entre a fonte e a carga. Esta potência origina correntes indesejáveis. Esta componente também pode ser dividida em duas componentes, uma constante \bar{q} e outra alternada \tilde{q} . Para alguns casos particulares de sistemas trifásicos, o valor \bar{q} corresponde à potência reativa trifásica convencional.

\bar{p}_0 é o valor médio da potência instantânea de sequência zero. Corresponde à energia por unidade de tempo transferida da fonte para a carga através do eixo zero do sistema de coordenadas α - β -0, ou seja, através das componentes de sequência zero das tensões e correntes. Nas coordenadas a-b-c esta energia é transportada através do neutro e de uma ou mais fases.

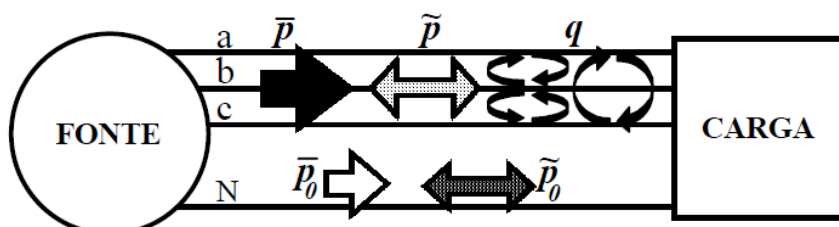


Fig. 4. 1 - Esquema de potências na teoria p-q.

\tilde{p}_0 é o valor alternado da potência instantânea de sequência zero. Corresponde à energia por unidade de tempo trocada entre a fonte e a carga através do eixo zero do sistema de coordenadas α - β -0. Nas coordenadas a-b-c esta energia é transportada através do neutro e de uma ou mais fases.

4.3.2. Controlo de filtros ativos paralelos

Observando a Fig. 4.2 constata-se que idealmente, num sistema trifásico a 4 condutores, apenas os valores médios da potência real instantânea e da potência instantânea de sequência zero devem ser fornecidos pela fonte. Assim sendo, deve-se calcular as correntes que um filtro ativo teria de fornecer ao sistema de forma a satisfazer essa condição. A nível da potência real instantânea, o valor a ser injetado pelo filtro ativo será:

$$p_x = \tilde{p} - \bar{p}_0 \tag{4.4}$$

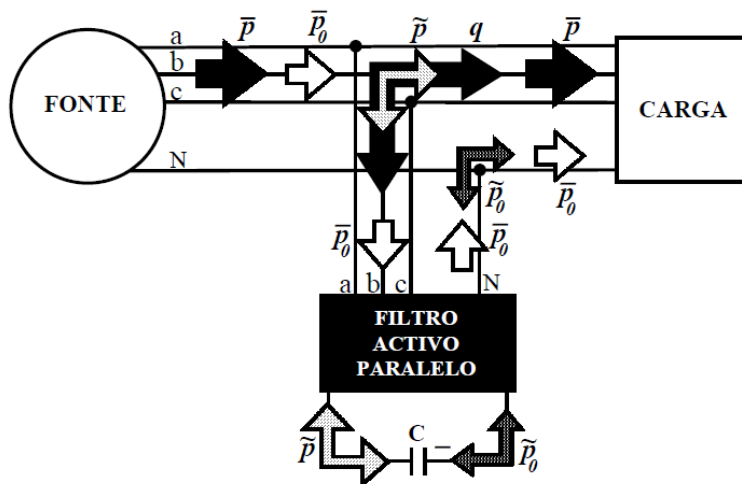


Fig. 4. 2 - Diagrama de potências num sistema elétrico com harmónicos e desequilibrados e cujas correntes são compensadas por filtro ativo de potência

Em que p_x é a potência real instantânea a ser compensada. De notar que nesta equação \bar{p}_0 é inserida com sinal negativo uma vez que, embora seja o filtro ativo paralelo que fornece esta potência para a carga, deve ser a fonte a fornecer energia ao filtro para permitir esta operação. Assim, a energia necessária para fornecer a componente média de potência instantânea de sequência zero à carga é fornecida ao filtro ativo paralelo de forma equilibrada pelas 3 fases.

Relativamente à potência imaginária instantânea, esta deve ser fornecida na sua totalidade pelo filtro ativo paralelo, ou seja:

$$q_x = q \quad (4.5)$$

Em que é a potência imaginária que deve ser compensada pelo filtro ativo paralelo.

A partir da expressão (4.3), não considerando o parâmetro p_0 , pode-se obter:

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} * \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Substituindo p e q por p_x e q_x , respetivamente, é possível obter a fórmula que permite calcular as correntes de compensação que o filtro ativo paralelo deve injetar no sistema.

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} * \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} p_x \\ q_x \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Relativamente à corrente de compensação instantânea de sequência 0, i_{c0} , toma o valor da corrente de sequência 0 do sistema elétrico e é calculada da seguinte forma:

$$i_{c0} = i_0 = \frac{1}{\sqrt{3}} * (i_a + i_b + i_c) \quad (4.8)$$

Por fim, será necessário converter as correntes de compensação para o referencial $a-b-c$, bastando fazer a transformada inversa de Clarke:

$$\begin{bmatrix} i_{ca} \\ i_{cb} \\ i_{cc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} * \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1 & 0 \\ 1/\sqrt{2} & -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ 1/\sqrt{2} & -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} i_{c0} \\ i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

$$i_{cn} = -(i_{ca} + i_{cb} + i_{cc}) \quad (4.8)$$

O filtro ativo de potência tem como único elemento armazenador de energia um condensador no lado DC do inversor. Para manter a tensão no lado DC estabilizada com o valor desejado é inserida uma terceira variável em (4.4) que determina p_x , que é a potência de regulação, p_{reg} . A determinação desta componente é efetuada utilizando um controlador proporcional que aplica o método quadrático, de forma a possibilitar uma aproximação mais rápida ao valor de referência:

$$p_{reg} = K_p * (V_{ref}^2 + V_{DC}^2) \quad (4.9)$$

Em que K_p é o ganho proporcional e V_{ref} é a tensão de referência. Assim, a variável p_x determinada em (4.4) passa a ser calculada da seguinte forma:

$$p_x = \tilde{p} - \bar{p}_0 - p_{reg} \quad (4.10)$$

Esta parcela de potência instantânea é fornecida, ou recebida, pela fonte de forma equilibrada através das 3 fases. Para que o filtro ativo funcione corretamente, a tensão no lado DC deve ter um valor superior à soma entre a tensão de piso entre fases e o valor de pico de tensão da bobina, ou seja:

$$v_{cc} = v_L + v_{Linha} \quad (4.11)$$

Em que v_L é o valor da tensão na indutância, v_{Linha} é o valor da tensão entre fases e v_{cc} a tensão no condensador.

4.4. Aquisição de dados

Foi utilizada a placa PCI-6070E da *National Instruments* para efetuar a aquisição digital dos sinais provenientes dos sensores de medida de tensão e corrente. Os sinais de corrente foram medidos utilizando pinças de corrente A622 da *Tektronix*. Para a medição das tensões foram utilizados amplificadores de isolamento ISO122JP da *Texas Instruments*.

Todo o software e equipamentos de aquisição de dados já se encontravam disponíveis no Departamento de Engenharia Eletrotécnica.

Foram efetuadas leituras de tensões e correntes, durante 2 segundos com um período de amostragem de 20 μ s entre leituras. Na Fig. 4.3, ilustra-se a disposição do equipamento instalado num quadro elétrico que alimenta predominantemente circuitos de iluminação com a utilização de balastos eletrónicos.



Fig. 4.3 – Equipamento instalado no quadro elétrico.

Cada um dos sinais de corrente foi caracterizado através da análise de Fourier, tendo sido obtidos a amplitude, a frequência e o ângulo do conteúdo harmónico, até ao 19º harmónico inclusive.

4.5. Caracterização de cargas

As cargas não lineares, reais, que foram caracterizadas para inserir na simulação, foram:

1. Carga 1 - *Datacenter*, existente nos Serviços de Informática da Universidade do Algarve, no edifício 1 do *Campus* de Gambelas;
2. Carga 2 - Circuitos de iluminação por lâmpadas fluorescentes com balastros eletrónicos, existente no rés do chão do edifício da biblioteca/administração do *Campus* da Penha;
3. Carga 3 - Circuitos de iluminação por lâmpadas LED (5,5 W/230 V), ensaio laboratorial.

Na Tabela 4, apresenta-se os valores da THD_I para cada fase e carga.

Tabela 5 – Distorção harmónica total, inicial, para cada carga.

Carga	THD _I [%]		
	Fase A	Fase B	Fase C
Carga 1	12,05	10,94	11,26
Carga 2	10,09	15,23	11,24
Carga 3	76,48	78,58	73,62

Conforme se pode verificar, a carga 3 - Circuitos de iluminação com 200 lâmpadas LED, é a carga elétrica não linear que provoca uma maior distorção nas correntes de alimentação, no valor médio de THD_i de 76,23 %. Esta distorção pode ser comprovada através da Fig. 4.4, onde se ilustra os espectrogramas das correntes de alimentação, contendo estes, uma componente harmónica significativa para os harmónicos ímpares. Estes harmónicos apesar de terem amplitude relativamente elevada, não têm impacto significativo nas instalações elétricas dado o consumo reduzido das lâmpadas.

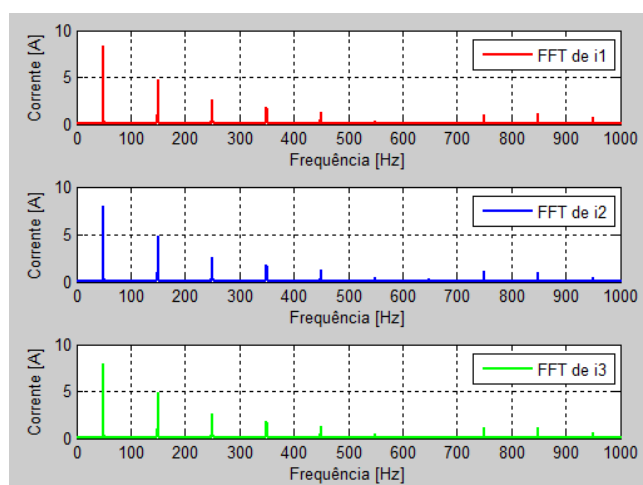


Fig. 4. 4 – Espectrogramas das correntes da carga 3.

4.6. Simulação através de Simulink / Matlab

As simulações do funcionamento do filtro ativo de potência, a 4 condutores, foram efetuadas através do Simulink [7], em que se obteve o esquema geral da simulação, Fig. 4.5.

De forma a obter-se uma melhor resolução nas formas de onda, configurou-se o funcionamento da simulação para um período de amostragem de 1 μ s.

No Simulink encontram-se diversos blocos de utilização usual e parametrizáveis, tais como fontes de alimentação, componentes passivos, displays, medidor de distorção harmónica total, medidores de tensões e corrente e visualizadores de formas de onda.

As ligações entre componentes e blocos são possíveis mediante arrastamento de cursor, entre as entradas e saídas respetivas. De seguida encontra-se uma breve explicação dos blocos utilizados.

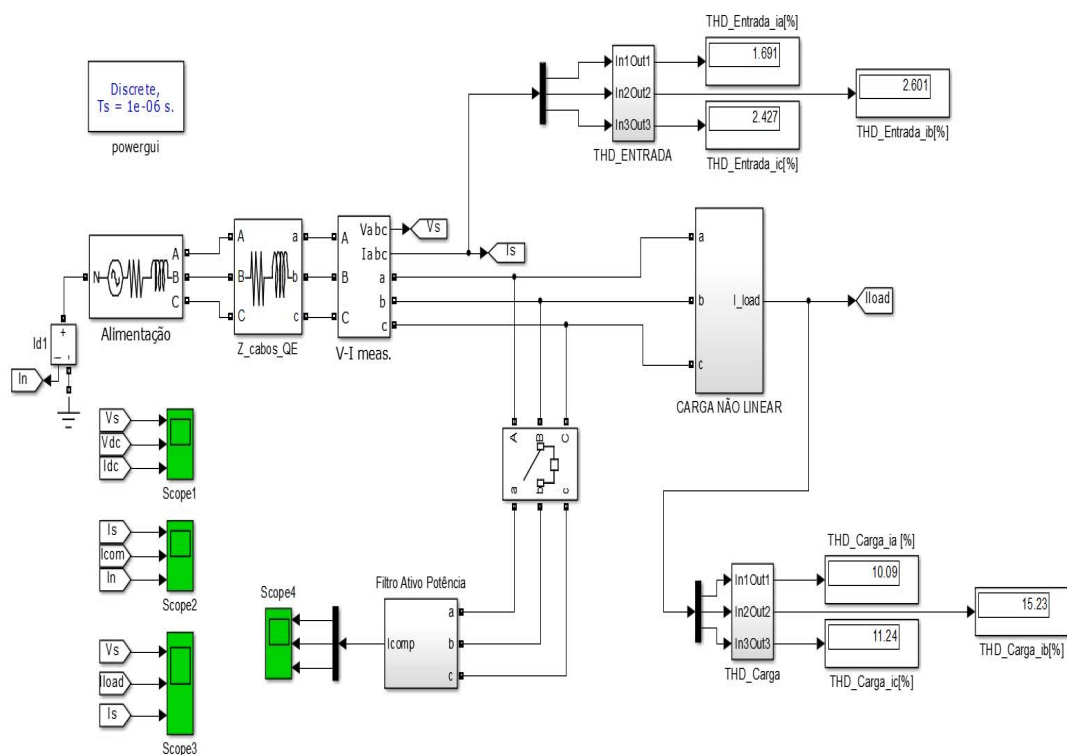


Fig. 4. 5. – Esquema Geral (Simulink).

4.6.1. Carga não linear

A carga não linear, Fig. 4.6, é obtida até ao 19º harmónico por fase, por intermédio de fontes de corrente alternada, em que os valores de amplitude, frequência e desfasamento foram obtidos através da compilação do *ficheiro.m* correspondente no Matlab.

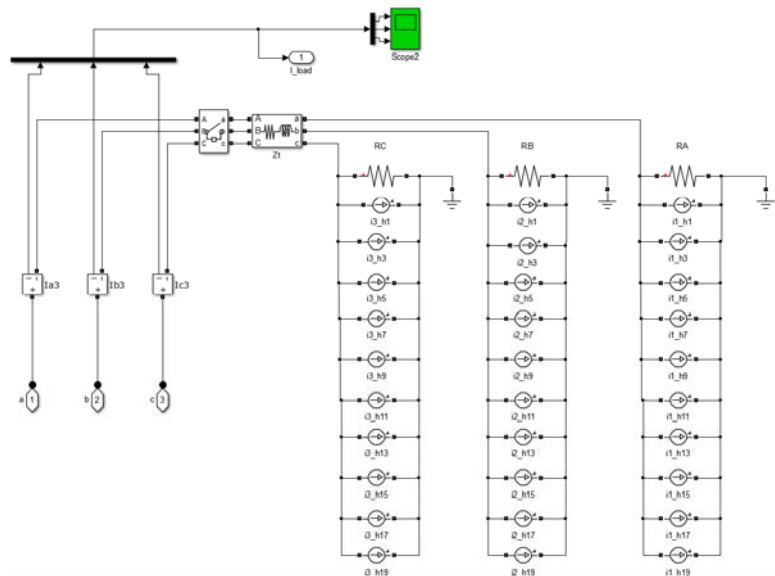


Fig. 4. 6 - Carga não linear (bloco Simulink).

4.6.2. Filtro ativo de potência

O filtro ativo de potência, Fig. 4.7, é basicamente constituído por um inversor trifásico que faz a injeção de corrente em cada fase de acordo com a necessidade de compensar ou não a corrente na carga. O comando deste inversor é obtido de acordo com os cálculos efetuados, assentes na teoria p-q descrita anteriormente. Estes cálculos dividem-se basicamente em: transformada de Clarke para as tensões e correntes; e cálculo da potência ativa (p) e reativa (q) e correntes de compensação.

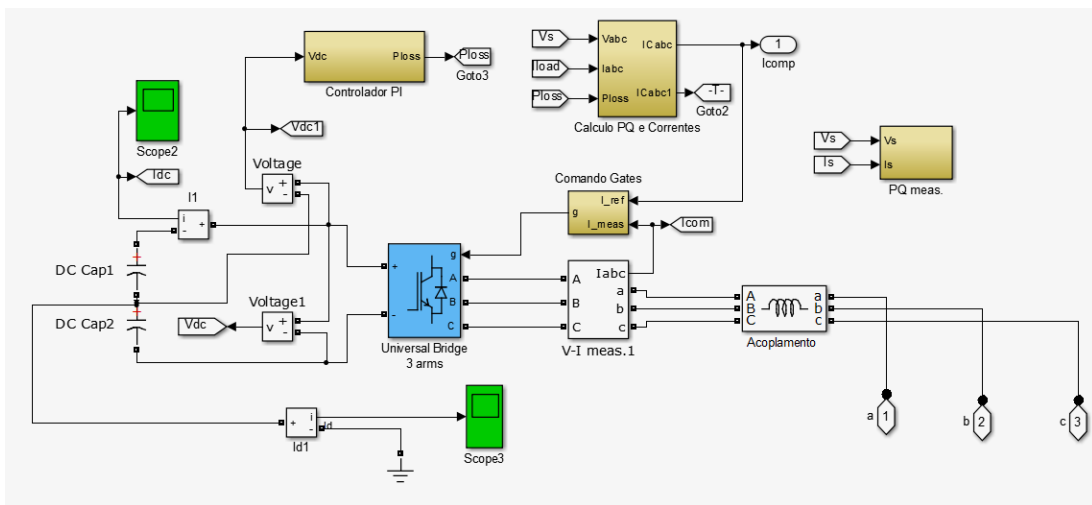


Fig. 4. 7 – Filtro ativo de potência (bloco Simulink).

4.6.3. Comando dos semicondutores

O comando dos semicondutores de potência, controláveis, instalados no inversor trifásico são operados individualmente, ver Fig. 4.8. Para um determinado semicondutor é efetuado uma comparação entre a corrente real e a corrente de referência (calculada) sendo depois acionado o semicondutor através da gate, para o semicondutor oposto existente no mesmo ramo/fase, o comando é negado em relação ao anteriormente descrito.

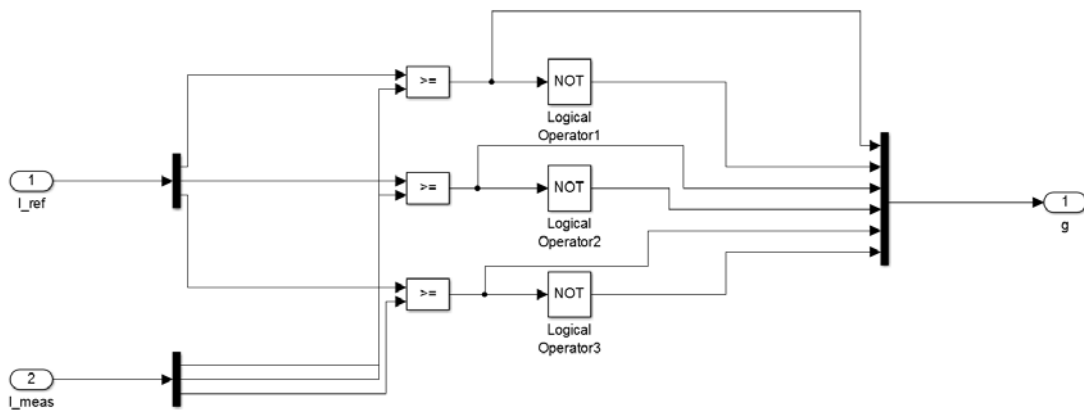


Fig. 4. 8 – Comando dos semicondutores (bloco Simulink).

4.6.4. Cálculo de potência ativa, reativa e correntes compensação

Todos os cálculos inerentes ao funcionamento do filtro ativo de potência são efetuados, neste bloco, ver Fig. 4.9, conforme descrito no capítulo 4.3.

Com os valores de tensão e corrente de carga são efetuadas as transformadas de Clarke, posteriormente os cálculos das potências intervenientes, bem como das correntes de compensação que serão injetadas pelo filtro ativo.

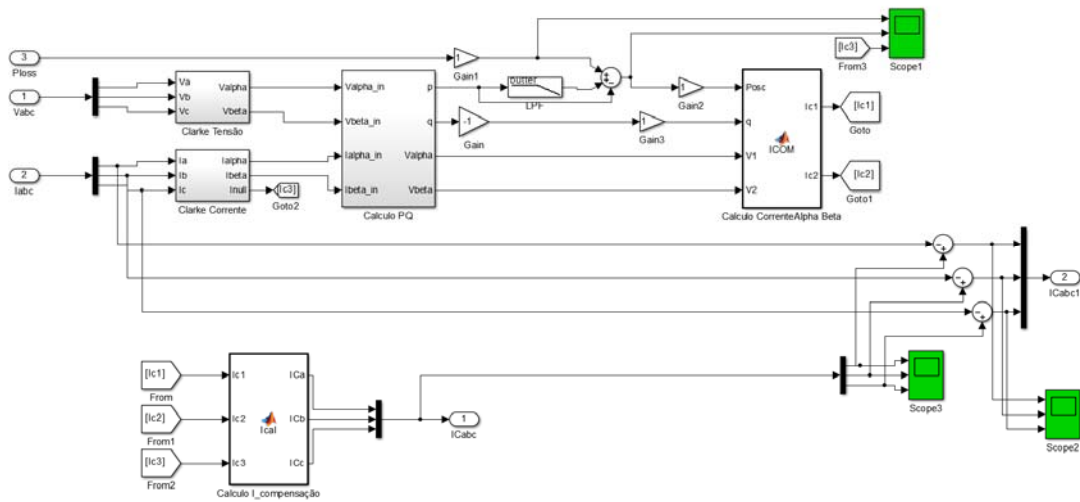


Fig. 4.9 – Cálculo de potência ativa, reativa e correntes compensação (bloco Simulink).

4.7. Análise de resultados

Com o funcionamento do filtro ativo de potência, consegue-se uma melhoria substancial da distorção harmónica total nas correntes de alimentação, conforme se pode comprovar pelos dados constantes na Tabela 6.

Na Fig. 4.10, visualiza-se as formas de tensão de entrada e das correntes de entrada e de saída. Também o fator de potência é compensado para valores unitários, conforme se comprova através das tensões e correntes de entrada, minimizando desta forma a utilização de sistemas de compensação do fator de potência.

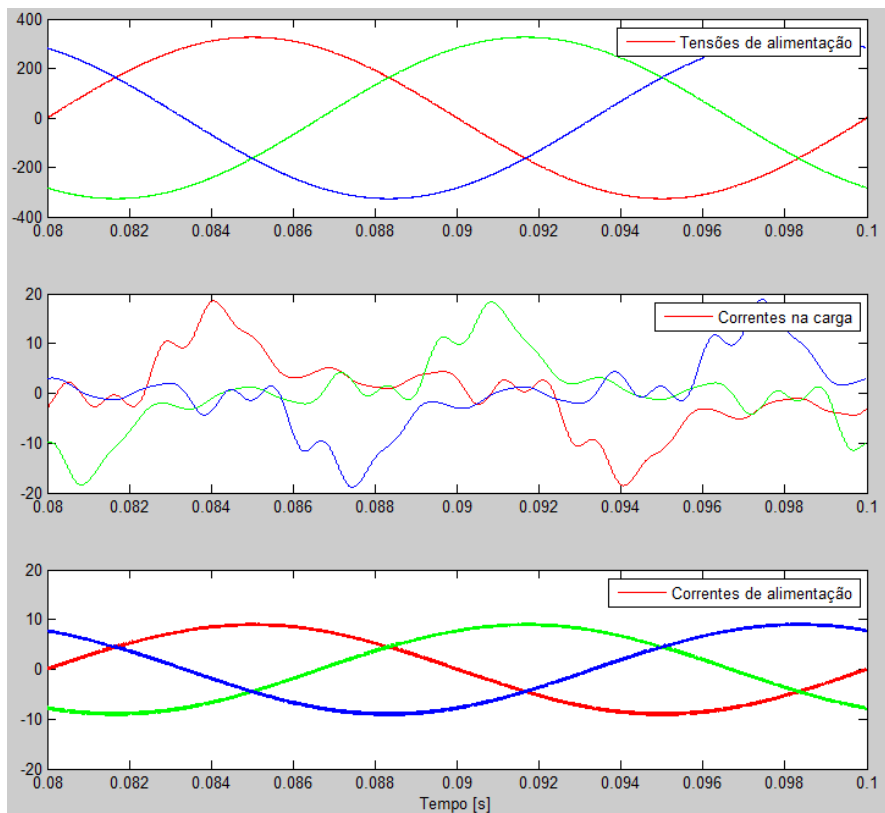


Fig. 4. 10 – Formas de onda das tensões de entrada e correntes de entrada e saída.

Através da Fig. 4.11, visualiza-se as correntes de compensação, produzidas pelo filtro ativo de potência, bem como a corrente de neutro, que toma valores próximos de zero. Esta situação é importante porque evita a necessidade de aumentar a seção do condutor de neutro.

Tabela 6 – Distorção harmônica total, final, para cada carga.

Carga	THD _i [%]		
	Fase A	Fase B	Fase C
Carga 1	3,66	2,82	3,01
Carga 2	1,69	2,60	2,40
Carga 3	1,54	2,82	1,57

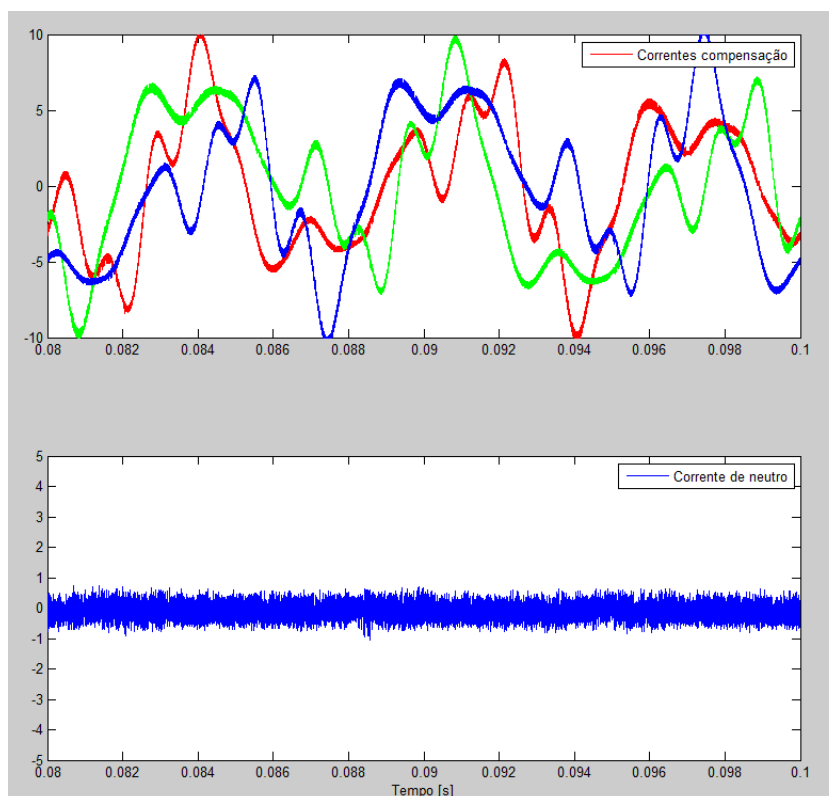


Fig. 4. 11 – Formas de onda das correntes de compensação e de neutro.

5. Conclusões

Ao longo de cerca de 10 anos foi adquirido um conjunto alargado de conhecimentos e competências que permitiram consolidar a formação académica obtida com a licenciatura em Engenharia Elétrica e Eletrónica, ramo de Sistemas de Energia e Controlo, proporcionando não só o desenvolvimento dos conhecimentos técnicos e científicos adquiridos mas também o aperfeiçoamento de aptidões pessoais e o desenvolvimento de outras competências.

Dada o uso intensivo de conversores de potência e de cargas não lineares nos mais variados equipamentos, provoca um aumento da deterioração das formas de onda das correntes e por conseguinte das tensões, provocando no funcionamento dos equipamentos contíguos uma redução no rendimento e aumento das perdas por efeito de joule. Também as instalações elétricas são prejudicadas visto que o aumento da corrente no neutro necessitará de aumentar a secção do mesmo.

A utilização de filtros ativos de potência permitirá compensar os efeitos indesejáveis nas formas de onda de correntes e tensões, otimizando também o fator de potência da instalação. O que se traduz além da melhoria da qualidade de energia elétrica, uma redução do custo de operação das instalações elétricas. Caberá aos fabricantes de equipamentos elétricos, legislados pelas autoridades competentes, a inclusão de dispositivos que não prejudiquem a qualidade de energia elétrica aos equipamentos contíguos.

Bibliografia

- [1] Decreto - Lei n.º 101/2007 de 2 de abril, “Regulamento de Licenças de Instalações Elétricas”, Diário da Republica, 1º série, n.º 65 de 2 de abril de 2007;
- [2] Portaria n.º 949-A/2006 de 11 de setembro, “Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão – RTIEBT”, Diário da Republica, 1º série, n.º 175 de 11 de setembro de 2006;
- [3] Pregitzer, R.L.G., “Simulações Computacionais de Filtros Activos de Potência em Condições Reais de Operação”, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Guimarães, setembro 2006;
- [4] EDP Distribuição, ISR – Departamento de Engenharia Eletrotécnica da universidade de Coimbra, “Manual da qualidade de energia elétrica”, dezembro 2005;
- [5] Sousa, L.M.R., “Implementação de uma Ferramenta de Simulação e Gestão de uma Micro rede de Energia”, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, setembro de 2013;
- [6] Couto, E. F., Martins, J.S., Afonso, J. L., “Resultados de Simulações de um Filtro Activo Paralelo com Controlo Baseado na Teoria p-q”, 8º Congresso Luso-Espanhol de Engenharia Eletrotecnica, Vilamoura, Algarve, Julho 2003;
- [7] Iqbal, M. J., “Shunt Active Power Filter”, online <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/43091-shunt-active-power-filter>. (acedido em 22/01/2015).

Anexo A

UNIVERSIDADE DO ALGARVE
SERVIÇOS ACADÉMICOS



JULIETA DO NASCIMENTO MATEUS, Directora dos Serviços Académicos da Universidade do Algarve-----;

Certifico que NELSON JOÃO VIEGAS GAGO -----;
natural de Olhão -----;
filho de Bernardo de Brito Gago e de Ilda Pereira Viegas-----;
no dia catorze do mês de Dezembro do ano dois mil e um-----;
concluiu o 1.º ciclo do curso bietápico em Engenharia Eléctrica e Electrónica - Opção
Sistemas de Energia e Controlo, pelo que lhe é conferido o grau de Bacharel em
Engenharia Eléctrica e Electrónica – Opção Sistemas de Energia e Controlo-----;
com a informação final de quinze (15) valores -----;
qualificação de Bom -----.

O interessado já requereu o respectivo diploma -----.

A presente certidão vai autenticada com o selo branco desta Universidade -----.

Faro, em 14 de Janeiro de 2002.

A Directora dos Serviços

(Julieta Mateus)

Em. Certidão: 9.48 €

Conferido:

SC/ Sara Cruz

UNIVERSIDADE DO ALGARVE
SERVIÇOS ACADÉMICOS

JULIETA DO NASCIMENTO MATEUS, Directora dos Serviços Académicos
da Universidade do Algarve ----- :

Certifico que NELSON JOÃO VIEGAS GAGO----- ;
natural de Olhão ----- ;
filho de Bernardo de Brito Gago e de Ilda Pereira Viegas ----- ;
no dia quinze do mês de Dezembro do ano dois mil e três----- ;
concluiu o 2.º ciclo do curso bietápico em Engenharia Eléctrica e Electrónica - Ramo
Sistemas de Energia e Controlo, pelo que lhe é conferido o grau de Licenciado em
Engenharia Eléctrica e Electrónica – Ramo Sistemas de Energia e Controlo ----- ;
com a informação final de quinze (15) valores ----- ;
qualificação de Bom ----- .

O interessado já requereu o respectivo diploma ----- .

A presente certidão vai autenticada com o selo branco desta Universidade ----- .

Faro, em 8 de Janeiro de 2004.

A Directora dos Serviços



(Julieta Mateus)

Em. Certidão: 10.50 €

Conferido:

MJM/ 

Maria Arménia de Carvalho Leite, Coordenadora dos Serviços Académicos da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, certifica, em face do arquivo respectivo, que:

NELSON JOAO VIEGAS GAGO

Filho de Bernardo de Brito Gago

e de Ilda Pereira Viegas

natural da freguesia de Quelfes

concelho de Olhão

distrito de Faro

obteve aprovação nos exames das seguintes disciplinas:

- Organização e Gestão da Manutenção, com quatorze valores;
- Qualidade de Energia, com quinze valores;
- Gestão de Energia em Edifícios e na Indústria, com quatorze valores;
- Organização e Gestão de Sistemas de Energia Eléctrica, com treze valores;

do CURSO DE MESTRADO EM ENG. ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES, edição 2004/2006, desta Faculdade.

A presente vai autenticada com o selo branco desta Faculdade.

Serviços Académicos da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra,

16 de Agosto de 2007

A Coordenadora dos Serviços Académicos

Maria Juliana Damael



REPÚBLICA PORTUGUESA

MINISTÉRIO DO TRABALHO E DA SOLIDARIEDADE SOCIAL

SNCP

SISTEMA NACIONAL DE CERTIFICAÇÃO PROFISSIONAL

CERTIFICADO DE APTIDÃO PROFISSIONAL

(Decreto-Lei n.º 95/92, de 23 de Maio e Decreto-Regulamentar n.º 68/94, de 26 de Novembro)



Certifica-se que **NELSON JOÃO VIEGAS GAGO** nascido(a) a **16/12/1975**, natural de **Olhão – Olhão**, portador(a) do documento de identificação pessoal n.º **10478804** emitido por **S.I.C. – Lisboa**, a **04/08/2005**, possui competências para exercer a profissão de **TÉCNICO SUPERIOR DE SEGURANÇA E HIGIENE DO TRABALHO (M/F)**.

Autoridade para as Condições do Trabalho, entidade certificadora competente ao abrigo do Decreto-Lei n.º 110/2000, de 30 de Junho.

Lisboa, 15 de Fevereiro de 2008

AUTORIDADE PARA AS CONDIÇÕES DO TRABALHO

O INSPECTOR-GERAL DO TRABALHO

— O Inspector Geral do Trabalho
Paulo Morgado de Carvalho

Certificado n.º **0802/11658/02**

Válido até **15-02-013**



MINISTÉRIO DO TRABALHO E DA SOLIDARIEDADE SOCIAL



INSTITUTO DO EMPREGO E FORMAÇÃO PROFISSIONAL

SNOP

SISTEMA NACIONAL DE CERTIFICAÇÃO PROFISSIONAL

CERTIFICADO DE APTIDÃO PROFISSIONAL

(Decreto-Lei n.º 95/92, de 23 de Maio e Decreto-Regulamentar n.º 68/94, de 26 de Novembro)

Certifica-se que **NÉLSON JOÃO VIEGAS GAGO** nascido em 1975.12.16, natural de Olhão, portador de Bilhete de Identidade nº 10478804 emitido pelo Arquivo de Identificação de Lisboa, em 2005.08.04, possui, desde 2006.10.12, competências pedagógicas para exercer a profissão de **FORMADOR (M/F)**, conforme as que são definidas no respectivo perfil profissional.



Instituto do Emprego e Formação Profissional, entidade certificadora competente ao abrigo Decretos Regulamentares 66/94, de 18 de Novembro e 26/97 de 18 de Junho.

Faro, 18 de Outubro de 2006

pel' A Delegada Regional

(Isilda Vargês Gomes)

Certificado nº EDF 418657/2006 DG

Válido até 2011.10.12

Certificado de Qualificações

(Portaria n.º 230/2008 de 7 de Março)

Certifica-se que:

Nelson João Viegas Gago, natural de **Olhão**, nascido(a) a **16 de Dezembro de 1975**, Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão/Passaporte n.º **10478804**, emitido pelo Arquivo de Identificação em **7 de Maio de 2010**,

obteve certificação nas seguintes unidades:

Código	Unidades de Formação de Curta Duração	Carga Horária
PROJ-INST	ITUR	25 h

Tendo concluído em **3 de Dezembro de 2010** na **Telecert - Certificações Técnicas, Lda.** o curso de

Projecto e Instalação ITUR (25h)

Faro, 24 de Março de 2011



Responsável pela Entidade Formadora

Certificado N.º: 194/2011

Certificado de Qualificações

(Portaria n.º 230/2008 de 7 de Março)

Certifica-se que:

Nelson João Viegas Gago, natural de **Olhão**, nascido(a) a **16 de Dezembro de 1975**, Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão/Passaporte n.º **10478804**, emitido pelo Arquivo de Identificação em **7 de Maio de 2010**,

obteve certificação nas seguintes unidades:

Código	Unidades de Formação de Curta Duração	Carga Horária
PROJ-INST	ITED - A	50 h

Tendo concluído em **6 de Novembro de 2010** na **Telecert - Certificações Técnicas, Lda.** o curso de

Projecto e Instalação ITED - Actualização (50h)

Faro, 7 de Dezembro de 2010



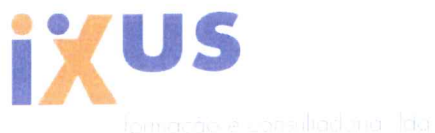
Responsável pela Entidade Formadora

Certificado N.º: 231/2010

CERTIFICADO

De Frequência de Formação Profissional

Dec. Reg. N.º 35/2002 de 23 de Abril



Certifica-se que Nelson João Viegas Gago


natural de Olhão, nascido a 16 de Dezembro de 1975, nacionalidade Portuguesa, sexo Masculino, portador do documento de identificação Bilhete de Identidade n.º10478804, emitido por Lisboa em 04 de Agosto de 2005, frequentou o Curso de Formação Profissional:

Projecto de Sistemas Fotovoltaicos

Que decorreu de 10 de Setembro de 2008 a 18 de Setembro de 2008 com a duração de 30 horas,

Porto, 27 de Outubro de 2008

O responsável pela Entidade Formadora


iXUS
Formação e Consultadoria, Lda.
António Viegas

Modalidade de Formação:

Formação de actualização/aperfeiçoamento

Área de Formação:

Electricidade – Energia

Competências Adquiridas:

Conceber projectos de Sistemas Fotovoltaicos com Segurança e de Fácil Implementação.

Processar o Licenciamento dos Projectos Fotovoltaicos.

Módulo/Tema	Duração (horas)				Total
	Sócio-Cultural	Científico-Tecnológico	Prática Simulada	Prática em Contexto de Trabalho	
1. Mercado das Energias Renováveis		1			1
2. Evolução do Mercado Fotovoltaico		1			1
3. Recurso Solar		2	1		3
4. Tecnologia dos Módulos Fotovoltaicos		2			2
5. Baterias e Acumuladores		1			1
6. Reguladores de Carga		1			1
7. Conversores DC/DC		1			1
8. Inversores DC/AC		1			1
9. Sistemas de Controle e Monitorização		3			3
10. Configurações Típicas		2			2
11. Metodologias de Projecto		2	10		12
12. Regulamentação Aplicável		2			2
Total (Horas)		19	11		30

Observações: O curso não prevê nenhum processo de avaliação



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Campus da Penha, 8005-139 Faro
NIPC 505387271

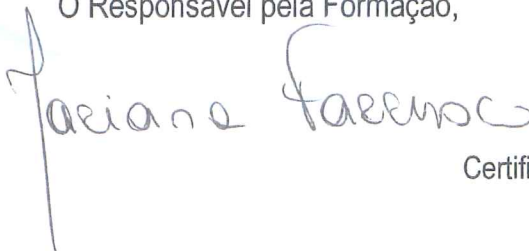
CERTIFICADO DE FREQUÊNCIA DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL

Decreto-Regulamentar n.º 35/2002, de 23 de Abril

Certifica-se que **NELSON JOÃO VIEGAS GAGO**, natural de **Olhão**, nascido a **16 de Dezembro de 1975**, de nacionalidade portuguesa, sexo **masculino**, portador do documento de identificação n.º **10478804**, emitido por **Lisboa**, em **4 de Agosto de 2005**, frequentou de **16 a 20 de Março de 2009**, com a duração total de **30** horas, o seguinte curso de formação profissional:

SIADAP para Avaliadores - O Papel do Avaliador na Avaliação de Desempenho

O Responsável pela Formação,



Faro, 23 de Abril de 2009

Certificado n.º 281/09



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Campus da Penha, 8005-139 Faro
NIPC 505387271

CERTIFICADO DE FREQUÊNCIA DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL

Decreto-Regulamentar n.º 35/2002, de 23 de Abril

Certifica-se que **NELSON JOÃO VIEGAS GAGO**, natural de **Olhão**, nascido a **16 de Dezembro de 1975**, de nacionalidade portuguesa, sexo **masculino**, portador do documento de identificação n.º **10478804**, emitido por **Lisboa**, em **4 de Agosto de 2005**, frequentou de **4 a 12 de Novembro de 2008**, com a duração total de **18** horas, o seguinte curso de formação profissional:

Segurança e Higiene do Trabalho

O Responsável pela Formação,

Fátima Fernandes

Faro, 23 de Março de 2009

Certificado n.º 237/09



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Campus da Penha, 8005-139 Faro
NIPC 505387271

MCTES MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR



PROAlgarve



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Social Europeu

CERTIFICADO DE FREQUÊNCIA DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL

Decreto-Regulamentar n.º 35/2002, de 23 de Abril

Certifica-se que **NELSON JOÃO VIEGAS GAGO**, natural de **Olhão**, nascido a **16 de Dezembro de 1975**, de nacionalidade portuguesa, sexo **masculino**, portador do documento de identificação n.º **10478804**, emitido por **Lisboa**, em **4 de Agosto de 2005**, frequentou de **10 de Março a 7 de Abril de 2008**, com a duração total de **18 horas**, o seguinte curso de formação profissional:

Tutoria electrónica

O Responsável pela Formação,

Faro, 7 de Julho de 2008

Certificado n.º 572/08



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Campus da Penha, 8005-139 Faro
NIPC 505387271

MCTES MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Social Europeu

CERTIFICADO DE FREQUÊNCIA DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL

Decreto-Regulamentar n.º 35/2002, de 23 de Abril

Certifica-se que **NELSON JOÃO VIEGAS GAGO**, natural de **Olhão**, nascido a **16 de Dezembro de 1975**, de nacionalidade portuguesa, sexo **masculino**, portador do documento de identificação n.º **10478804**, emitido por **Lisboa**, em **4 de Agosto de 2005**, frequentou de **27 de Novembro a 6 de Dezembro de 2007**, com a duração total de **12 horas**, o seguinte curso de formação profissional:

Publicação de conteúdos no portal da Universidade

O Responsável pela Formação,

Faro, 28 de Janeiro de 2008

Certificado n.º448/2007

CERTIFICADO DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL DE TÉCNICO SUPERIOR DE SEGURANÇA E HIGIENE DO TRABALHO

(Decreto-Lei n.º 95/92, de 23 de Maio, Decretos regulamentares n.º 68/94 de 16 de Novembro e
n.º 35/2002 de 23 de Abril e Decreto-Lei n.º 110/2000 de 30 de Junho)

S

STUDYTRAB

CENTRO DE ESTUDOS DE HIGIENE
E SEGURANÇA NO TRABALHO, LDA

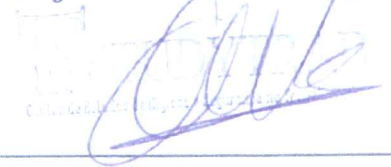
Rua Jacinto José de Andrade, 52
8900-313 Vila Real Santo António

NIPC 505156202
Entidade Formadora Acreditada pelo IQF (Processo n.º 2724)

Certifica-se que Nelson João Viegas Gago, natural de Olhão, nascido a 16/12/1975, de nacionalidade Portuguesa, sexo Masculino, portador do Bilhete de Identidade n.º 10478804, emitido pelo Arquivo de Identificação de Lisboa, em 04/08/2005, concluiu com aproveitamento, em 21/07/2007, o Curso de Formação Profissional de Técnico Superior de Segurança e Higiene do Trabalho que decorreu de 28 de Setembro de 2006 a 31 de Maio de 2007, com a duração total de 540 horas, tendo obtido a classificação final de 17, numa escala de 0 a 20 Valores. Este Curso enquadra-se no nível 5 de qualificação.

Faro, 30 de Julho de 2007

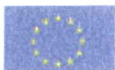
A Gerência da STUDYTRAB



(Ana Vargas, Dr.ª)

Certificado n.º 0234 / 2007

ISHST – Certificado de Homologação n.º 205 de 13/02/2006



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu



GOVERNO DA REPUBLICA PORTUGUESA
Ministério do Trabalho e Solidariedade Social



PLANO CURRICULAR:

<i>Designação das Unidades Temáticas</i>	<i>Horas</i>
- <i>Legislação, Regulamentos e Normas de Segurança, Higiene e Saúde do Trabalho</i>	<i>35 horas</i>
- <i>Estatística e Fiabilidade</i>	<i>20 horas</i>
- <i>Gestão das Organizações</i>	<i>20 horas</i>
- <i>Gestão da Prevenção</i>	<i>35 horas</i>
- <i>Avaliação de Riscos</i>	<i>35 horas</i>
- <i>Controlo de Riscos</i>	<i>25 horas</i>
- <i>Organização da Emergência</i>	<i>20 horas</i>
- <i>Higiene do Trabalho</i>	<i>70 horas</i>
- <i>Segurança do Trabalho</i>	<i>70 horas</i>
- <i>Ergonomia</i>	<i>20 horas</i>
- <i>Psicossociologia do Trabalho</i>	<i>20 horas</i>
- <i>Técnicas de Informação, de Comunicação e de Negociação</i>	<i>30 horas</i>
- <i>Concepção e Gestão da Formação</i>	<i>20 horas</i>
- <i>Práticas em Contexto Real de Trabalho com elaboração de Projecto</i>	<i>120 horas</i>
<i>Carga Horária Total</i>	<i>540 horas</i>
<i>Média Final de Curso</i>	<i>17 valores</i>

<i>Modalidade de Formação:</i>	<i>Formação Inicial</i>
<i>Área de Formação:</i>	<i>862 – Segurança e Higiene do Trabalho</i>
<i>Satida Profissional:</i>	<i>Técnico Superior de Segurança e Higiene do Trabalho</i>
<i>Competências Adquiridas:</i>	<i>O Formando adquiriu as competências mencionadas no perfil profissional do Técnico Superior de Higiene e Segurança do Trabalho</i>

OBSERVAÇÕES:

A componente de formação prática em contexto real de trabalho, com a duração de 120 horas, compreendeu a realização de um trabalho final de curso, desenvolvido no âmbito da empresa / entidade ELETBF – Electricidade e Telecomunicação Lda., subordinado ao tema AVALIAÇÃO DE RISCOS NA ELABORAÇÃO DE QUADROS ELÉCTRICOS DE BAIXA TENSÃO, o qual obteve aprovação.

CERTIFICADO DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL

(Decreto Lei nº 95/92, de 23 de Maio e Decreto regulamentar nº 68/94, de 26 de Novembro)

Decreto Regulamentar nº 35/2002, de 23 de Abril

Certifica-se que *Nelson João Viegas Gago* nascido a *16 de Dezembro de 1975*, natural de *Olhão*, portador do Bilhete de Identidade N.º *10478804* emitido pelo Arquivo de Identificação de *Lisboa*, em *25 de Maio de 2000*, concluiu com aproveitamento, o curso de Formação Profissional de

OFFICE XP

Duração da Acção: *150 horas*

Período de Realização: *09 de Dezembro de 2003 a 06 de Maio de 2004*

Local: *Faro*

Classificação Final: *16 valores*

Faro, 25 de Junho de 2004

A Coordenação

Form@lgarve
Formação & Recursos Humanos, Lda.
PARA LEONOR MENDONÇA (Sua Assinatura)
A Gerência

(Leonor Mendonça)

Certificado n.º FPO/ 009/2004





ITG

Instituto Tecnológico do Gás

(ENTIDADE DE UTILIDADE PÚBLICA)

Diploma de Presença

NELSON JOÃO VIEGAS GAGO

esteve presente NO CURSO DE PROJECTISTA DE REDES DE GÁS

realizado em UNIVERSIDADE DO ALGARVE

de 2002 / 09 / 13 *a* 2002 / 09 / 28 *com Bom Aproveitamento*


I. T. G.

CERTIFICADO DE FREQUÊNCIA DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL

(Decreto Regulamentar n.º.35 / 2002 de 23 de Abril)



*Educação, Investigação e Consultoria
em Trabalho, Saúde e Ambiente, S.A.*

Calçada da Glória, 12 – LISBOA 1269-124

NIF n.º. 503545643

Entidade Formadora Acreditada pelo INOFOR (Processo n.º. 503)

*Certifica-se que **Nelson João Viegas Gago**, natural de Olhão, nascido a 16/12/1975, nacionalidade Portuguesa, sexo masculino, portador do Bilhete de Identidade n.º. 10478804-6, emitido pelo Arquivo de Identificação de Lisboa, em 25/05/2000, frequentou de 02 a 30 de Setembro de 2002, com a duração total de 39 horas, o Curso de Formação Profissional de “ANÁLISE DE RISCO”.*

Lisboa, 05 de Dezembro de 2002

O Administrador Delegado da Ecosáude

(Jorge Duarte, Dr.)

Certificado n.º. 32/2002

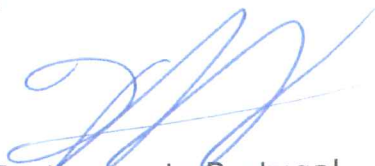
CERTIFICADO DE PRESENÇA

National Instruments certifica que
NÉLSON JOÃO VIEGAS GAGO

Esteve presente no Curso
LabVIEW Hands-on

Sessão em
10.Maio.2002

JOSÉ LUIS ALBUQUERQUE SILVA
Formador



National Instruments Portugal



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

CERTIFICADO

Certifica-se que

Nelson João Viegas Gago

frequentou o curso :

“Electrical Variable Speed Drives “

Período : de 21.05.01 a 25.05.01

Duração: 12 horas

Docente: Prof. Manfred Schulze - FH-Zwickau - Alemanha





UNIVERSIDADE DO ALGARVE
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

CERTIFICADO

Certifica-se que

Nelson João Viegas Gago

frequentou o curso :

**“ Digital Processing and Applications
using VEE-Software “**

Período : 08 a 11 de Maio de 2000

Duração: 10 horas

Docente: Prof. Juergen Kloetzner da F.H. - Zwickau - Alemanha





ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA UALGARVE

ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

CERTIFICADO

Certifica-se que

Nelson João Viegas Gago

Frequentou o curso

Amplificação de Microondas

Período de 28.10.99 a 29.10.99

Duração: 8 horas

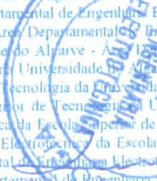
Docente: Prof. Vicent Didier da Université de St. Etienne - França

O Director da Área Departamental de Engenharia Electrotécnica

O Presidente do Conselho Directivo da Escola Superior de Tecnologia

(Carlos Manuel de Azevedo Marinho)

(Valentim Ribeiro de Almeida)



Certificado de Presença

Certifica-se que

Nelson Gago

Titular do n.º de identificação _____, (Cartão de cidadão /BI /Passaporte
válido até _____, (dia/mês/ano).

Frequentou o workshop do Base

Em 22 de setembro de 2014

com a duração de 3 horas.

Local: Auditório da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve, sito na Praça da Liberdade nº1, em Faro.

Lisboa, terça-feira, 23 de Setembro de 2014

Fernando Oliveira Silva
Presidente do Conselho Diretivo



(Assinatura e selo branco ou carimbo da entidade emitente)

Certificado n.º 64 EPCPE/2014

InCI, I.P

. ME-Ministério da Economia



2.º seminário
**higiene e
segurança
no trabalho**

01 de fevereiro de 2013
grande auditório
campus de gambelas

CERTIFICADO DE PARTICIPAÇÃO

Certifica-se que Nelson Coaigo participou
no 2º Seminário - Higiene e Segurança no Trabalho, promovido pela **Previgarb -
Engenharia de Segurança Lda.** e realizado no 1 de Fevereiro de 2013, no Grande
Auditório da Universidade do Algarve Campus das Gambelas.

A Gerência

PREVIGARB, LDA.
A Gerência

(Previgarb)



INSTITUTO SUPERIOR ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO ALGARVE



TOYOTA

Certificado de Presença

Certifica-se que Nelson João Viegas Gago, frequentou o colóquio "Mobilidade Sustentável, o Futuro do Automóvel - Visão Toyota", realizada no dia 11 de Março de 2011 pela Caetano Auto (Algarve)-Concessionário Toyota.

Faro, 11 de Março de 2011

O Director do Instituto Superior de Engenharia

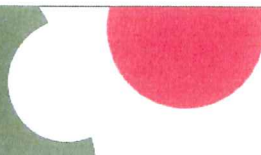
(Ilídio Mestre)

O Director Geral da Caetano Auto (Algarve)

Caetano-Auto, S.A.

E. N. 125, Sítio de Engenharia
Apartado 350
8001-904 FARO

(Carlos Salgueiro)



CERTIFICADO DE PARTICIPAÇÃO

Certifica-se que o
“ROADSHOW DO SISTEMA NACIONAL DE COMPRAS PÚBLICAS (SNCP)”
que teve lugar no Grande Auditório Campus de Gambelas,
Faro, no dia 26 de NOVEMBRO de 2009,

contou com a participação de:
Nelson João Viegas Gago

na qualidade de:
Tecnico Superior

em representação de:
Universidade do Algarve

A Organização

Certificado de Presença



2º Seminário

Eficiência Energética

Certifica-se que

esteve presente no 2.º Seminário “Eficiência Energética” realizado no dia 29 de Maio de 2008,
na Biblioteca Municipal Álvaro de Campos, em Tavira.

O Presidente da Câmara Municipal

José Macário Correia



29 de Maio
Dia mundial da Energia

Tavira

Biblioteca Municipal
Álvaro de Campos

tavira
vive cultura



Seminários Certiel 2007

REGRAS TÉCNICAS DAS INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS DE BAIXA TENSÃO

PORTARIA N.º 949-A / 2006

Certificado

Certifica-se que,

Nelson João Viegas Gago

frequentou o seminário subordinado ao tema
Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão
Portaria n.º 949 A / 2006.

Este seminário decorreu em

Faro

no dia

23 de Abril de 2007

com a duração total de 4 horas, tendo o participante assistido à totalidade.

Lisboa,

Alvesio Barbosa

A Direcção

Seminário

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS

PROGRAMA “ENERGIA INTELIGENTE – EUROPA” E CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA

CERTIFICADO

Certifica-se que Nelson João Siegas Gago participou no Seminário “Eficiência Energética em Edifícios”, organizado pelo Euro Info Centre Algarve, serviço de informação europeia da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve, realizado em Portimão, no dia 12 de Abril de 2007.

O Presidente da CCDR Algarve



José António de Campos Correia



Certifica-se que *Nelson Gago* participou no seminário com o tema “Sistemas de protecção contra descargas atmosféricas – Segurança das Instalações”, organizado pela QEnergia.

Este seminário decorreu no dia 19 de Maio, entre as 14h30 e as 17h30 no Hotel Brisa Sol.

Albufeira, 19 de Maio de 2005

QEnergia



FERMAX

CERTIFICADO DE PARTICIPAÇÃO

Certificamos que o Exm^o.^(a) Sr.^(a)

Nelson Gago

participou no seminário técnico-comercial realizado pela empresa **FERMAX** com o seguinte programa:

1. **Apresentação Programa**
 - Video Corporativo FERMAX
2. **Porteiro Electronico e Video-Porteiro**
 - Sistemas analógicos, Convencionais
 - Placas Cityline e Citymax
3. **Porteiro Electrónico e Video-Porteiro**
 - Sistema ADS
 - Instalação Simples
4. **Sistema Vision 5 fios sem Coaxial**
5. **Novidades e equipamentos**
 - Reparação e manutenção
6. **Assistência Global**
 - Projectos On-Line. Internet

Formadores: Sr. Joaquim Costa

Sr. José Moreno

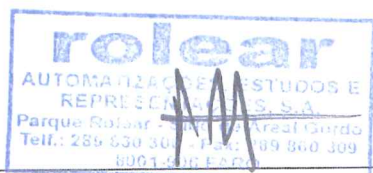
Sr. Saturnino Camano

Data: 17 de Maio de 2004 (18:00h – 20:30h)

Local: Centro de Formação - Grupo Rolear – Areal Gordo

**Direcção de Formação
Rolear S.A.**

**Formador
FERMAX**



Certificado de Presença

Certificado de Presença

Certificado de Presença


Certifica-se que o Exmo. Sr.

Nelson João Viegas Gago

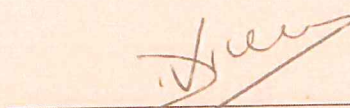
Participou no Seminário de: "Protecções contra Sobretensões", promovido pela Weidmüller - Sistemas de Interface, S.A. em

FARO, no dia 03 / 05 / 2004

Data 03 de Maio de 2004



O Formador



Director Geral
Deodato Taborda Vicente

Quando o bom ainda não é o suficiente

Weidmüller 



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

CERTIFICADO

Certifica-se que

Nelson João Viegas Gago

frequentou o seminário :

“ Dia Siemens “

Data: 16 de Fevereiro de 2004

Empresa Convidada: SIEMENS

Organização: Área Departamental de Engenharia Electrotécnica

Local: Campus da Penha – Anfiteatro José Silvestre

O Director da Área Departamental de Engenharia Electrotécnica

(Isménio Martins, Prof. Adj.)



CERTIFICADO DE FORMAÇÃO

Certificamos que o (a) Exmo (a) Senhor (a)

Nelson José Siegas Cabral

se inscreveu e participou na sessão de formação

Schneider - 4 dias, 4 temas : Projectistas e Instaladores - Média Tensão

Formadores: Schneider Electric Portugal, Lda - Eng.º Miguel Sobral e Eng.º Pedro Cabral

Temas:

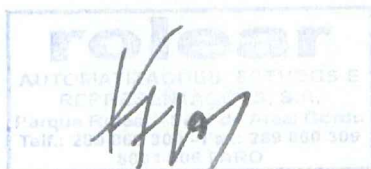
- Kiobloc - PT chave na mão
- CAS e SM6 - aparelhagem compacta
- Protecção Diferencial

Data: 15 de Julho de 2002 (duração: duas horas)

Local: Parque Rolear, Sítio do Areal Gordo - Faro

Direcção Formação

Rolear S.A.



Formador

Schneider Electric Portugal Lda



CERTIFICADO DE FORMAÇÃO

Certificamos que o (a) Exmo (a) Senhor (a)

Nelson João Siegas Gato

se inscreveu e participou na sessão de formação

Schneider - 4 dias, 4 temas : Instaladores - Residencial

Formadores: Schneider Electric Portugal, Lda - Eng.º José Lima e Eng.º João Paulo Dias

Temas: - Catálogo do Electricista 2002
- Himel - Quadros e Armários

Data: 18 de Julho de 2002 (duração: duas horas)

Local: Parque Rolear, Sítio do Areal Gordo - Faro

Direcção Formação

Rolear S.A.



Formador

Schneider Electric Portugal Lda

João Paulo Dias



" SEMANA DA TECNOLOGIA "

6 A 10 de Novembro de 2000

Certificado de Presença

Celso João Fregas Gago

Esteve presente no(s) Seminário(s)

"Tecnologias Versus Ambiente";

"Tecnologias da Informação na Monitorização das Condições de Produção agrícola"; "Ambiência Luminotécnica";

"Energias Renováveis"

Escola Superior de Tecnologia
Da Universidade do Algarve



realizados de 6 a 10 de Novembro de 2000 no Grande Auditório do Complexo Pedagógico da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve, Campus da Penha, sito Faro.

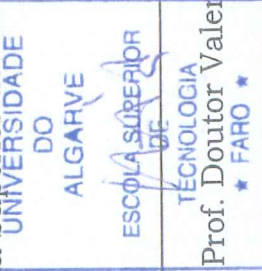


N.P.E.S.T.
UAIG

Núcleo Pedagógico da
Escola Superior de
Tecnologia da
Universidade do Algarve

Conselho Directivo

da Escola Superior de Tecnologia
UNIVERSIDADE
DO
ALGARVE



(O Presidente, Prof. Doutor Valentim Almeida)

(A Presidente, Carla Oliveira)

P¹a Direcção do NPEST - UAIG



Núcleo Ped. EST



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

CERTIFICADO

Certifica-se que

Nelson João Viegas Gago

frequentou a conferência :

“ Supervisão e Controlo Remoto de Emissores de Radiodifusão “

Data : 06 de Maio de 2000

Conferencista: Prof. José Aleluia Martins

**Organização: Clube de Electrónica
Área Departamental de Engenharia Electrotécnica**

Local: Campus da Penha – Anfiteatro José Silvestre





UNIVERSIDADE DO ALGARVE
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

CERTIFICADO

Certifica-se que

Nelson João Viegas Gago

frequentou a conferência :

“ Arquitectura Luminotécnica “

Data : 18 de Março de 2000

Conferencista: Prof. José Livramento

**Organização: Clube de Electrónica
Área Departamental de Engenharia Electrotécnica**

Local: Campus da Penha – Anfiteatro José Silvestre





UNIVERSIDADE DO ALGARVE
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA UAL
ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

CERTIFICADO

Certifica-se que

Nelson João Viegas Gago

frequentou a conferência :

**“ Análise Funcional de Sistemas de Informação
- Metodologias e Ferramentas “**

Data : 26 de Fevereiro de 2000

Conferencista: Prof. Carlos Marinho

**Organização: Clube de Electrónica
Área Departamental de Engenharia Electrotécnica**

Local: Campus da Penha – Anfiteatro José Silvestre





UNIVERSIDADE DO ALGARVE
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA UAL
ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

CERTIFICADO

Certifica-se que

Nelson João Viegas Gago

frequentou o seminário :

**“ Automação & Accionamentos
Luminotecnia & Gestão Técnica de Edifícios
Soluções Globais “**

Data : 24 de Janeiro de 2000

**Empresas Convidadas: Siemens
Osram**

Local: Campus da Penha – Anfiteatro José Silvestre



Anexo B

e) Promover um programa de aumento da eficiência energética na iluminação pública em articulação com o sistema de apoio do Quadro de Referência Estratégica Nacional (QREN);

f) Criar, até ao final do 1.º semestre de 2011, o barómetro de eficiência energética da Administração Pública, destinado a comparar e a divulgar publicamente o desempenho energético dos serviços, em desenvolvimento do preconizado na Resolução da Assembleia da República n.º 114/2010, de 29 de Outubro, e a desenvolver pela Agência de Energia — ADENE;

g) Implementar, no prazo de 180 dias, um sistema de comercialização de certificados brancos que preveja a sua aplicação à Administração Pública, a desenvolver pela Direcção-Geral de Energia e Geologia com as entidades relevantes.

3 — Estabelecer que compete ao Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento (MEID), através da direcção executiva do Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE), a coordenação e monitorização do ECO.AP, bem como promover a articulação e a formação dos gestores locais de energia, referidos na alínea a) do número anterior.

Presidência do Conselho de Ministros, 9 de Dezembro de 2010. — O Primeiro-Ministro, *José Sócrates Carvalho Pinto de Sousa*.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 3/2011

Após a ratificação, em 1997, da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, o conjunto de acções levadas a cabo por Portugal mostra uma dinâmica continuada de desenvolvimento na rota do Mar como desígnio nacional. Tal desenvolvimento será, a médio e longo prazo, gerador de mais-valias económicas, sociais, culturais, científicas, tecnológicas e ambientais. Os bons resultados já atingidos apontam para a optimização e o reforço dos instrumentos de coordenação, gestão e articulação como o melhor caminho para assegurar a continuidade e consolidação das políticas e estratégias em execução.

Nesse sentido, o movimento de modernização do País lançado pelo XVII Governo Constitucional, de que a aprovação da Estratégia Nacional para o Mar (ENM) foi parte, deve continuar a aprofundar-se na presente legislatura.

O Programa do XVIII Governo Constitucional estabelece como linha de modernização de Portugal a execução da ENM, da qual é uma importante componente a extensão da plataforma continental portuguesa.

Neste quadro, a Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2009, de 30 de Dezembro, veio proceder à reformulação da Comissão Interministerial para os Assuntos do Mar (CIAM), reforçando a sua composição e objectivos e elevando a sua dependência ao nível do Primeiro-Ministro.

A Estrutura de Missão para os Assuntos do Mar (EMAM) constitui-se como o órgão executivo e de apoio técnico da CIAM relativamente às acções que constituem os respectivos objectivos, competindo-lhe ainda acompanhar a execução da política marítima integrada da União Europeia.

Cabe-lhe já hoje, segundo a Resolução do Conselho de Ministros n.º 128/2005, de 10 de Agosto, assegurar a coordenação interdepartamental dos assuntos do mar, facilitar e promover a actuação convergente das diversas entidades, públicas ou privadas, no sentido de valorizar o mar como fonte de riqueza e desenvolvimento, mas tam-

bém a sua utilização racional. A EMAM tem mandato até 2016, coincidente com o ciclo de execução da ENM.

A Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental (EMEPC), criada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 9/2005, de 17 de Janeiro, sucessivamente prorrogada pelas Resoluções do Conselho de Ministros n.ºs 26/2006, de 14 de Março, 55/2007, de 4 de Abril, e 32/2009, de 16 de Abril, tem como missão a preparação de uma proposta de extensão da plataforma continental de Portugal, para além das 200 milhas náuticas, e sua submissão à Comissão de Limites da Plataforma Continental (CLPC). A missão da EMEPC consiste também no acompanhamento do processo de avaliação daquela proposta. A primeira parte dessa missão foi cumprida com a entrega da submissão portuguesa à CLPC, em 11 de Maio de 2009, ficando por concluir os trabalhos necessários ao reforço da solução jurídica e técnica apresentada, bem como a respectiva defesa junto daquela Comissão, o que se estima poder vir a suceder na 2.ª metade da presente década.

As restantes competências existentes na EMEPC, necessárias ao cumprimento da respectiva missão e objectivos, em particular o projecto «M@rBis», o qual se destina a criar um sistema de informação que permita identificar as principais áreas para a conservação e recuperação dos valores naturais, e o apoio técnico a outros Estados no âmbito dos projectos de extensão da plataforma continental, são uma mais-valia a preservar, mas podem ser integradas na EMAM, sem nenhum tipo de perda. A fusão de ambas as estruturas constitui uma forma de garantir uma melhor coordenação e articulação de todas as políticas sectoriais relacionadas com o mar, racionalizando e optimizando recursos, em coerência com o esforço de consolidação das contas públicas que se tem vindo a realizar.

Deste modo, a presente resolução extingue a EMEPC, passando a EMAM a desempenhar a sua missão.

Assim:

Nos termos do artigo 25.º da Lei n.º 4/2004, de 15 de Janeiro, e da alínea g) do artigo 199.º da Constituição, o Conselho de Ministros resolve:

1 — Determinar a extinção da Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental (EMEPC), transferindo a respectiva missão e os objectivos que lhe foram fixados para a Estrutura de Missão para os Assuntos do Mar (EMAM).

2 — Estabelecer que a Comissão Interministerial para os Assuntos do Mar (CIAM) é presidida pelo Primeiro-Ministro e composta, a título permanente, pelos seguintes membros:

- a) Ministro de Estado e dos Negócios Estrangeiros;
- b) Ministro de Estado e das Finanças;
- c) Ministro da Presidência;
- d) Ministro da Defesa Nacional;
- e) Ministro da Administração Interna;
- f) Ministro da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento;
- g) Ministro da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas;
- h) Ministro das Obras Públicas, Transportes e Comunicações;
- i) Ministro do Ambiente e do Ordenamento do Território;
- j) Ministro da Educação;
- l) Ministro da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior;
- m) Ministro da Cultura;
- n) Representantes dos Governos das Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores.

Anexo C

FICHA DE IDENTIFICAÇÃO DO PROJECTO DA INSTALAÇÃO ELECTRICIA

Câmara Municipal de FARO

Distribuidor: EDP - DISTRIBUIÇÃO ENERGIA, S.A.

Serviços externos da DGE: _____

Direcção-Geral dos Espectáculos: _____

Refª	Data de entrada

1 - Requerente:

1.1 - Nome: Universidade do Algarve

1.2 - Morada: Campus da Penha, Estrada da Penha, 8005-139 Faro

2 - Instalação:

2.1 - Local: Rua de Berlim, n. 55, Faro

2.2 - Freguesia: Faro

2.3 - Concelho: Faro

2.4 - Categoria da instalação: SERVIÇO PARTICULAR (Tipo C)

2.5 - Descrição sumária: Instalação eléctrica de uma Residência

3 - Técnico responsável pela elaboração do projecto:

3.1 - Nome: Nelson João Viegas Gago

3.2 - Morada: Universidade do Algarve, Serviços Técnicos

Telef: **919 596 631**

3.3 - Número de inscrição na ANET: _____

4 - Tramitação do processo:

4.1 - Distribuidor de energia eléctrica: EDP - Distribuição Energia, S.A.

4.2 - Serviços externos da Direcção-Geral de Energia: _____

4.3 - Direcção-Geral dos Espectáculos: _____

4.4 - Câmara Municipal de Faro

FICHA ELECTROTÉCNICA ⁽¹⁾

CONCELHO	Faro	INSTALAÇÕES NOVAS	
LUGAR	Rua de Berlim, n. 55	INSTALAÇÕES EXISTENTES	X
LOCALIZAÇÃO	Rua de Berlim, n. 55, 8000 Faro		
REQUERENTE	Universidade do Algarve		
MORADA	Campus da Penha, Estrada da Penha, 8005-139 Faro		

CATEGORIA DAS INSTALAÇÕES C NÚMERO DA LICENÇA MUNICIPAL

PORTINHOLA ⁽²⁾ Q. COLUNAS ⁽²⁾ CX. CORTE CX. BARR. CX. PROT.

CONSTITUIÇÃO DO IMÓVEL				
PISOS	QUANT.	N.º DE INSTALAÇÕES POR PISO	DESTINO	TOTAL DE INSTALAÇÕES
CAVE (S)	1			
RÉS-DO-CHÃO	1	1	Residencia	1
ANDARES	2			
TOTAIS	4	1		1

MOTORES E APARELHOS DE SOLDADURA ⁽³⁾				
QUANT.	POTÊNCIA (KVA)	TIPO DE ARRANQUE	POTÊNCIA TOTAL (KVA)	OBSERVAÇÕES

POTENCIAS PREVISTAS ⁽⁴⁾						
LOCAIS DE UTILIZAÇÃO	QUANT.	INSTALAÇÕES USOS GERAIS E FORÇA MOTRIZ - KVA	AQUECIMENTO - KVA (5)	TOTAL INSTALADO - KVA	COEFICIENTE DE SIMULTANEIDADE	POTÊNCIA A ALIMENTAR (KVA)
HABITAÇÕES						
(6) Residência	1	1		49,90	1	49,90
SERVIÇOS COMUNS						
TOTAIS	1	1		49,90	1	49,90

INSTALAÇÕES SEM PROJECTO	
COLUNA	TIPO DE CONDUTORES _____ SECÇÃO _____ mm ² PROT. MECÂNICA _____ Ø _____
ENTRADAS	TIPO DE CONDUTORES _____ SECÇÃO _____ mm ² PROT. MECÂNICA _____ Ø _____
INST. UTILIZ.	_____ CIRC. A 1,5mm ² C/ PROT. _____ _____ CIRC. A 2,5mm ² C/ PROT. _____ _____ CIRC. A _____mm ² C/ PROT. _____

TÉCNICO RESPONSÁVEL INSCRITO NA ANET, SOB O N.º 11 048
 NOME (LEGÍVEL): Nelson João Viegas Gago
 MORADA (LEGÍVEL): Universidade do Algarve, Serviços Técnicos, Campus da Penha

ASSINATURA : _____ 2011/Fev/ 14

- (1) Uma por cada ramal, chegada, ou entrada.
- (2) A preencher só quando se tratar de instalações existentes.
- (3) A preencher só quando se tratar de instalações de FM, nos aparelhos de soldadura indicar em observações se é estático ou rotativo.
- (4) Utilizar os escalões de potência fixados no tarifário em vigor.
- (5) Com contador separado.
- (6) Utilizar para estabelecimentos comerciais, industriais, agrícolas, etc.

(RESERVADO AO VISTO DO DISTRIBUIDOR)

TERMO DE RESPONSABILIDADE DO AUTOR DO PROJECTO DE INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS

Nelson João Viegas Gago, Técnico Superior Electrotécnico ao serviço dos Serviços Técnicos da Universidade do Algarve, inscrito na Ordem dos Engenheiros com o nº 66 267, portador do Cartão de Cidadão nº 10478804 6ZZ5 válido até 07Mai2015, com endereço postal na Universidade do Algarve, Serviços Técnicos, Campus da Penha, Estrada da Penha, 8005-139 Faro, autor do Projecto de Instalações Eléctricas do **Tipo C** junto, referente à Empreitada de Remodelação do Solar do Alto (Residencial) situada na Rua de Berlim, n. 55, Freguesia e concelho de Faro, pertencente à Universidade do Algarve, declaro que nele se observam todas as disposições regulamentares em vigor, bem como outra Legislação aplicável.

Olhão, 14 de Fevereiro de 2011

O Autor do Projecto

Eng. Nelson Gago



ÍNDICE

Conteúdo

1. Introdução	2
2. Observações	2
3. Características Eléctricas	2
3.1. Tensão de Serviço	2
3.2. Potência Instalada	2
4. Instalações Projectadas	3
5. Tipo de Instalação	3
5.1. Canalizações	3
5.2. Classificação dos Locais	4
5.2.1. Classificação quanto ao Ambiente	4
5.2.2. Classificação quanto à Utilização	5
5.2.3. Classificação quanto à Construção do Edifício	5
6. Características do Equipamento	5
6.1. Modelos e Tipos	6
6.2. Disposição	7
7. Características Gerais da Instalação	7
7.1. Quadros Eléctricos	7
7.2. Circuitos de Iluminação Normal	8
7.3. Circuitos de Iluminação de Emergência	9
7.4. Circuitos de Tomadas e Força Motriz	9
7.4.1. Circuitos da Cozinha	9
7.4.2. Circuitos dos Quartos e Recepção	10
7.5. Caminhos de Cabos	10
8.1. Protecção de Pessoas	11
8.1.1. Protecção Contra Contactos Directos	11
8.1.2. Protecção Contra Contactos Indirectos	11
8.2. Terra Geral de Protecção	11
8.2.1. Circuitos de Terra	11
8.2.2. Eléctrodos de Terra	12
9. Omissões	12



MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

1. Introdução

Esta Memória Descritiva e Justificativa diz respeito ao **Projecto Electrotécnico de Residencial situada na Rua de Berlim, n. 55 em Faro. Sendo o requerente a Universidade do Algarve.**

2. Observações

Esta instalação é do Tipo C, para efeitos de licenciamento, de acordo com o art.º 7 do Dec. Lei 101/2007. Sendo classificada quanto à utilização como **estabelecimento recebendo público – empreendimento turístico e estabelecimentos similares** de acordo com a secção 801.2.5 das RTIEBT, em termos de lotação é classificado como **5ª categoria** (inferior a 50 ocupantes) de acordo com a secção 801.2.0.1 das RTIEBT.

3. Características Eléctricas

Nos esquemas unifilares anexos, indicam-se a continuidade dos circuitos, o seu dimensionamento, localização da aparelhagem e calibres das protecções e canalizações.

3.1. Tensão de Serviço

Baixa tensão:

- Tensão de serviço: 400V/230V;
- Frequência: 50Hz.

3.2. Potência Instalada

Em virtude do tipo de utilização da instalação e dos equipamentos previstos, a instalação encontrar-se-á sobre-dimensionada de forma a permitir futuras expansões com os respectivos aumentos de potência.

A **potência considerada é de 49.90 kVA** em que o aumento de potência não é necessário. De acordo com a alínea b) da secção 803.2.4.3.2. das RTIEBT, tendo os seguintes critérios objectivos de dimensionamento de funcionamento em simultâneo: a utilização dos equipamentos da cozinha e a utilização dos quartos.

Em anexo apresenta-se o cálculo dos cabos alimentadores, verificando-se o cumprimento das seguintes condições regulamentares:

- $I_B < I_n < I_Z$;
- $I_2 < 1,45 \times I_Z$.

4. Instalações Projectadas

As instalações eléctricas compreendem essencialmente de:

- Circuitos de alimentação a quadros eléctricos;
- Circuitos de tomadas e força motriz e similares;
- Circuitos de iluminação normal;
- Circuitos de iluminação de emergência;
- Instalação do sistema de terras de protecção.

5. Tipo de Instalação

5.1. Canalizações

Devido às características arquitectónicas e funcionais do edifício, o tipo de instalação é misto, com linhas gerais correndo geralmente à vista em caminhos de cabos, sendo no gabinete e sala geralmente do tipo embebido ou com instalação de calhas técnicas com IK08 (mínimo).

Nos locais afectos a zona técnicas e casa das máquinas, a instalação será geralmente do tipo à vista com braçadeiras.

Por cima dos tectos falsos as instalações serão executadas à vista, nos caminhos de cabos ou assentes em braçadeiras apropriadas.



5.2. Classificação dos Locais

Nas peças desenhadas apresentam-se os casos mais significativos.

Para toda a instalação foram definidos os seguintes locais:

- Zonas A: Cozinha;
- Zonas B: Quartos, Salas e Recepção;
- Zonas C: Terraço;
- Zonas D: Instalações sanitárias.

5.2.1. Classificação quanto ao Ambiente

Tabela 1 – Classificação quanto ao ambiente.

Designação	Zonas A		Zonas B		Zonas C		Zonas D	
	Cód.	Classif.	Cód.	Classif.	Cód.	Classif.	Cód.	Classif.
A – Temperatura ambiente	AA4	Temperado	AA4	Temperado	AA4	Temperado	AA4	Temperado
B – Condições climáticas	AB4	Baixa	AB4	Baixa	AB4	Baixa	AB4	Baixa
C – Altitude	AC1	Baixa	AC1	Baixa	AC1	Baixa	AC1	Baixa
D – Presença de águas	AD1	Desprezável	AD1	Desprezável	AD3	Chuva	*)	*)
E – Presença de corpos estranhos	AE1	Desprezável	AE1	Desprezável	AE1	Desprezável	AE1	Desprezável
F – Presença de substâncias corrosivas ou poluentes	AF1	Desprezável	AF1	Desprezável	AF1	Desprezável	AF1	Desprezável
G – Acções mecânicas	AG1	Fracas	AG1	Fracas	AG1	Fracas	AG1	Fracas
H – Vibrações	AH1	Fracas	AH1	Fracas	AH1	Fracas	AH1	Fracas
K – Presença de flora ou bolores	AK1	Desprezável	AK1	Desprezável	AK1	Desprezável	AK1	Desprezável
L – Presença de fauna	AL1	Desprezável	AL1	Desprezável	AL1	Desprezável	AL1	Desprezável
M – Influências electromagnéticas, electrostáticas e ionizantes	AM1	Desprezável	AM1	Desprezável	AM1	Desprezável	AM1	Desprezável
N – Radiações solares								
P – Efeitos sísmicos	AP1	Desprezável	AP1	Desprezável	AP1	Desprezável	AP1	Desprezável
Q – Descarga atmosféricas, nível cerâmico	AQ1	Desprezável	AQ1	Desprezável	AQ1	Desprezável	AQ1	Desprezável

5.2.2. Classificação quanto à Utilização

Tabela 2 – Classificação quanto à utilização.

Designação	Zonas A		Zonas B		Zonas C		Zonas D	
	Cód.	Classif.	Cód.	Classif.	Cód.	Classif.	Cód.	Classif.
A – Competência das pessoas	BA1	Comuns	BA1	Comuns	BA1	Comuns	BA1	Comuns
B – Resistência eléctrica do corpo humano	BB2	Normal	BB2	Normal	BB2	Normal	BB2	Normal
C – Contactos das pessoas com o potencial de terra	BC2	Reduzidos	BC2	Reduzidos	BC2	Reduzidos	BC2	Reduzidos
D – Evacuação das pessoas em caso de emergência	BD1	Normal	BD1	Normal	BD1	Normal	BD1	Normal
E – Natureza dos produtos tratados ou armazenados	BE1	Desprezável	BE1	Desprezável	BE1	Desprezável	BE1	Desprezável

Tabela 3 – Classificação quanto à construção do edifício.

Designação	Zonas A		Zonas B		Zonas C		Zonas D	
	Cód.	Classif.	Cód.	Classif.	Cód.	Classif.	Cód.	Classif.
A – Materiais de construção	CA1	Não Combustíveis	CA1	Não Combustíveis	CA1	Não Combustíveis	CA1	Não Combustíveis
B – Estrutura do edifício	CB1	Desprezáveis	CB1	Desprezáveis	CB1	Desprezáveis	CB1	Desprezáveis

6. Características do Equipamento

De acordo com o exposto nas Secção 801.5 das RTIEBT e nas normas EN60 884-1 que define as características das tomadas, e a norma EN 60898 que define as intensidades estipuladas, para os poderes de corte, bem como a norma EN 60439-3 que legisla a concessão dos quadros eléctricos bem como os ensaios a que estes devem de ser submetidos.

Os quadros e aparelhagem a utilizar, deverão, apresentar como índices mínimos os referidos nos quadros 51A (xx) das RTIEBT de acordo com o ambiente do local em que serão inseridos de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Índices mínimos dos equipamentos a serem instalados.

Classificação	IP	IK	Classificação	IP	IK
AA4+AB4+...XX1	IPX0	IK04	AE5 / AE6	IP23	IK04
AD1	IPX0	IK04	AF3 / AF4	IP23	IK04
AD2 (Volume 3)	IPX1	IK04	AF3 / AF4	IP23	IK04
AD3	IPX3	IK04	AA6	IP20	IK04
AD4 (Volume 2)	IPX4	IK04	AA1	IP20	IK04
AD5 (Volume 1)	IPX5	IK04	AG2 / AG3	IP20	IK09
AD6	IPX6	IK04	BE2	IP40	IK04
AD7 (Volume 0)	IPX7	IK04	BE3	IP40	IK04

6.1. Modelos e Tipos

Toda a aparelhagem interior é equivalente à série SUNO da marca Legrand para montagem embecida.

Nos terraços a aparelhagem utilizada é equivalente à série Plexo E da marca Legrand.

Nas locais onde a instalação for “à vista”, utiliza-se aparelhagem de montagem saliente IP55, estaque série Plexo 55S da marca Legrand ou equivalente.

6.2. Disposição

A disposição dos quadros, caixas e restante aparelhagem de utilização, para além do cumprimento da disposição segundo as peças desenhadas, devem apresentar um carácter uniforme no que confere às cotas.

Estas devem ser medidas desde o chão até ao bordo inferior, segundo os valores da Tabela 5.

Tabela 5 - Cotas para instalação dos diversos componentes.

	Distância deste o chão até bordo inferior (cm)	
	Mínimo	Máximo
Aparelhos de comando	100	120
Aplicques	180	190
Tomadas gerais	15	30

7. Características Gerais da Instalação

A contagem de energia será por intermédio de TI's com a localização nas peças desenhadas (EL-03).

7.1. Quadros Eléctricos

Os quadros deverão possuir ligadores de terra geral de protecção (barra perfurada) onde serão ligadas todas as massas e condutores de protecção dos circuitos da instalação. Em nenhum caso o condutor de protecção deverá ter secção inferior à do neutro do respectivo circuito.

Os quadros serão de construção modular, com barramento geral de entrada.

As caixas serão francamente dimensionadas, sendo toda aparelhagem acessível pela frente e o processo de montagem será de modo a que a substituição de qualquer equipamento se faça sem dificuldades. Serão também dotados de porta e fechadura com IP adequado ao local onde serão instalados.

O quadro geral deve cumprir os ensaios estabelecidos na norma EN 60439-3.



As saídas dos quadros serão equipados com disjuntores unipolares ou tripolares com corte de neutro para protecção de circuitos monofásicos ou trifásicos, respectivamente, de **curva C** e poder de corte não inferior a **3 kA**.

Os barramentos devem garantir uma densidade de corrente de 2 A/mm^2 .

Todos os quadros ficarão com cerca de **30%** de espaços para futuras ampliações.

Nos quadros eléctricos a anular utilizar-se-ão ligadores para continuidade dos circuitos que aí termina.

7.2. Circuitos de Iluminação Normal

Nas Peças Desenhadas, na respectiva planta, indica-se a localização da aparelhagem e circuitos de iluminação. As armaduras equipadas com lâmpadas fluorescentes serão equipadas com balastos electrónicos.

A iluminação dos diversos locais é de um modo geral comandada localmente, exceptuando-se na zona de público em que os comandos estão instalados no quadro mais próximo.

Os aparelhos de iluminação serão fixos ao tecto ou às paredes ou ainda encastrados em tectos falsos e conforme o local da sua instalação terão índice de protecção adequado.

Nas instalações sanitárias é considerado o comando de iluminação através de sensores de movimento para instalação no tecto.

Apenas serão permitidas “repicagens” nas armaduras caso estas disponham de terminais, apropriados para tal efeito, caso contrário deverá ser colocada uma caixa de derivação para o efeito. O "desvio" da localização dos pontos de luz, por imposição das máquinas ou outras necessidades, não deverá em caso algum alterar a alimentação dos circuitos a partir das caixas de derivação, nem a subdivisão estabelecida para os mesmos, assim como dimensionamento das canalizações.

Sempre que exista a terminologia de condutor de terra, este deverá ser ligado. Os cabos utilizados para as alimentações serão do tipo H05VV-U3G1,5 em abraçadeiras ou caminho de cabos, enquanto para as comutações utilizar-se-á A05VV 4G1.5 ou tipo VV3x1,5 também em abraçadeiras ou caminho de cabos.

7.3. Circuitos de Iluminação de Emergência

Foram previstas na escada e espaços de circulação colectiva a colocação de armaduras de emergência, com circuito próprio, do tipo bloco autónomo, com indicador a LED vermelho de carga de bateria de autonomia de uma hora em caso de falta de energia de rede.

A iluminação de segurança deverá cumprir o estabelecido na secção 801.2.1.5.3.1.4 das RTIEBT no que se refere à existência de iluminação de segurança tipo ambiente (anti-pânico) nas instalações de utilização.

As luminárias serão de montagem saliente com base em policarbonato branco, difusor em policarbonato transparente texturado, equipada com lâmpadas de 8W, uma permanente e outra emergência com autonomia de 1 hora, de acordo com os pontos descritos nas RTIEBT na secção 801.2.1.5.3.3, de uma face, para fixação mural, com pictograma e preparada para telecomando de forma a assegurar uma luminosidade mínima de 10 lux. Ref. PLE31 - P8/1H ou equivalente.

A localização dos aparelhos de iluminação de emergência foi coordenada pelo Projecto de Segurança Contra Riscos de Incêndio.

Nestas instalações, utilizar-se-ão cabos do tipo A05VV-U instalado sobre braçadeiras ou correndo em caminhos de cabos nos espaços de circulação ou de condutores H07V-U enfiados em tubo VD ou ERFE em instalação embebida.

7.4. Circuitos de Tomadas e Força Motriz

7.4.1. Circuitos da Cozinha

Nas Peças Desenhadas, na respectiva planta, indica-se a localização da aparelhagem dos circuitos de tomadas. De um modo geral as tomadas deverão ser do tipo “Schuko” com alvéolos protegidos, salientes, e deverão dispor do respectivo terminal de terra de protecção com o mínimo IP54. Deverão ser cumpridas as cotas normalizadas, para a colocação da respectiva aparelhagem. Os respectivos circuitos de tomadas serão executados a cabo H05VV-U3G2,5 mm (monofásicas), preso a abraçadeiras.

As tomadas trifásicas serão de material isolante do tipo 3P+N+T, terão tampa com mola, deverão ser fornecidas com as respectivas fichas e terão a intensidade nominal indicada nas plantas.

As tomadas de energia deverão ser do tipo e marca equivalente à restante aparelhagem de comando.

7.4.2. Circuitos dos Quartos e Recepção

A instalação será do tipo embebida nas paredes, tectos e pavimentos em tubo VD ou ERFE, com condutor H05V-U2,5mm². As derivações deverão ser feitas em caixas de derivação e/ou aparelhagem funda. As tomadas serão do tipo “Schuko”, com terminal de terra, com valores nominais de 16A/250V, ficando instalados em caixa de aparelhagem embebidas nas paredes ou no escritório em calha técnica. Em todos os locais serão providas de alvéolos protegidos ou tampa com mola.

7.5. Caminhos de Cabos

Os caminhos de cabos, nas circulações, serão constituídos por calha metálica em chapa de aço macio perfurada e estampada com 0,75 a 0,9 mm de espessura consoante a secção, pré-galvanizada a quente pelo processo Sendzimir (norma DIN EN 10147 Sgoto de 95 – substitui e anula a DIN 17162-2), garantindo uma galvanização de 140g/m² (30µm de espessura de galvanização).

De forma a assegurar a protecção das pessoas e das cablagens e aumentar a resistência de carga, as abas serão boleadas, não cortantes, sem arestas vivas. As calhas metálicas deverão ser ligadas à terra de protecção através de condutores de cobre de secção mínima de 6 mm².

Deverão ser executadas as interligações entre calhas técnicas, quadros eléctricos e as zonas acima dos tectos falsos.

Os caminhos de cabos devem utilizar sempre que possível os negativos existentes. Quando não for possível, em paredes, devem ser abertos roços com colocação de negativos. Nos tectos quando não for possível embeber no pavimento, deverá ser utilizada calha técnica.



8. Sistemas de Protecção

8.1. Protecção de Pessoas

Para além do disposto desta Memória Descritiva e Justificativa, e da observância das Normas e Regras em vigor, deverão ser adoptadas disposições destinadas a garantir a protecção das pessoas contra os perigos específicos da electricidade, revestindo-se esta de dois aspectos:

8.1.1. Protecção Contra Contactos Directos

As pessoas serão protegidas contra contactos directos com as partes activas dos materiais e aparelhos eléctricos, pela protecção das mesmas contra contactos directos, isto é, não haverá peças sob tensão "á vista" nos quadros e aparelhagem e todos os condutores serão isolados.

8.1.2. Protecção Contra Contactos Indirectos

A protecção das pessoas contra contactos indirectos será realizada pelo sistema de ligação directa das massas à terra e emprego de aparelhos de corte automático associado. Os aparelhos de Corte-Automático deverão ser no mínimo sensíveis à "corrente de defeito" de média sensibilidade (300mA) ou outra indicada nas Peças Desenhadas.

8.2. Terra Geral de Protecção

8.2.1. Circuitos de Terra

O circuito a estabelecer interligará os barramentos de terra dos quadros previstos ao ligador geral situado no quadro geral, e deste, através do Terminal Principal de Terra, situado em caixa própria no exterior do edifício, ao eléctrodo de terra.

O condutor de terra não será de secção inferior ao condutor de neutro e será do tipo H07V-R de cor verde/amarela ao longo dos troços de acordo com peças desenhadas.



8.2.2. Eléctrodos de Terra

O sistema de terra a instalar será constituído por eléctrodos de terra em vara do tipo “cooperweld” de 2m de forma a perfazer, nas condições mais desfavorável o valor de **10 ohm**. Os eléctrodos serão enterrados na vertical, e a sua parte superior distará do nível do solo num mínimo de 0,8 m, devendo os mesmos estarem separados de um distância mínima de 5 m e ligados entre si através de cabo de cobre nú de 25mm² por aperto em ligador próprio do tipo C.

Deverá ser instado entre a caixa do Terminal Principal de Terra e eléctrodo um tubo VD de 32mm de diâmetro, para garantir a protecção mecânica do respectivo condutor.

Para reforçar o exposto será executado um anel de cobre nu de secção mínima de 25mm², enterrado ao longo do perímetro das fundações e ligado aos pilares, nunca às sapatas.

9. Omissões

Omitiu-se, nesta Memória Descritiva e Justificativa, tudo o que possa depender da “harmonia decorativa”, e da disposição dos equipamentos eléctricos a instalar futuramente. Porém, nunca isto deverá permitir a alteração da "estrutura eléctrica" proposta, nem dimensionamento das respectivas canalizações e protecções. Todos os materiais e aparelhagem a instalar deverão estar normalizados e em bom estado de conservação, não apresentando defeitos mecânicos e/ou eléctricos, devendo para o efeito apresentar a marca CE. O instalador deverá observar as "boas regras de arte" e seguir o disposto nas Regras Técnicas de Instalações Eléctricas de Baixa Tensão (RTIEBT) e exigências específicas da DGGE, CERTIEL e normas da EDP.

Todas as indicações a marcas e modelos apenas ilustram a qualidade mínima a prever, podendo ser substituídas por equivalentes.

Universidade do Algarve, 14 de Fevereiro de 2010
O técnico responsável,

Nelson João Viegas Gago

10. Índice de Peças Desenhadas

Desenho	EL-01	-	Plantas de localização/Carta Militar
Desenho	EL-02	-	Diagrama de Quadros Eléctricos
Desenho	EL-03	-	Planta de Implantação e Ligação Equipotencial
Desenho	EL-04		Circuitos de Tomadas, Cave
Desenho	EL-05		Circuitos de Tomadas, R/Chão
Desenho	EL-06		Circuitos de Tomadas, 1ºAndar
Desenho	EL-07	-	Circuitos de Tomadas, 2ºAndar
Desenho	EL-08	-	Circuitos de Iluminação Normal, Cave
Desenho	EL-09	-	Circuitos de Iluminação Normal, R/Chão
Desenho	EL-10	-	Circuitos de Iluminação Normal, 1ºAndar
Desenho	EL-11	-	Circuitos de Iluminação Normal, 2ºAndar
Desenho	EL-12	-	Circuitos de Iluminação Emergência, Cave
Desenho	EL-13	-	Circuitos de Iluminação Emergência, R/Chão
Desenho	EL-14	-	Circuitos de Iluminação Emergência, 1ºAndar
Desenho	EL-15	-	Circuitos de Iluminação Emergência, 2ºAndar
Desenho	EL-16	-	Equipamento de Contagem e Simbologia
Desenho	EL-17	-	Esquema Unifilar de Quadros Eléctricos
Desenho	EL-18	-	Esquema Unifilar de Quadros Eléctricos

QUADROS DE DIMENSIONAMENTO DAS CANALIZAÇÕES

TROÇO	Pot. (kVA)	Tipo (cabo)	S (mm ²)	Comp (m)	I _B (A)	<	I _N (A)	<	I _Z (A)	I _Z (A)	<	1,45*I _Z (A)	q.d.t. (parcial) (%)	TIPO DE PROTECÇÃO	TIPO DE CABO
E.C. - Q.Geral	41,41	H1VV	16	15	60,01	<	63	<	113	160	<	164	0,42	FUSIVEL	H1VV-R5G16
Q.Geral - Q.Cave	10,00	H07VV	10	6	14,49	<	32	<	63	39	<	91	0,06	DISJUNTOR	H07VV-R5G10
Q.Geral - Q.1ºAndar	13,00	H07VV	10	6	18,84	<	32	<	63	39	<	91	0,08	DISJUNTOR	H07VV-R5G10
Q.Geral - Q.2ºAndar	10,00	H07VV	10	9	14,49	<	32	<	63	39	<	91	0,10	DISJUNTOR	H07VV-R5G10
Q.Eléctrico - Q.Q (tipo)	3,00	H07VV	4	20	13,04	<	20	<	36	22	<	52	0,48	DISJUNTOR	H07VV-U3G4

Notas:

- 1) Neste projecto foi considerado canalizações embebidas do tipo C, quadro 52-C3.
- 2) Para a entrada foi considerado canalização enterrada do tipo D, com a temperatura ambiente do solo de 20º e terreno seco, quadro 52-C30



Requerente: paulo charneca

NIF: 139808019

Escala 1:5000



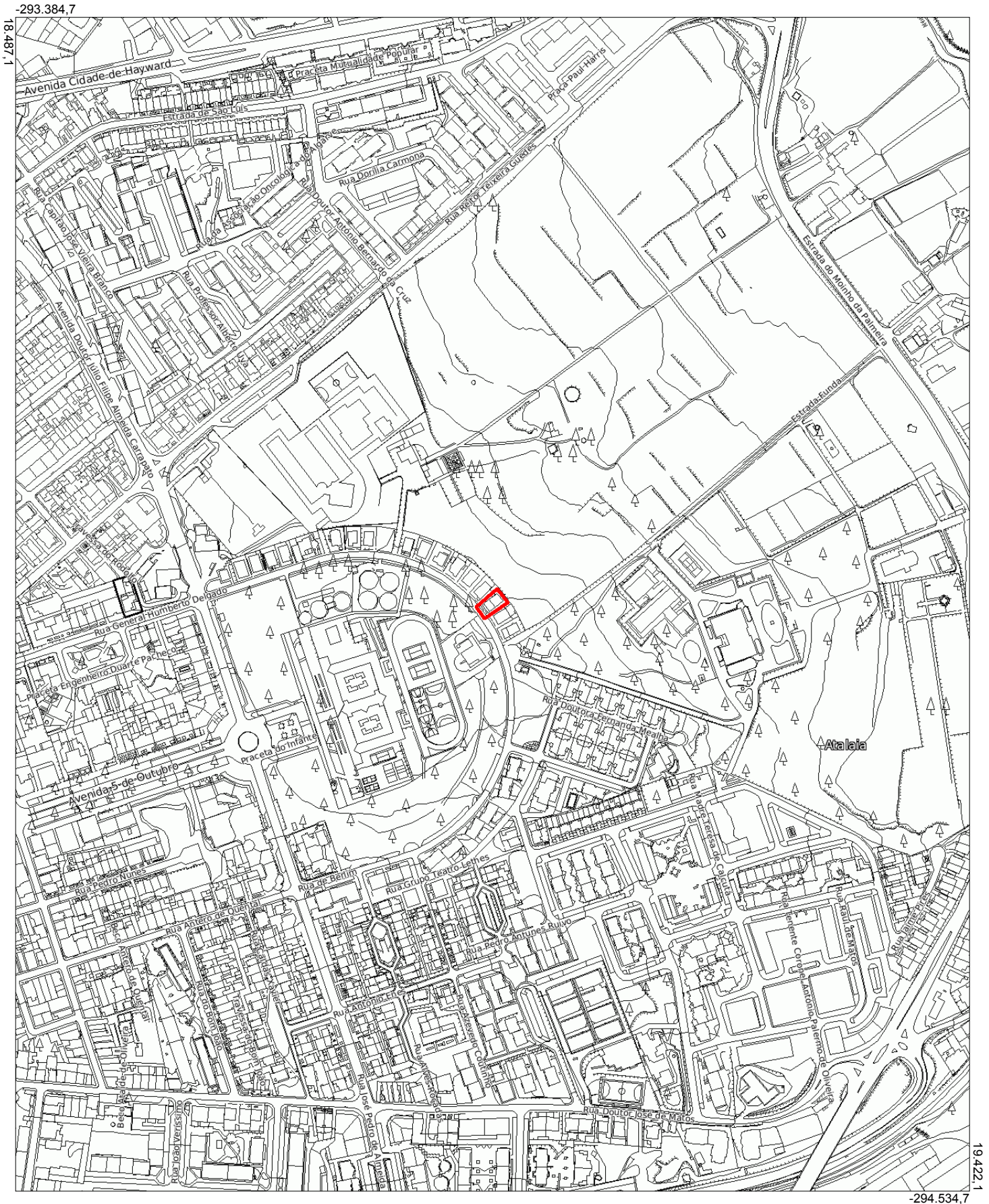
Nº Emissão: 1512-2

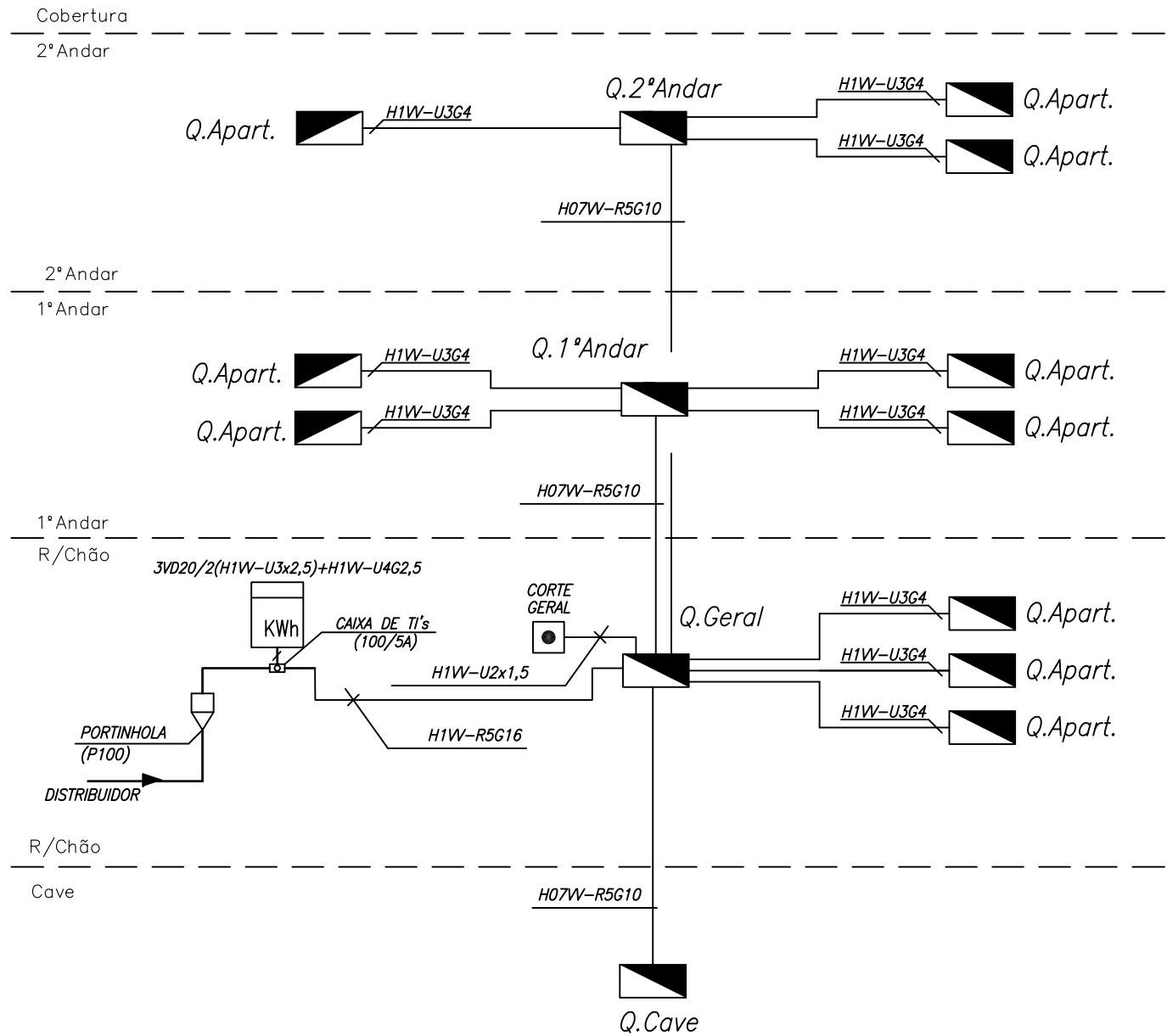
Data: 27-01-2011

Planta de Localização

Área de pretensão delimitada a vermelho pelo requerente.

Sistema de Coordenadas:
Hayford-Gauss, Datum 73, com
origem no ponto central de
Meiriça





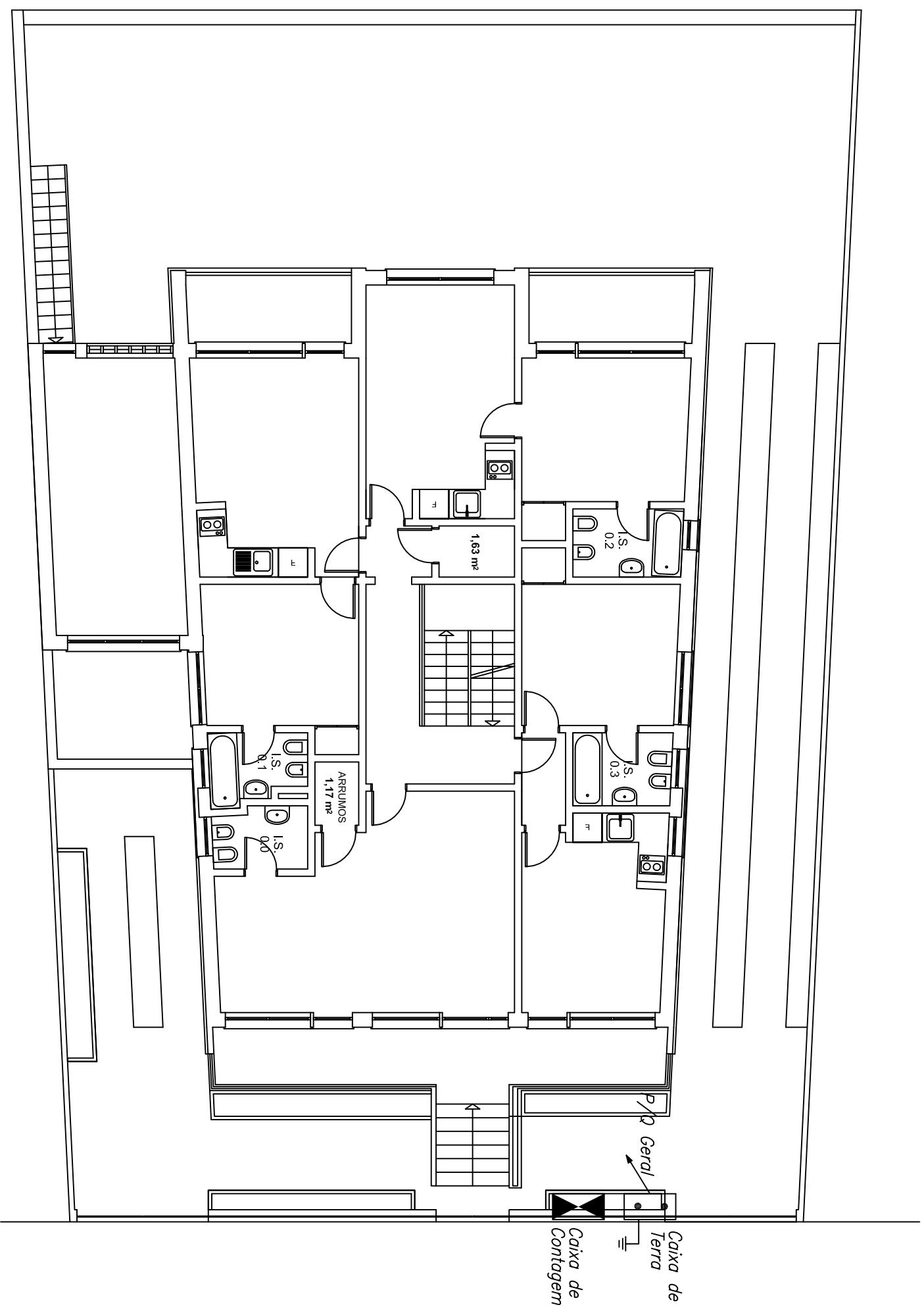
Notas:

- 1) Todos os quadros deverão ser de Classe II de isolamento;
- 2) O equipamento de contagem será instalado no limite da propriedade com acesso do exterior;



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Designação	Empreitada de Remodelação do Solar do Alto	Projectou	Nelson Gago
Localização	Rua de Berlim, n. 55 - Faro	Processo nº	03/2011
Peça desenhada	Diagrama de Quadros Eléctricos Principais	Data	Fevereiro 2011
Especialidade	Instalações Eléctricas	Escala	S/E
		Des. nº	EL-02



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Designação Empreitada de Remodelação do Solar do Alto

Projectou Nelson Gago
 Processo nº 03/2011

Localização Rua de Berlim, n. 55 - Faro

Data Fevereiro 2011

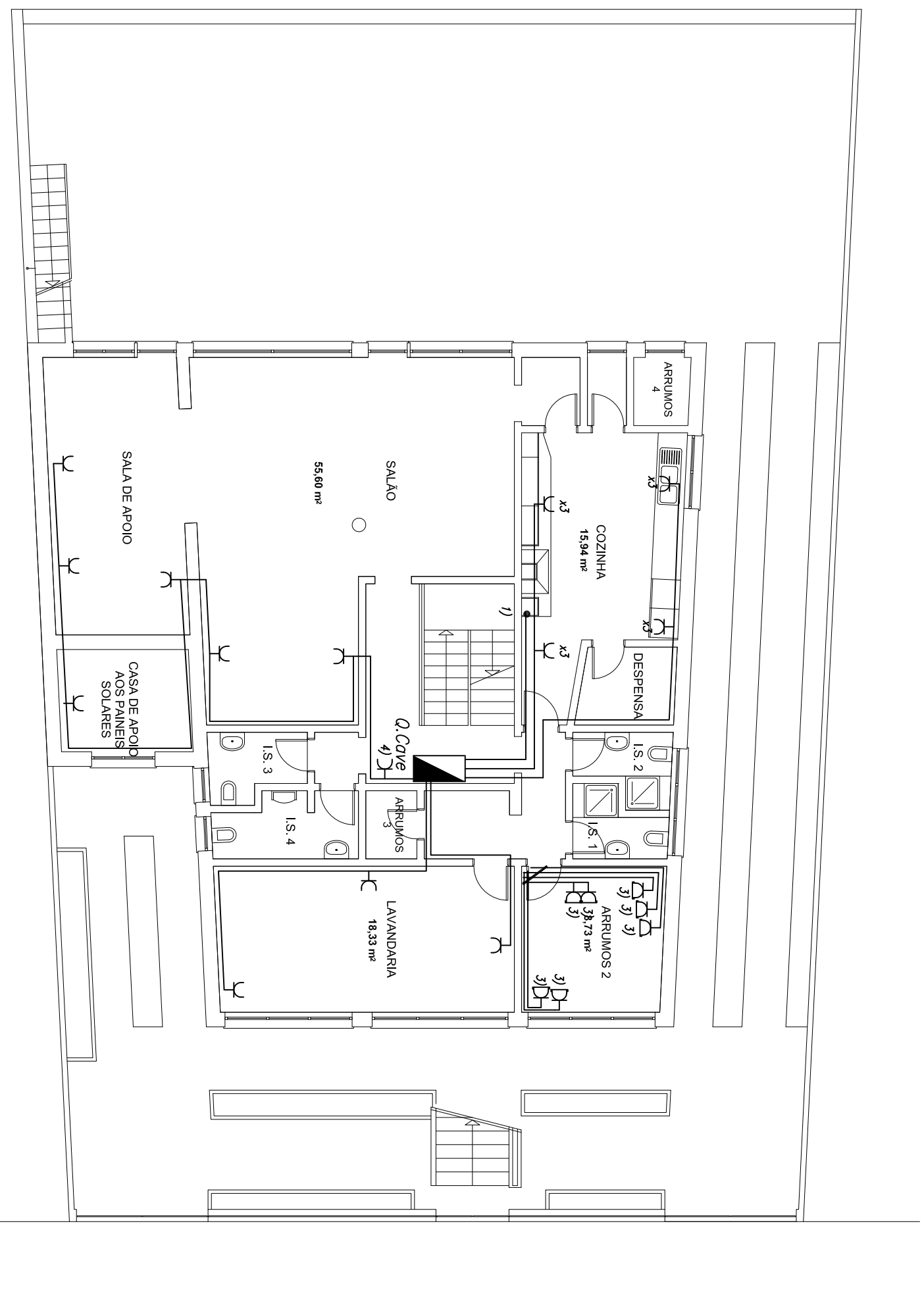
Peça desenhada Planta de Implantação e ligação equipotencial

Escala 1/100

Especialidade Instalações Eléctricas

Des. nº

EL-03



Notas:

- 1) Ligação à placa eléctrica;
- 2) Tomadas instaladas por cima da bancada;
- 3) Tomadas com IP54 (mínimo);
- 4) Junto à tomada RJ45 (2m de altura).



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Designação Empreitada de Remodelação do Solar do Alto

Localização Rua de Berlim, n. 55 - Faro

Peça desenhada Circuito de Tomadas - Cave

Especialidade Instalações Eléctricas

Projectou Nelson Gago

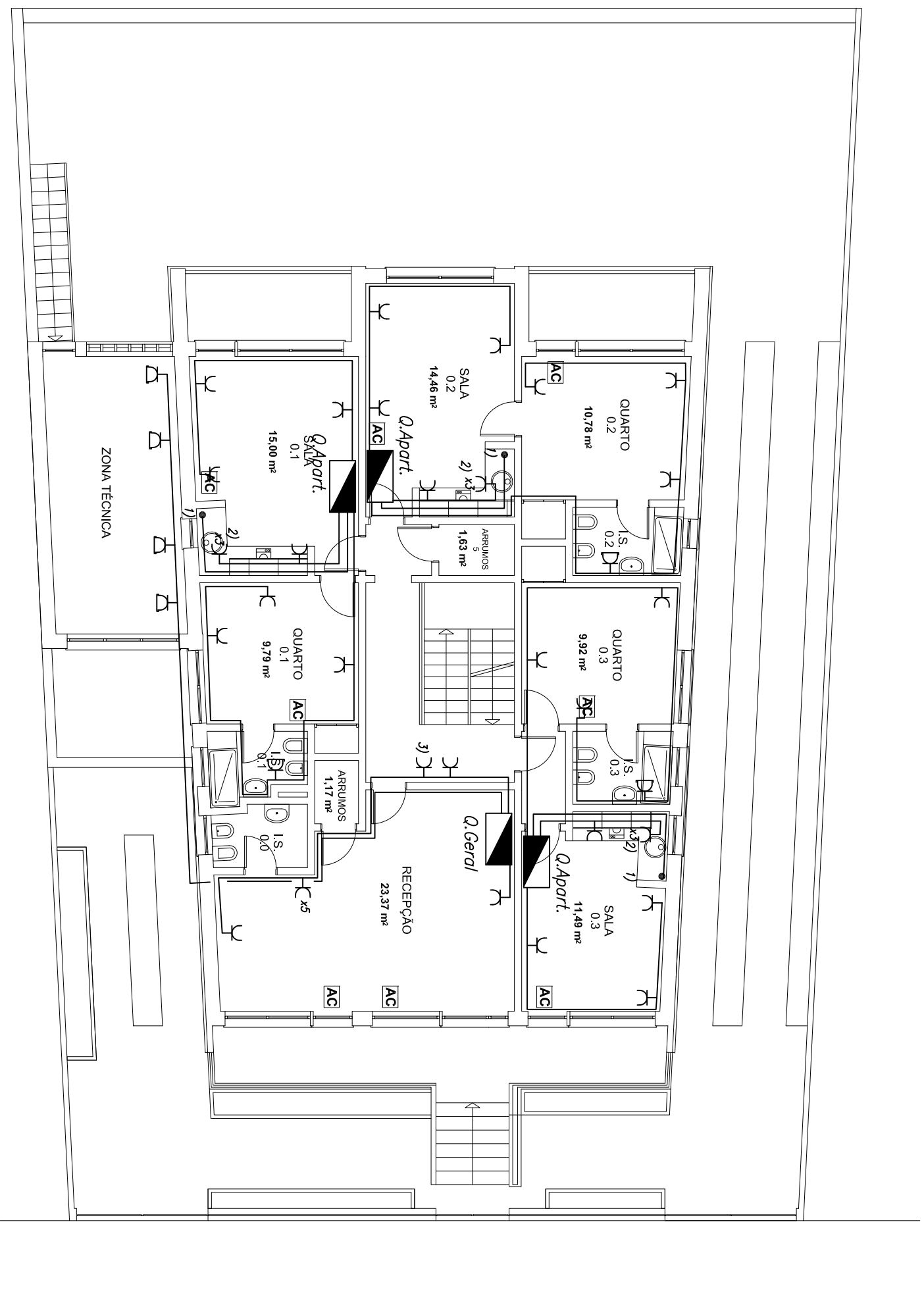
Processo nº 03/2011

Data Fevereiro 2011

Escala 1/100

Des. nº

EL-04



- Notas:
- 1) Ligação à placa eléctrica;
 - 2) 3 tomadas, exaustor, microondas e por cima da bancada.
 - 3) Junto à tomada RJ45 (2m de altura).



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Designação Empreitada de Remodelação do Solar do Alto

Processo nº 03/2011

Localização Rua de Berlim, n. 55 - Faro

Data Fevereiro 2011

Peça desenhada Circuito de Tomadas - R/Chão

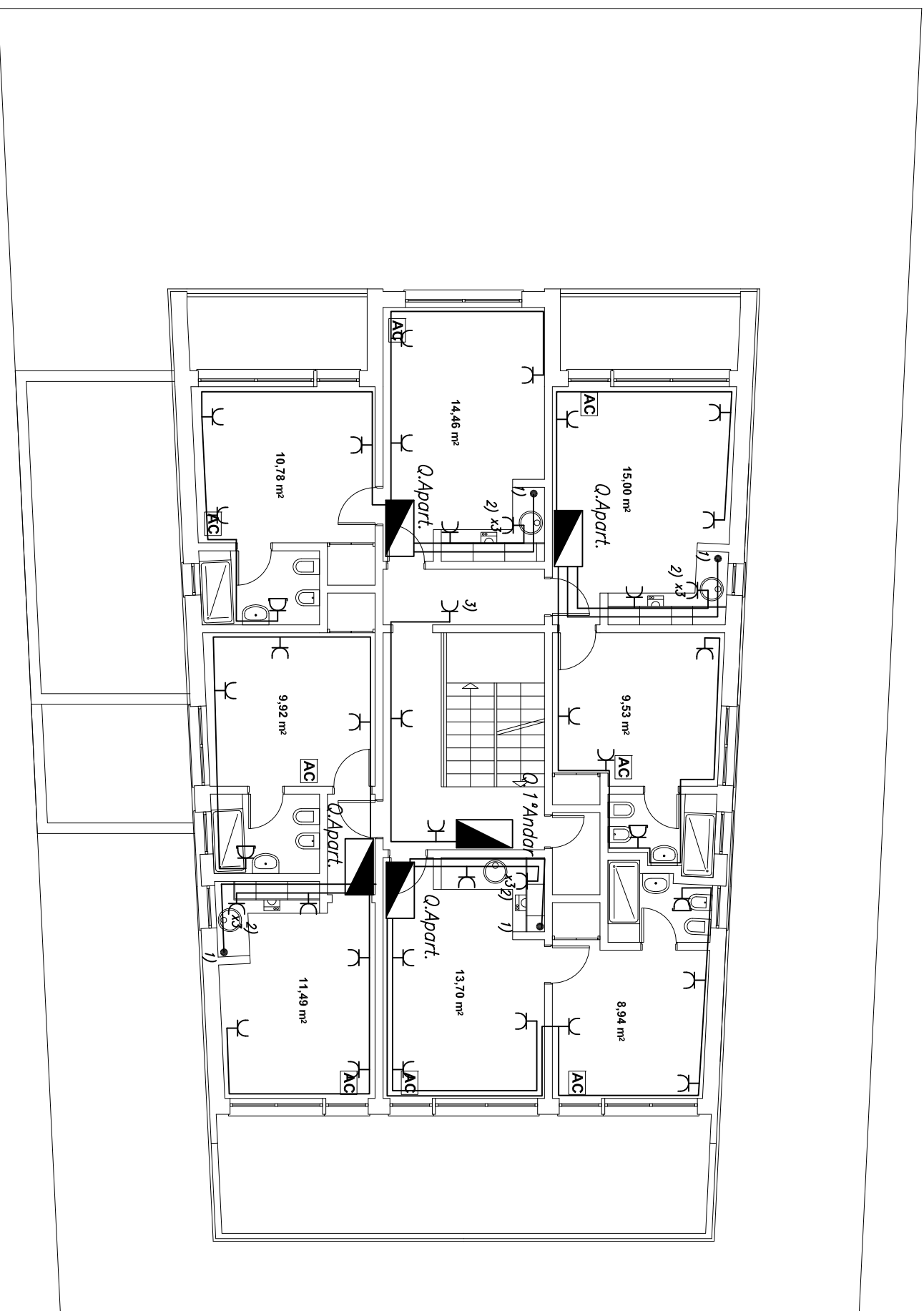
Escala 1/100

Especialidade Instalações Eléctricas

Des. nº

EL-05

Projectou Nelson Gago



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Designação Empreitada de Remodelação do Solar do Alto

Projectou Nelson Gago

Localização Rua de Berlim, n. 55 - Faro

Processo nº 03/2011
Data Fevereiro 2011

Peça desenhada Circuito de Tomadas - 1º Andar

Escala 1/100

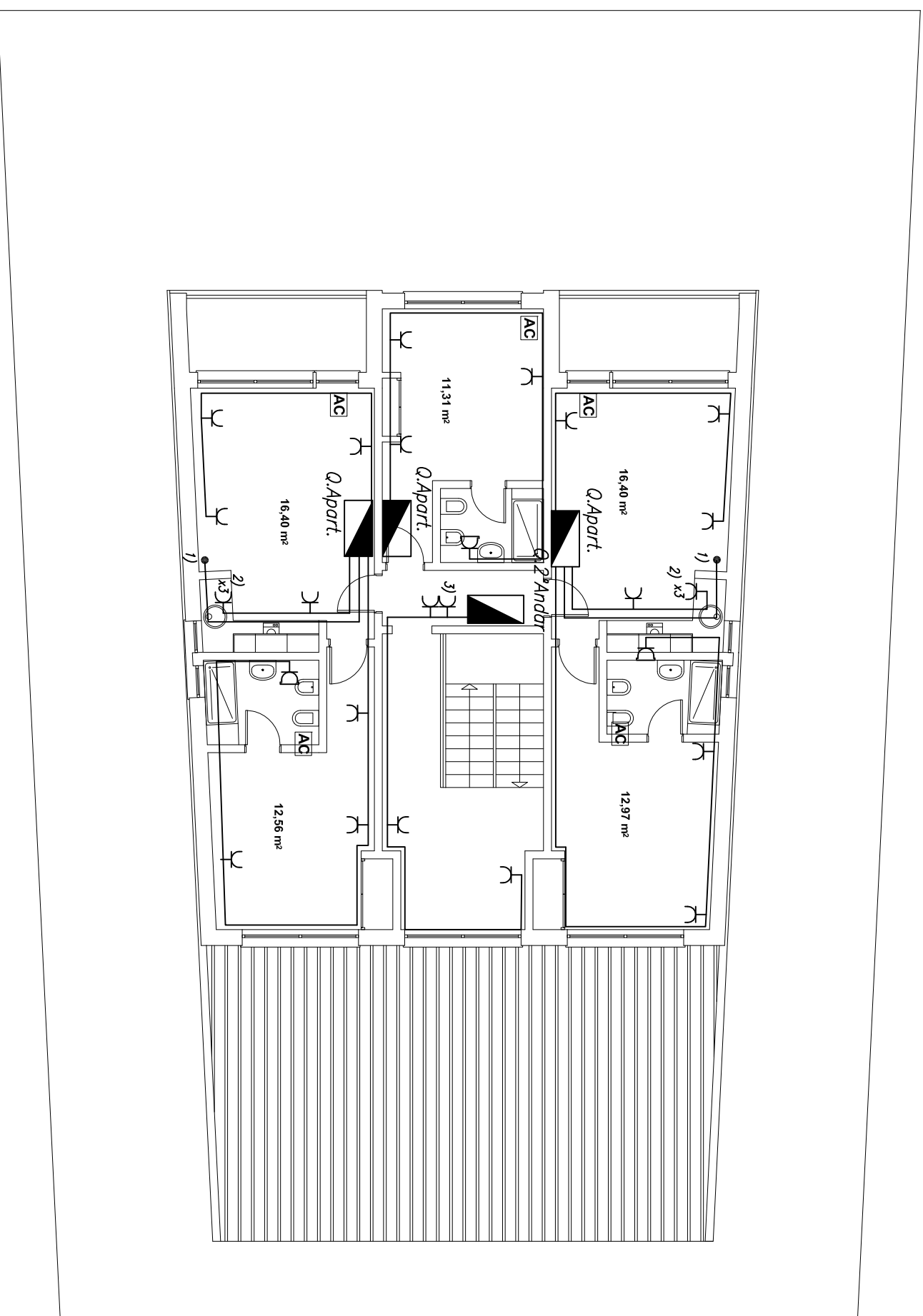
Especialidade Instalações Eléctricas

Des. nº

EL-06

Notas:

- 1) Ligação à placa eléctrica;
- 2) 2 tomadas, uma para exaustor e outra para instalar por cima da bancada.



- Notas:
- 1) Ligação à placa eléctrica;
 - 2) 2 tomadas, uma para exaustor e outra para instalar por cima da bancada.



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Designação Empreitada de Remodelação do Solar do Alto

Localização Rua de Berlim, n. 55 - Faro

Peça desenhada Circuito de Tomadas - 2º Andar

Especialidade Instalações Eléctricas

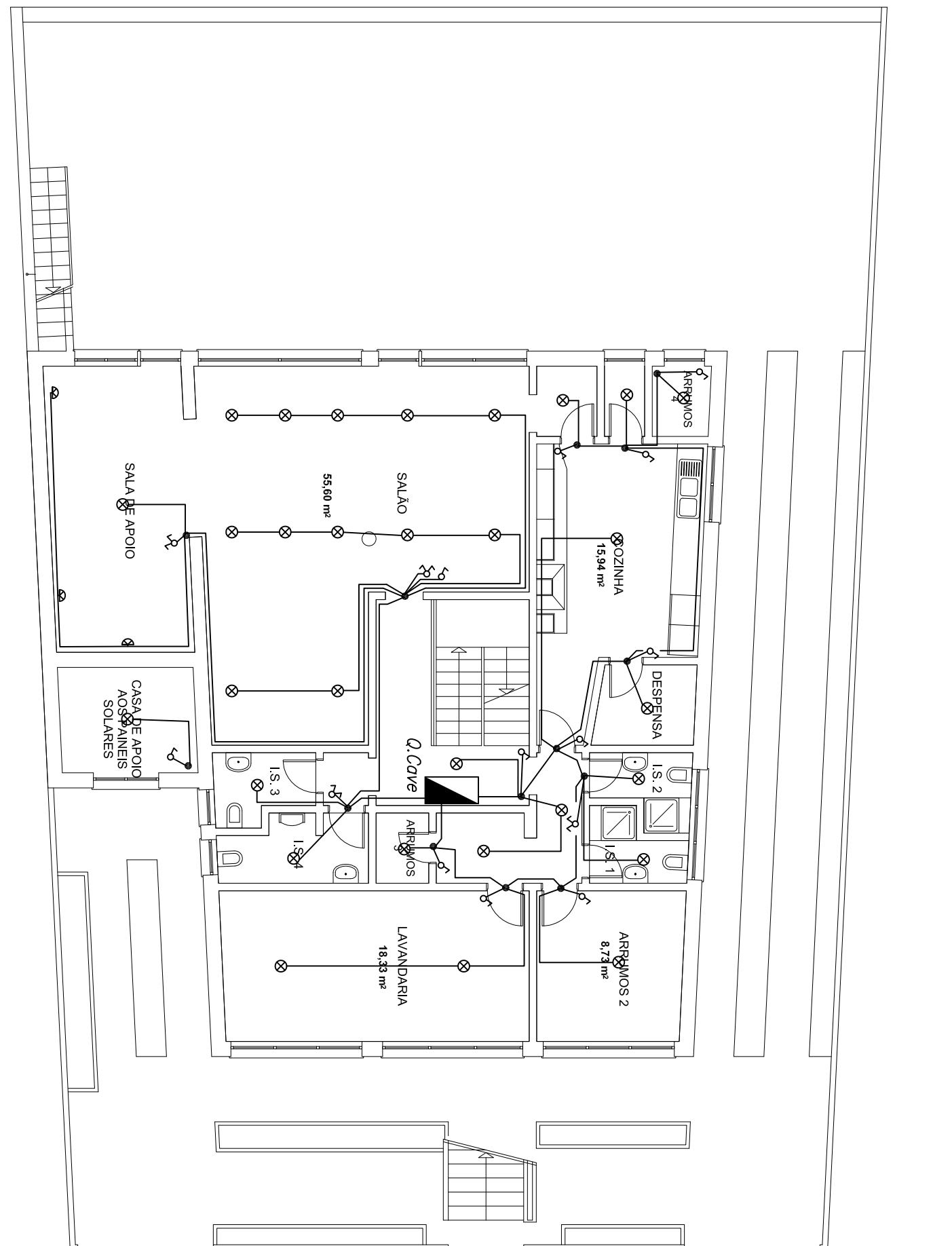
Projectou Nelson Gago

Processo nº 03/2011

Data Fevereiro 2011

Escala 1/100

Des. nº **EL-07**



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Designação Empreitada de Remodelação do Solar do Alto

Projectou Nelson Gago

Localização Rua de Berlim, n. 55 - Faro

Data Fevereiro 2011

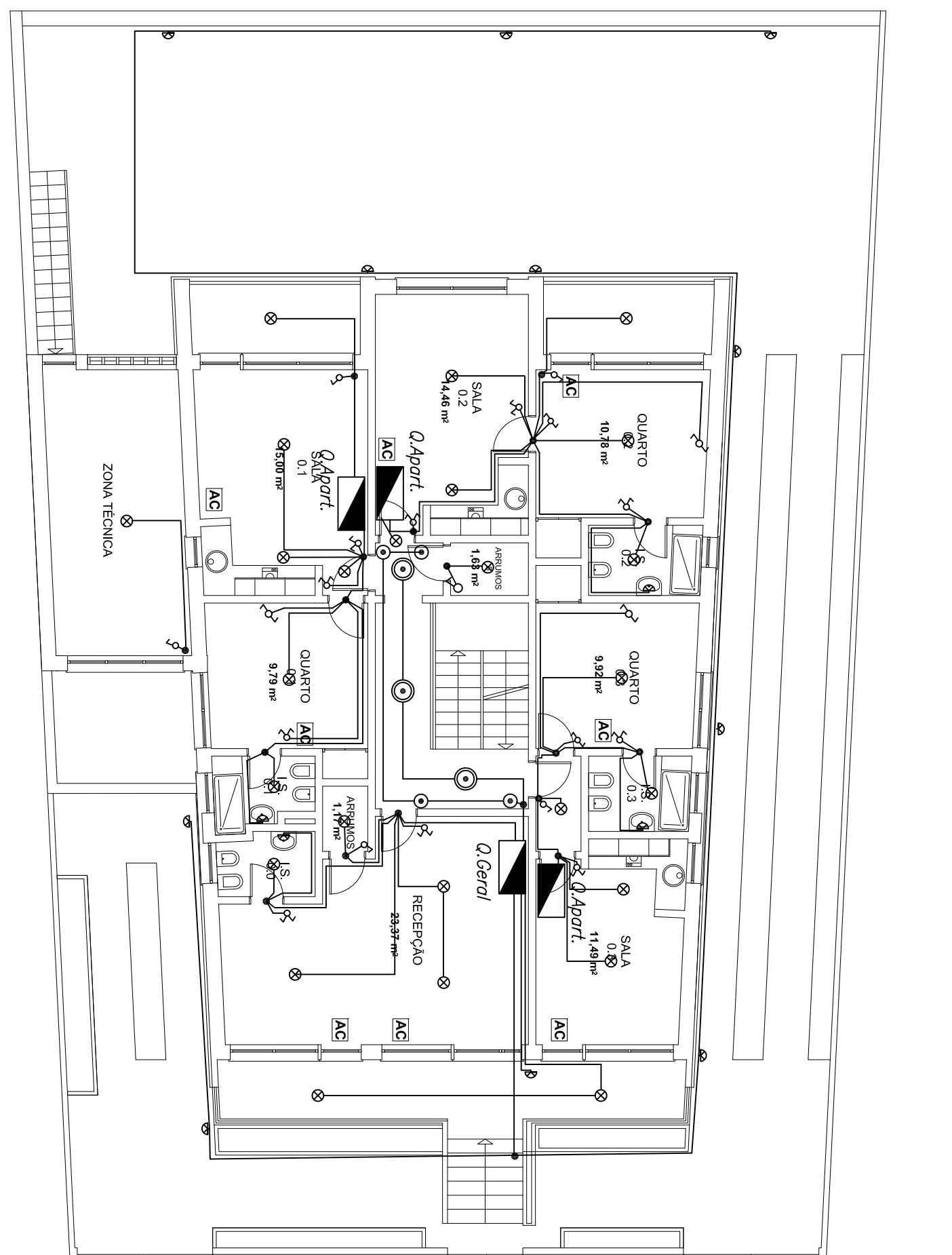
Peça desenhada Circuito de Iluminação Normal - Cave

Escala 1/100

Especialidade Instalações Eléctricas

Des. nº

EL-08



Notas:
 1) Deverá ser previsto um ponto de luz para os móveis superiores de cada kitchenet com comando local



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Designação Empreitada de Remodelação do Solar do Alto

Projectou Nelson Gago

Localização Rua de Berlim, n. 55 - Faro

Data Fevereiro 2011

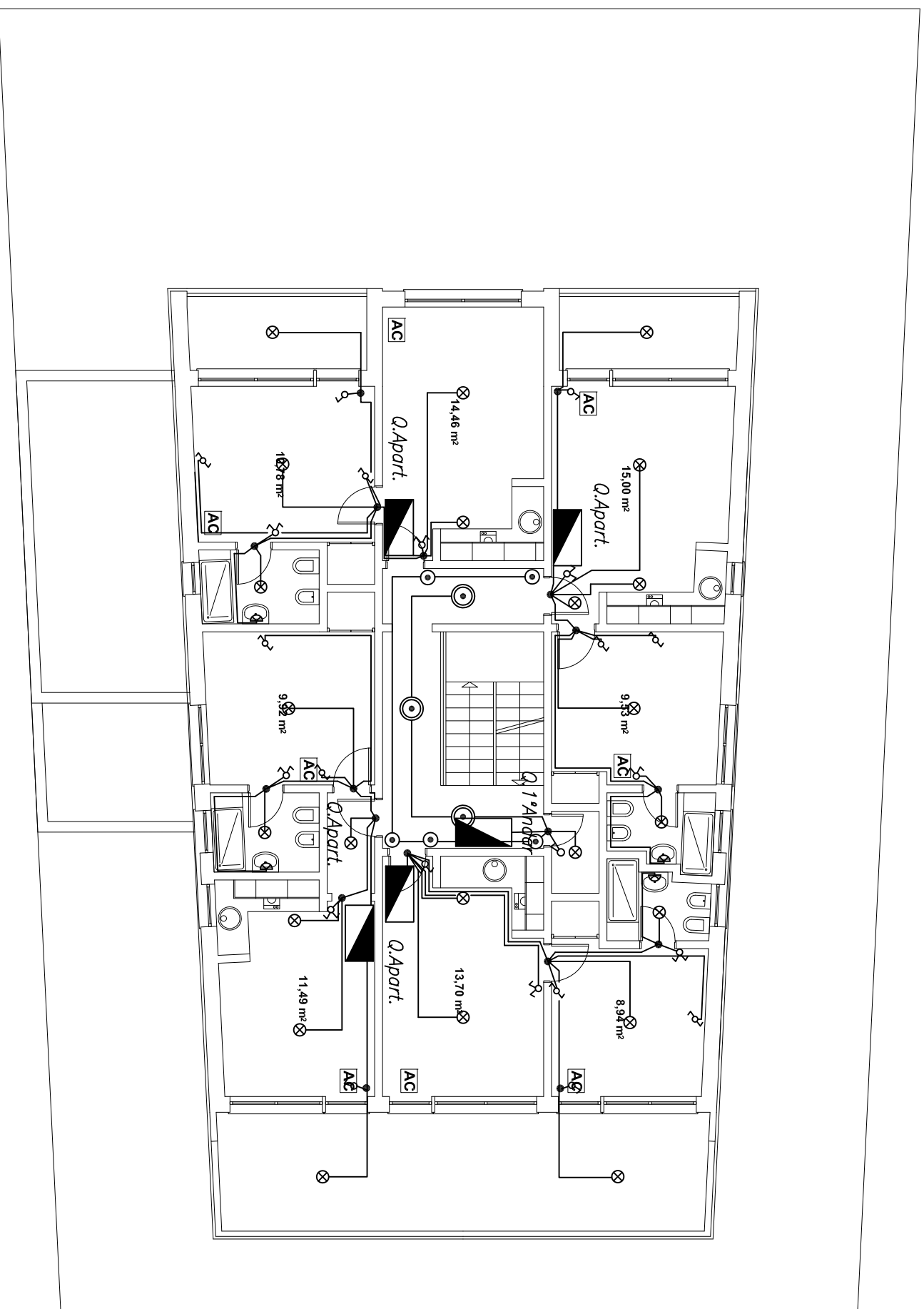
Peça desenhada Circuito de Iluminação Normal - R/Chão

Escala 1/100

Especialidade Instalações Eléctricas

Des. nº

EL-09



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Notas:
1) Deverá ser previsto um ponto de luz para os móveis superiores de cada kitchenet com comando local

Designação Empreitada de Remodelação do Solar do Alto

Projectou Nelson Gago

Processo nº 03/2011

Localização Rua de Berlim, n. 55 - Faro

Data Fevereiro 2011

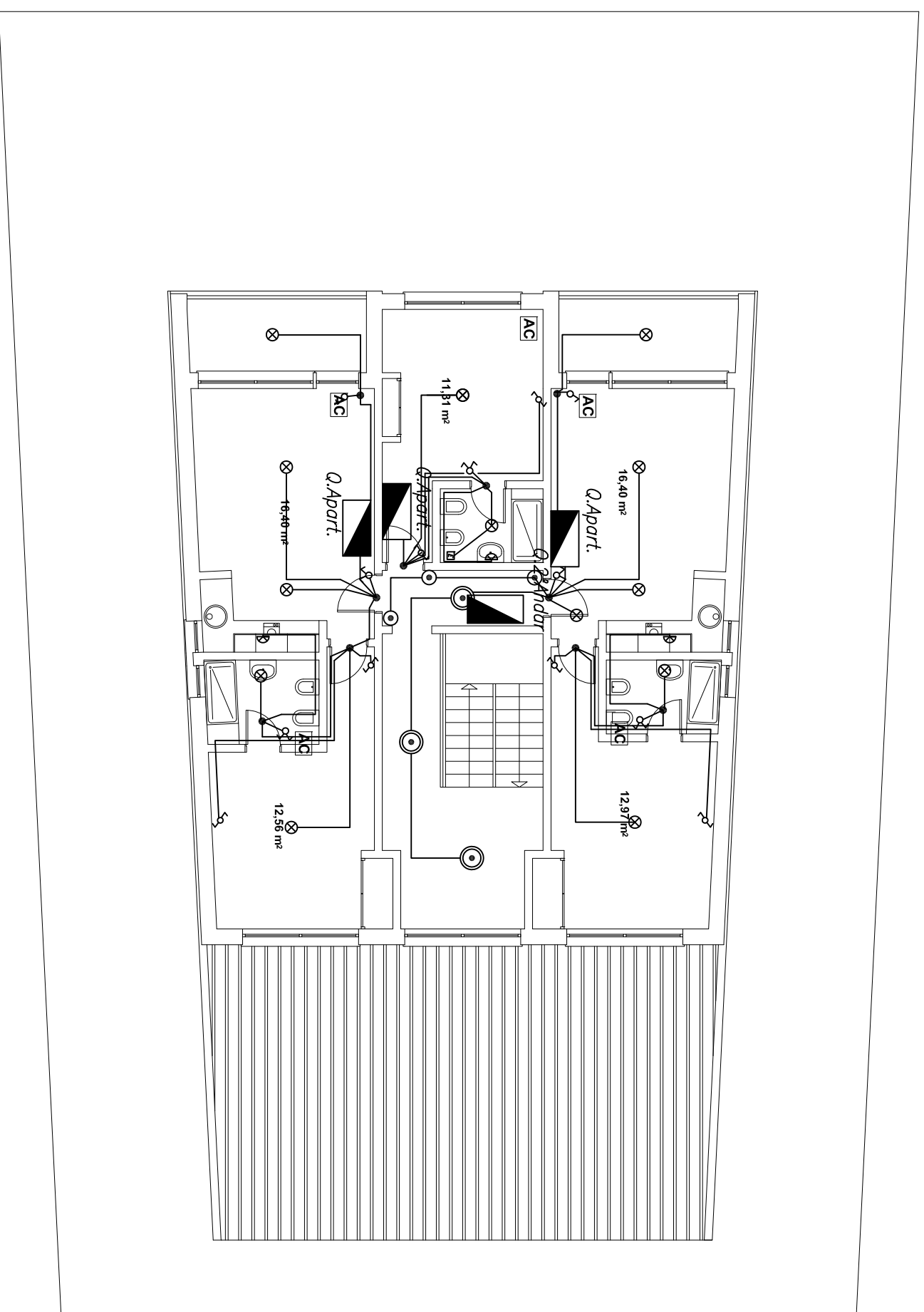
Peça desenhada Circuito de Iluminação Normal - 1º Andar

Escala 1/100

Especialidade Instalações Eléctricas

Des. nº

EL-10



Notas:
 1) Deverá ser previsto um ponto de luz para os móveis superiores de cada kitchenet com comando local



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Designação Empreitada de Remodelação do Solar do Alto

Localização Rua de Berlim, n. 55 - Faro

Peça desenhada Circuito de Iluminação Normal - 2º Andar

Especialidade Instalações Eléctricas

Projectou Nelson Gago

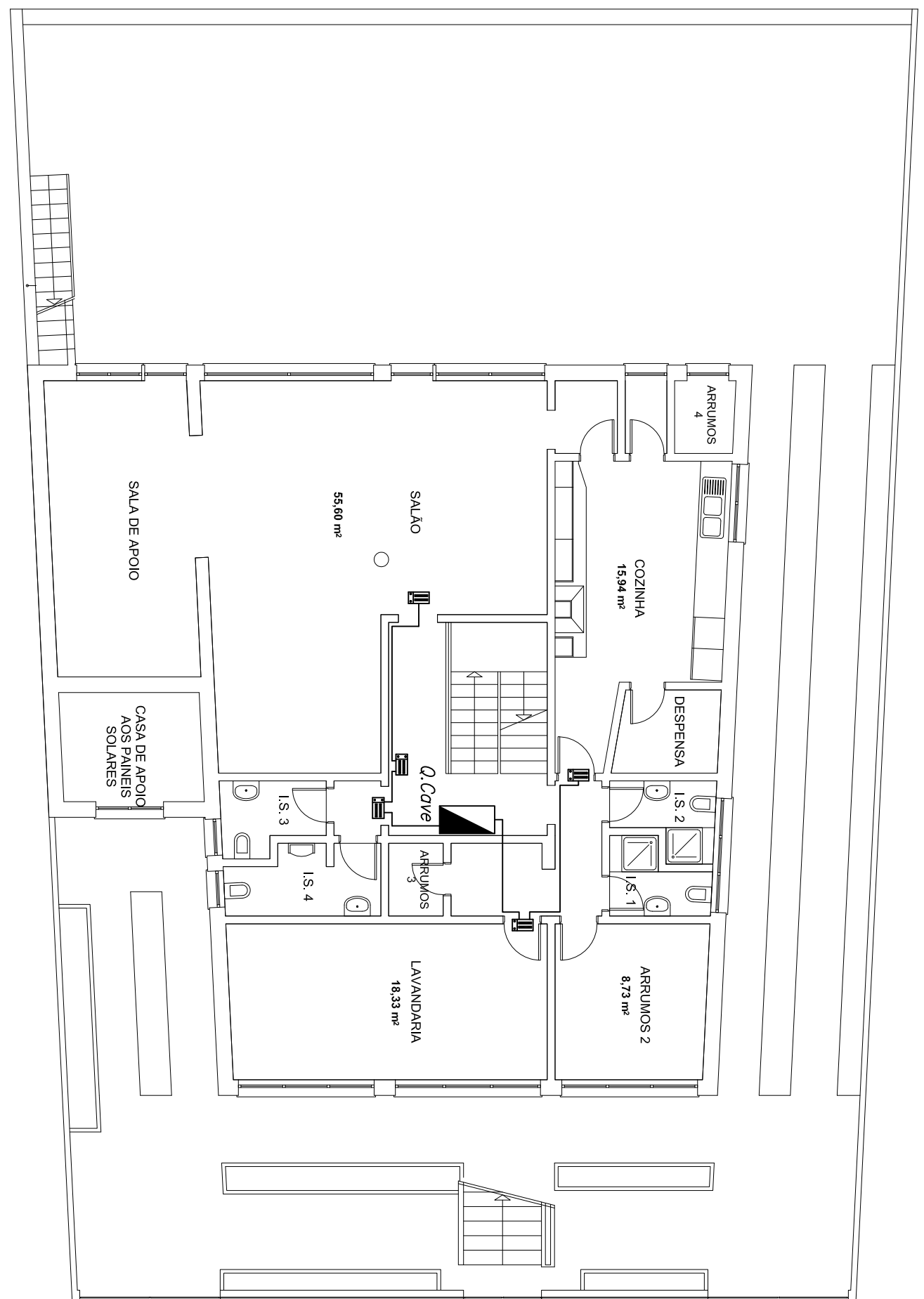
Processo nº 03/2011

Data Fevereiro 2011

Escala 1/100

Des. nº

EL-11



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Designação Empreitada de Remodelação do Solar do Alto

Projectou Nelson Gago
Processo nº 03/2011

Localização Rua de Berlim, n. 55 - Faro

Data Fevereiro 2011

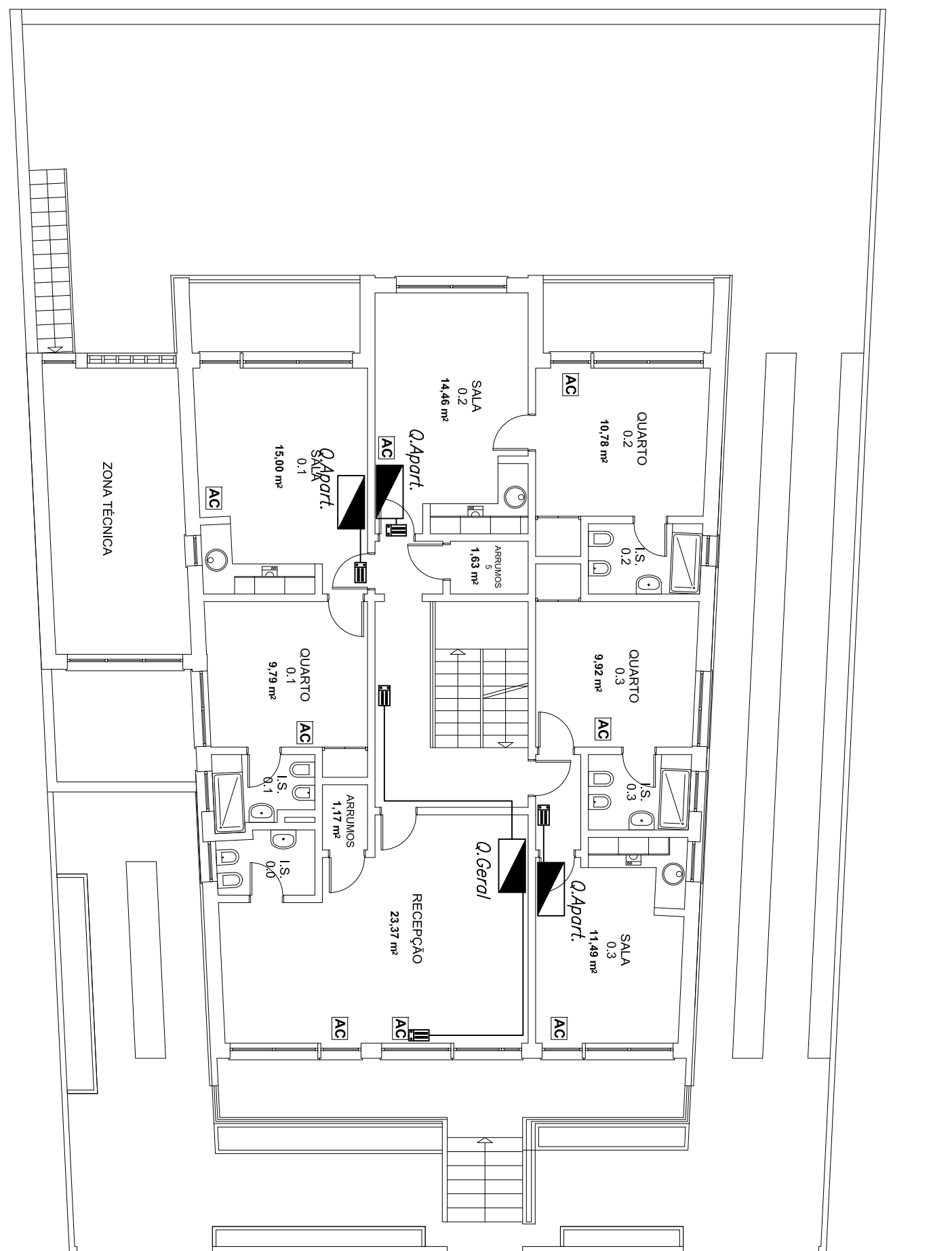
Peça desenhada Circuito de Iluminação Emergência - Cave

Escala 1/100

Especialidade Instalações Eléctricas

Des. nº

EL-12



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Designação Empreitada de Remodelação do Solar do Alto

Projectou Nelson Gago

Localização Rua de Berlim, n. 55 - Faro

Data Fevereiro 2011

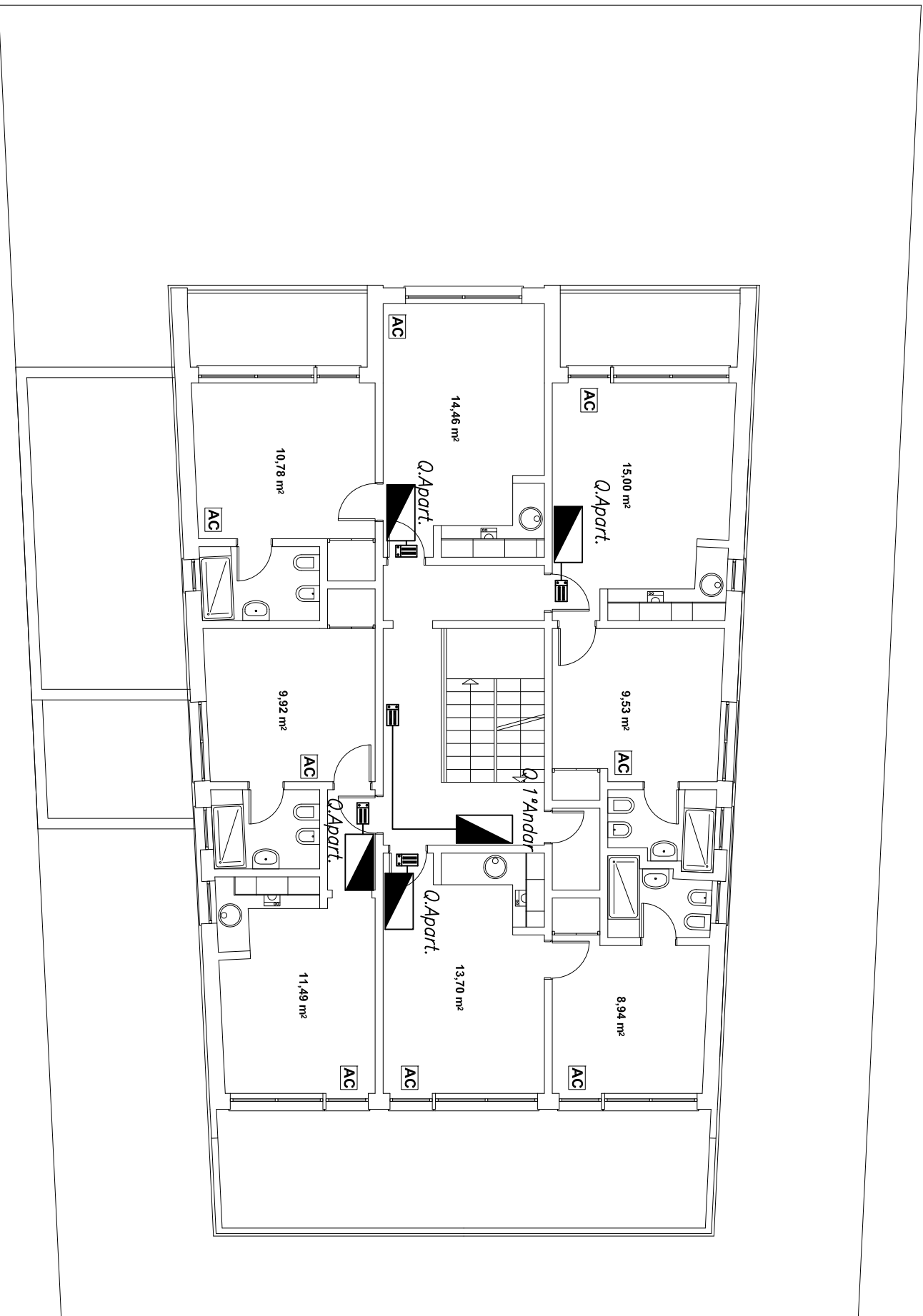
Peça desenhada Circuito de Iluminação Emergência - R/Chão

Escala 1/100

Especialidade Instalações Eléctricas

Des. nº

EL-13



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Designação Empreitada de Remodelação do Solar do Alto

Localização Rua de Berlim, n. 55 - Faro

Peça desenhada Circuito de Iluminação Emergência - 1º Andar

Especialidade Instalações Eléctricas

Projectou Nelson Gago

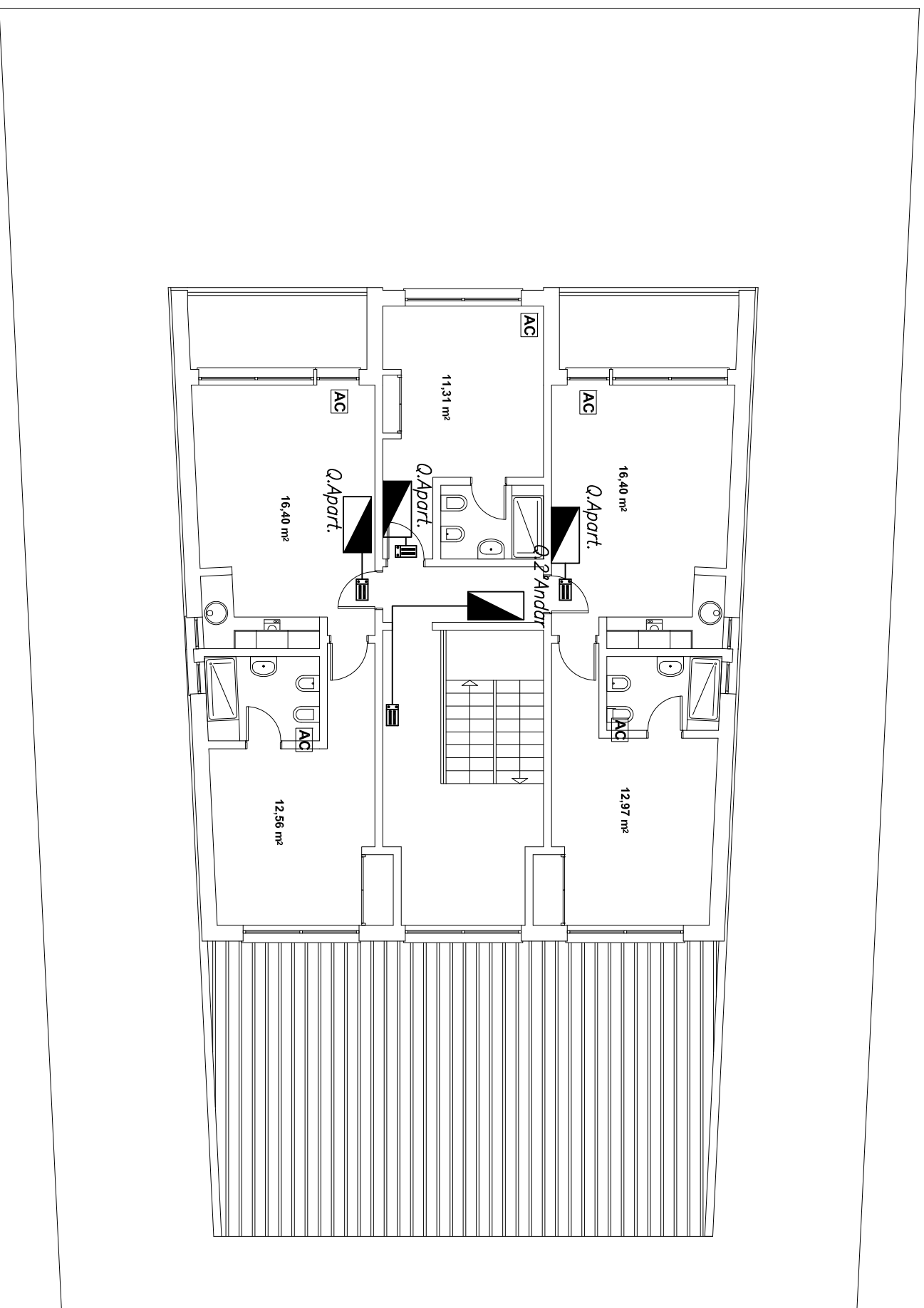
Processo nº 03/2011

Data Fevereiro 2011

Escala 1/100

Des. nº

EL-14



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Designação Empreitada de Remodelação do Solar do Alto

Processo nº 03/2011

Projectou Nelson Gago

Localização Rua de Berlim, n. 55 - Faro

Data Fevereiro 2011

Peça desenhada Circuito de Iluminação Emergência - 2º Andar

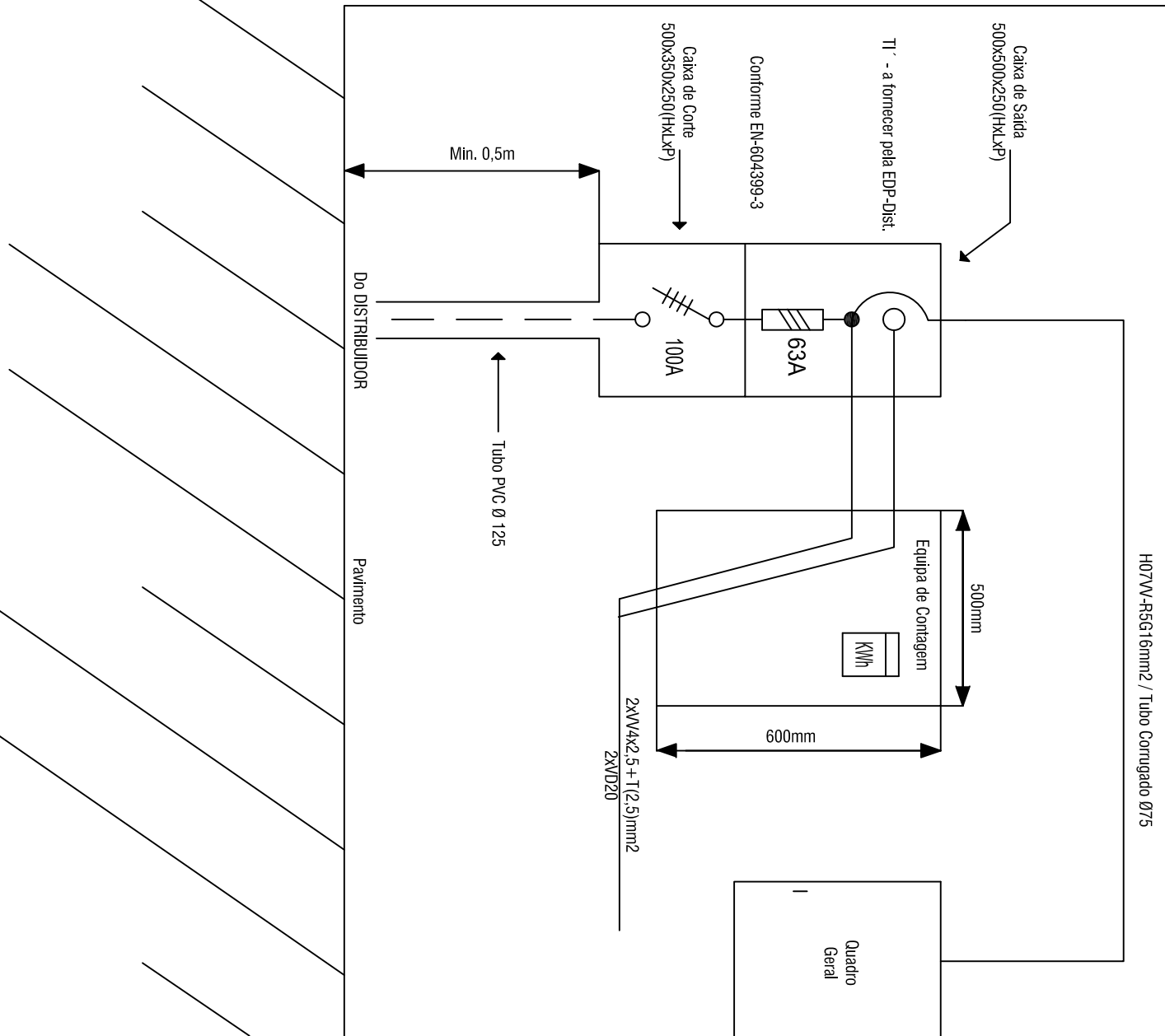
Escala 1/100

Especialidade Instalações Eléctricas

Des. nº

EL-15

O sistema de contagem fica alojado em nicho coberto c/ porta, ou integrado no edifício que alimenta.



- Notas:
- (*) Com ligação à betoneira de corte geral, localizada no piso 2
 - Todos os quadros deverão ser de Classe II de isolamento.
 - O equipamento de contagem deverá ser instalado de acordo com as recomendações do distribuidor e com a secção 803.5.8 das RTIEBT.

SÍMBOLO	DESIGNAÇÃO
	QUADRO ELECTRICO
	PORTINHOLA
	CAIXA DE COLUNA DE ENERGIA
	CONTADOR DE ENERGIA ACTIVA
	ELETRODO TERRA, MASSA, LIGADOR DE MASSA
	CAIXA P / CONTAGEM
	TERMINAL AMOVIVEL

SIMBOLOGIA	
	- TOMADA 2P+T COM TAMPA
	- TOM. 2P+T, C/ ALVELOS PROTEG.
	- TOM. 2P+T, DUPLA C/ ALV. PROT.
	- TOMADA 2P+T DUPLA COM TAMPA
	- TOMADA 3P+N+T C/ FIGHA
	- Ponto de luz
	- INTERRUPTOR
	- DISJUNTOR
	- CONTADOR DE ENERGIA
	- TOMADA SCHUKO ESTANQUE
	- CAIXA DE DERIVAÇÃO
	- INTERRUPTOR COM SINALIZADOR
	- ALIMENT. EXTRACTOR DE AR
	- INTERRUPTOR ESTANQUE
	- COMPUTADOR DE LUSTRE ESTANQUE
	- COMPUTADOR DE ESCADA DUPLA ESTANQUE



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Designação Empreitada de Remodelação do Solar do Alto

Projectou Nelson Gago

Processo nº 03/2011

Localização Rua de Berlim, n. 55 - Faro

Data Fevereiro 2011

Peça desenhada Equipamento de Contagem e Simbologia

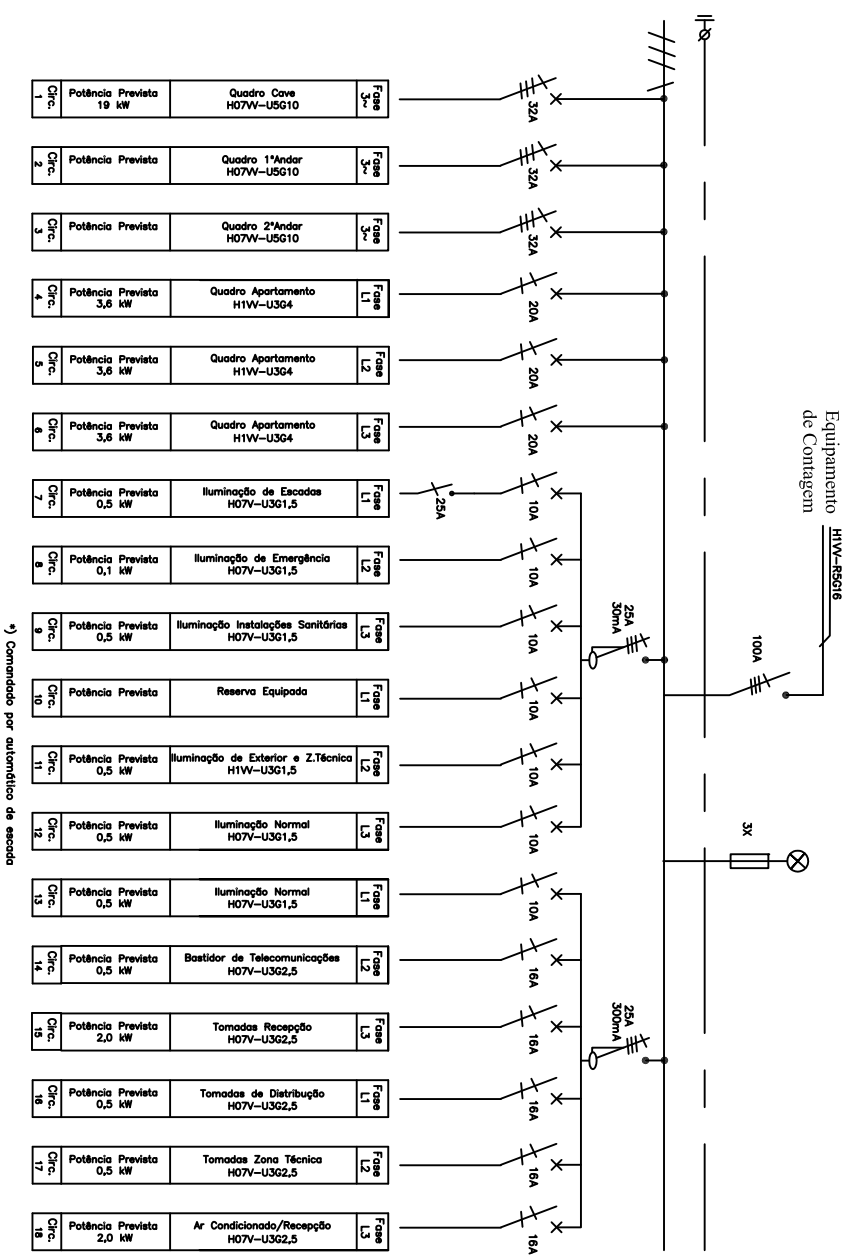
Escala 1/100

Especialidade Instalações Eléctricas

Des. nº

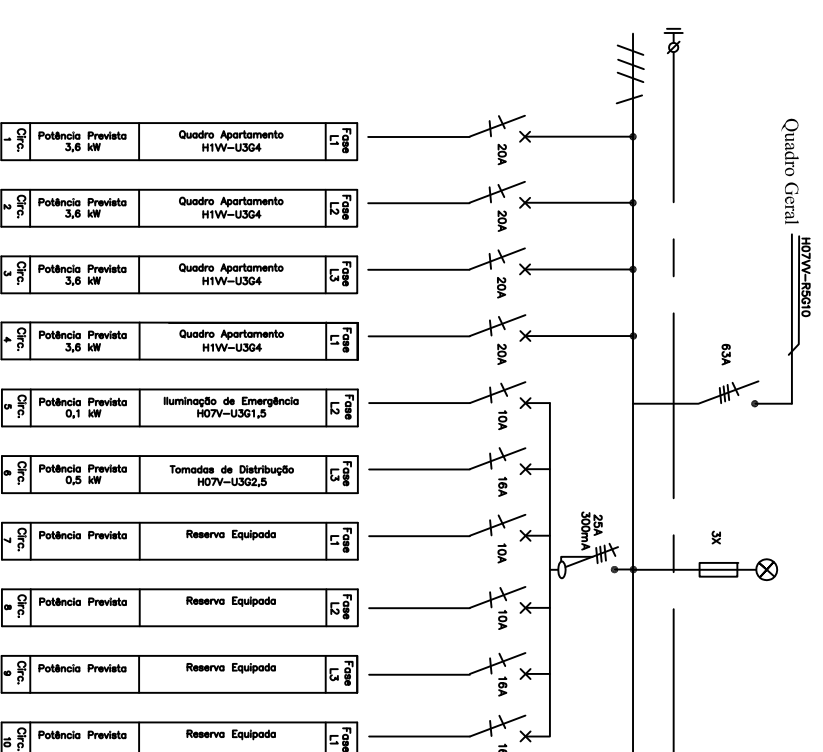
EL-16

Quadro Geral

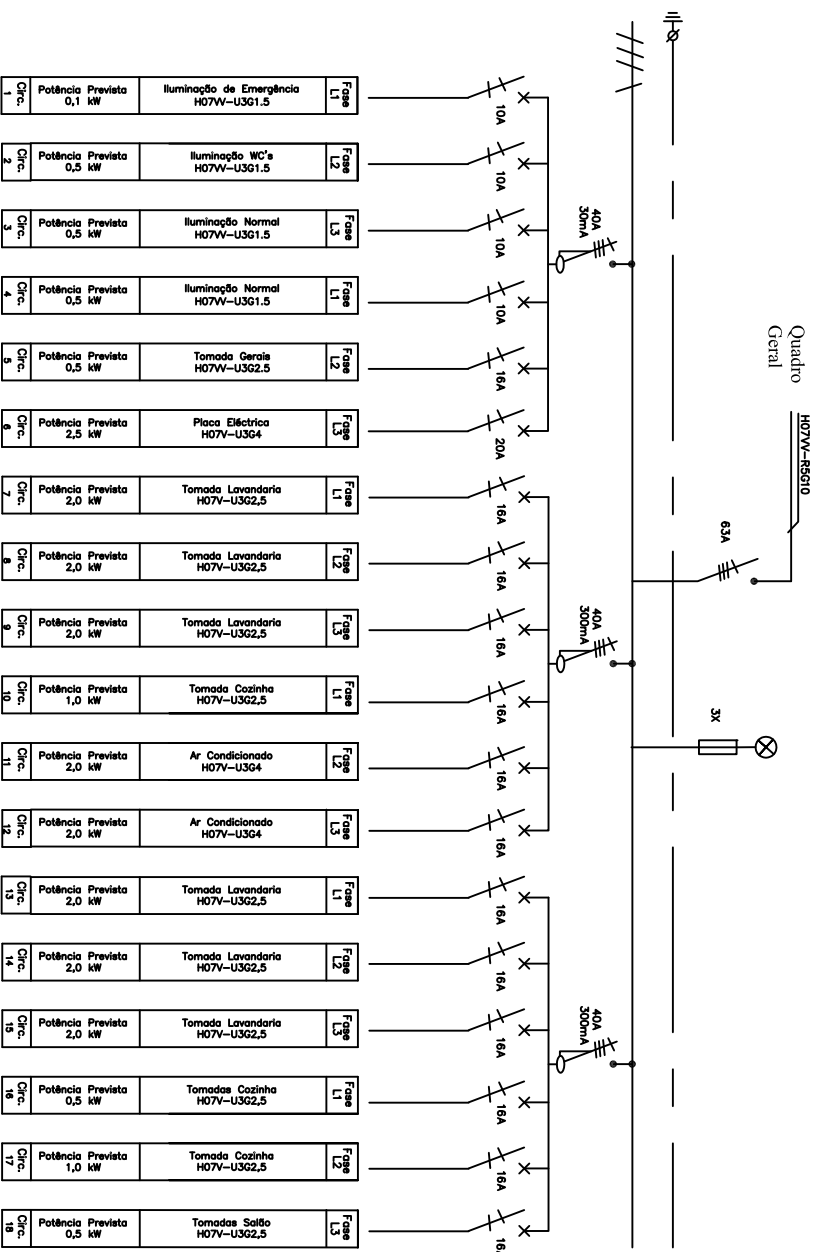


*) Comandado por autómato de escada

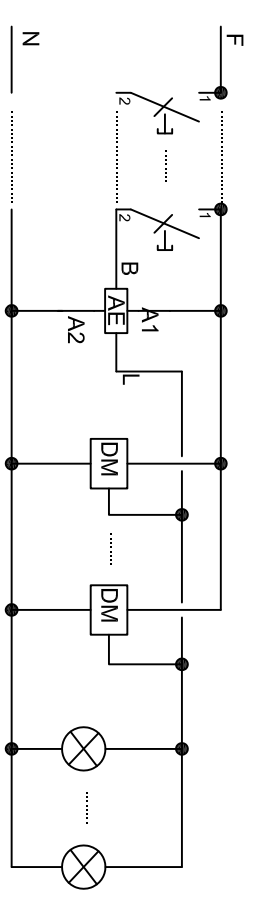
Quadro 1º Andar



Quadro Cave



ESQUEMA DE COMANDO AUTOMÁTICO ESCADA (Iluminações de Circulação)



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Projectou Nelson Gago

Designação

Empreitada de Remodelação do Solar do Alto

Processo nº 03/2011

Localização

Rua de Berlim, n. 55 - Faro

Data Fevereiro 2011

Peça desenhada

Esquema Unifilar de Quadros Eléctricos

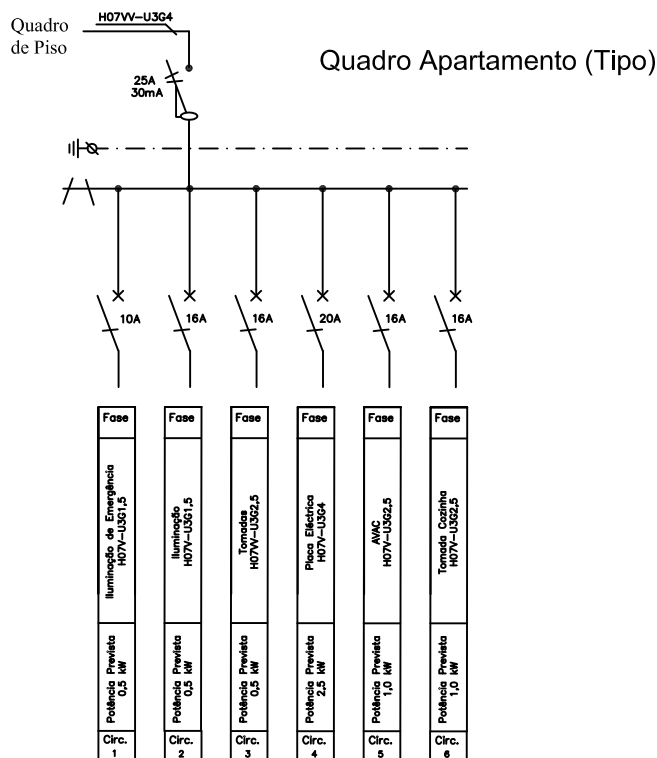
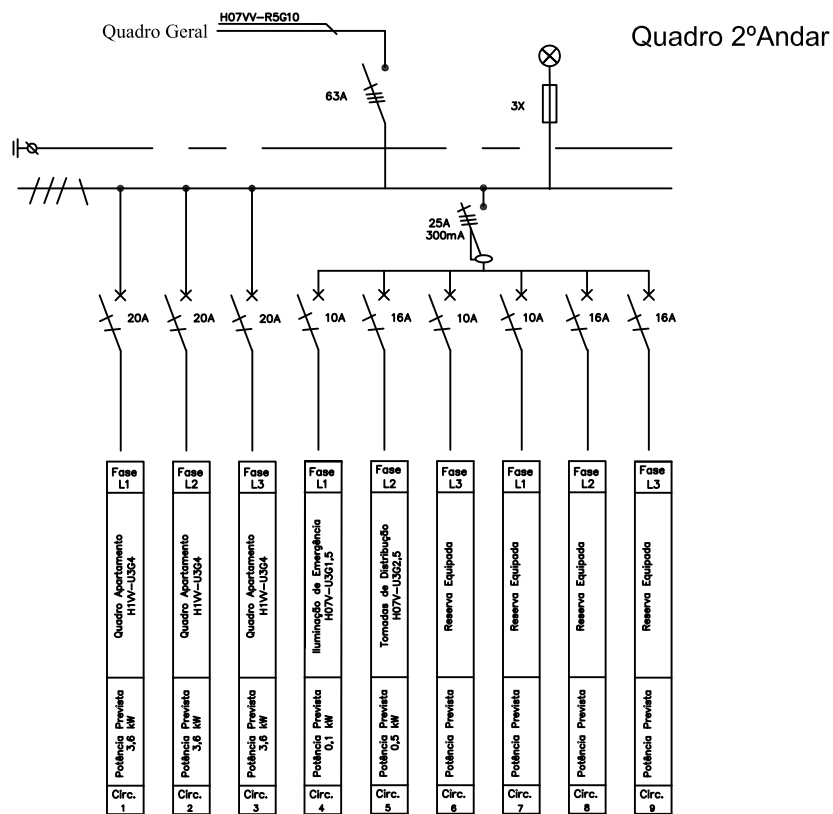
Escala 1/100

Especialidade

Instalações Eléctricas

Des. nº

EL-17



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Designação	Empreitada de Remodelação do Solar do Alto	Projectou	Nelson Gago
Localização	Rua de Berlim, n. 55 - Faro	Processo nº	03/2011
Peça desenhada	Esquema Unifilar de Quadros Eléctricos	Data	Fevereiro 2011
Especialidade	Instalações Eléctricas	Escala	S/E
		Des. nº	EL-18

Anexo D

FICHA DE IDENTIFICAÇÃO DO PROJECTO DA INSTALAÇÃO ELÉCTRICA

Câmara Municipal de FARO

Distribuidor: EDP - DISTRIBUIÇÃO ENERGIA, S.A.

Serviços externos da DGE: _____

Direcção-Geral dos Espectáculos: _____

Refª	Data de entrada

1 - Requerente:

1.1 - Nome: Universidade do Algarve

1.2 - Morada: Campus da Penha, Estrada da Penha, 8005-139 Faro

2 - Instalação:

2.1 - Local: Campus de Gambelas, ed. 8/9, Gambelas - Faro

2.2 - Freguesia: Montenegro

2.3 - Concelho: Faro

2.4 - Categoria da instalação: SERVIÇO PARTICULAR (Tipo A)

2.5 - Descrição sumária: Instalação fotovoltaica para produção de energia elétrica - Consumo integral próprio

3 - Técnico responsável pela elaboração do projecto:

3.1 - Nome: Nelson João Viegas Gago

3.2 - Morada: Universidade do Algarve, Serviços Técnicos

Telef: **919 596 631**

3.3 - Número de inscrição na OE: 66 267

4 - Tramitação do processo:

4.1 - Distribuidor de energia eléctrica: _____

4.2 - Serviços externos da Direcção-Geral de Energia: _____

4.3 - Direcção-Geral dos Espectáculos: _____

4.4 - Câmara Municipal de Faro

FICHA ELECTROTÉCNICA (1)

CONCELHO	Faro	INSTALAÇÕES NOVAS	X
LUGAR	Campus de Gambelas, ed. 8/9	INSTALAÇÕES EXISTENTES	
LOCALIZAÇÃO	Campus de Gambelas, ed. 8/9, Montenegro - Faro		
REQUERENTE	Universidade do Algarve		
MORADA	Campus da Penha, Estrada da Penha, 8005-139 Faro		

CATEGORIA DAS INSTALAÇÕES A NÚMERO DA LICENÇA MUNICIPAL

PORTINHOLA (2) Q. COLUNAS (2) CX. CORTE CX. BARR. CX. PROT.

CONSTITUIÇÃO DO IMÓVEL				
PISOS	QUANT.	N.º DE INSTALAÇÕES POR PISO	DESTINO	TOTAL DE INSTALAÇÕES
CAVE (S)	1			
RÉS-DO-CHÃO	1	1	Ensino	1
ANDARES	2			
TOTAIS	4	1		1

MOTORES E APARELHOS DE SOLDADURA (3)				
QUANT.	POTÊNCIA (KVA)	TIPO DE ARRANQUE	POTÊNCIA TOTAL (KVA)	OBSERVAÇÕES

POTENCIAS PREVISTAS (4)						
LOCAIS DE UTILIZAÇÃO	QUANT.	INSTALAÇÕES USOS GERAIS E FORÇA MOTRIZ - KVA	AQUECIMENTO - KVA (5)	TOTAL INSTALADO - KVA	COEFICIENTE DE SIMULTANEIDADE	POTÊNCIA ALIMENTAR (KVA)
HABITAÇÕES						
(6) Central Fotovoltaica	1	70kVA		70kVA		70kVA
SERVIÇOS COMUNS						
TOTAIS	1	70kVA		70kVA		70kVA

INSTALAÇÕES SEM PROJECTO	
COLUNA	TIPO DE CONDUTORES _____ SECÇÃO _____ mm ² PROT. MECÂNICA _____ Ø _____
ENTRADAS	TIPO DE CONDUTORES _____ SECÇÃO _____ mm ² PROT. MECÂNICA _____ Ø _____
INST. UTILIZ.	_____ CIRC. A 1,5mm ² C/ PROT. _____ _____ CIRC. A 2,5mm ² C/ PROT. _____ _____ CIRC. A _____ mm ² C/ PROT. _____

TÉCNICO RESPONSÁVEL INSCRITO NA ORDEM DOS ENGENHEIROS, SOB O N.º 66 267
 NOME (LEGÍVEL): Nelson João Viegas Gago
 MORADA (LEGÍVEL): Universidade do Algarve, Serviços Técnicos, Campus da Penha

ASSINATURA : _____ 2013/Nov/ 20

- (1) Uma por cada ramal, chegada, ou entrada.
- (2) A preencher só quando se tratar de instalações existentes.
- (3) A preencher só quando se tratar de instalações de FM, nos aparelhos de soldadura indicar em observações se é estático ou rotativo.
- (4) Utilizar os escalões de potência fixados no tarifário em vigor.
- (5) Com contador separado.
- (6) Utilizar para estabelecimentos comerciais, industriais, agrícolas, etc.

(RESERVADO AO VISTO DO DISTRIBUIDOR)

TERMO DE RESPONSABILIDADE DO AUTOR DO PROJECTO ELECTROTÉCNICO

Nelson João Viegas Gago, Técnico Superior Eletrotécnico ao serviço dos Serviços Técnicos da Universidade do Algarve, inscrito na Ordem dos Engenheiros com o nº 66 267, portador do Cartão de Cidadão nº 10478804 6ZZ5 válido até 07Mai2015, com endereço profissional na Universidade do Algarve, Serviços Técnicos, *Campus* da Penha, Estrada da Penha, 8005-139 Faro, autor do Projeto de Instalações Elétricas de **Categoria A** junto, referente à Empreitada de Instalação de Central Fotovoltaica situado no edifício 8/9 do *Campus* de Gambelas, Freguesia de Montenegro e concelho de Faro, pertencente à Universidade do Algarve, declaro que nele se observam todas as disposições regulamentares em vigor, bem como outra Legislação aplicável.

Declaro também que esta minha responsabilidade terminará com a aprovação do projeto ou dois anos após a sua entrega ao proprietário da instalação caso o projeto não seja submetido a aprovação.

Faro, 20 de novembro de 2013.

Projetista

Nelson João Viegas Gago



ORDEM DOS ENGENHEIROS

ENGENHEIRO

REGIÃO SUL

CÉDULA PROFISSIONAL

NELSON JOÃO VIEGAS GAGO

MEMBRO EFECTIVO n.º 66267
Colégio ELECTROTÉCNICA



VALIDO ATÉ MÊS/ANO
12 / 14


O Bastonário  Assinatura do titular *Nelson João Viegas Gago*

Especialidade de Engenharia
ELECTROTÉCNICA

Nível de Qualificação
MEMBRO E2
Especializações

Cargos Dirigentes na Ordem dos Engenheiros

Data de emissão: 4 de Novembro de 2011



cartosis

ORDEM DOS ENGENHEIROS - Av. Sidónio Pais, 4E - 1050-212 LISBOA
Tel.: 21 313 26 89 - geral@ordemdosengenheiros.pt - www.ordemengenheiros.pt
Este cartão é pessoal e intransferível. Em caso de revalidação, necessidade de alteração, interrupção da actividade profissional, cancelamento da inscrição ou extravio, deve contactar a Ordem dos Engenheiros.



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO SUL

DECLARAÇÃO

O Conselho Directivo da Região Sul da Ordem dos Engenheiros declara, para efeitos do estabelecido no Estatuto do Técnico Responsável por Instalações Eléctricas de Serviço Particular, aprovado pelo Decreto Regulamentar n.º 31/83, de 18 de Abril, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 229/2006, de 24 de Novembro, que o(a) Engenheiro(a) Nelson João Viegas Gago, licenciado(a) em Engenharia Eléctrica e Electrónica no(a) Universidade do Algarve, está inscrito(a) como Membro Efectivo, nesta associação pública profissional, agrupado na(s) especialidade(s) de Engenharia Eletrotécnica, possuindo o nível de qualificação profissional de Membro E2, sendo portador(a) da Cédula Profissional n.º 66267.

Mais declara a efectividade dos direitos deste(a) Engenheiro(a), bem como a sua capacidade para o uso do título e a prática de actos próprios da respectiva profissão, nomeadamente, para o exercício das funções de Técnico Responsável pelo projecto (tensão nominal inferior a 60 kV), execução e exploração de Instalações Eléctricas.

Esta declaração destina-se a ser exibida perante as entidades licenciadoras e é válida pelo prazo de um ano.

Lisboa, 9 de Janeiro de 2013

O Presidente do Conselho Directivo

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

PROJECTO ELECTROTÉCNICO CENTRAL FOTOVOLTAICA

Requerente: UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Morada: *Campus* de Gambelas, Montenegro - Faro

Faro, 20 de novembro de 2013.

ÍNDICE

Conteúdo

1.	Introdução.....	2
2.	Observações.....	2
3.	Descrição de Funcionamento da Central Fotovoltaica.....	3
4.	Proteção contra contatos diretos.....	4
5.	Proteção contra contatos indiretos.....	5
5.1.	Lado DC.....	5
5.2.	Lado AC.....	6
5.3.	Ligação das massas à terra.....	6
6.	Proteção contra sobreintensidades.....	7
6.1.	Lado DC.....	7
6.2.	Lado AC.....	7
6.2.1.	Proteção contra sobrecargas.....	7
6.2.2.	Proteção contra os curto-circuitos.....	7
7.	Queda de tensão.....	8
7.1.1.	Lado DC.....	8
7.1.2.	Lado AC.....	8
8.	Seccionamento e corte.....	8
8.1.	Dispositivos de seccionamento.....	8
9.	Canalizações e materiais.....	9
10.	Sinalização.....	9
10.1.	Ponto de ligação com a Rede elétrica existente.....	9
10.2.	Intervenção no Inversor.....	10
11.	Execução das Instalações.....	10
12.	Omissões.....	11

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

1. Introdução

Esta Memória Descritiva e Justificativa diz respeito ao projeto de eletricidade de categoria A de uma instalação de produção de energia elétrica em regime permanente, diurno, em paralelo com a rede elétrica existente, sem injeção de energia nesta, com a potência de 70kVA, 230/400 V, 50 Hz, que servirá o edifício 8/9 na Universidade do Algarve – Campus de Gambelas, sita na freguesia de Montenegro e Concelho de Faro.

Na conceção do atual projeto teve-se em conta a economia e simplicidade, observando-se os princípios do bom funcionamento e segurança conforme prescrito nas “Regras Técnicas das Instalações Elétricas em Baixa Tensão” – RTIEBT (Portaria 949-A/2006).

A instalação será realizada de acordo com os desenhos anexos, e comporta uma Central Fotovoltaica de 70kVA que injetará energia no Quadro Geral de Baixa Tensão existente no posto de transformação n.º3, existente, no mesmo edifício.

2. Observações

Esta instalação é de categoria A, para efeitos de licenciamento, de acordo com o art.º 7 do Dec. Lei 101/2007.

A Central Fotovoltaica será instalada, conforme peças desenhadas EL-03 e EL-04, de forma a garantir o seu bom funcionamento e manutenção.

A Central Fotovoltaica destina-se a funcionar em permanentemente, em paralelo com a rede elétrica existente, sem injeção de energia nesta, alimentando as instalações elétricas a partir do Quadro Geral Baixa Tensão.

A instalação de consumo fica dotada de duas fontes fornecedoras de energia, a Central Fotovoltaica e a rede elétrica existente que funcionará como fornecedor complementar durante o dia e único durante a noite pois a Central Fotovoltaica não contempla qualquer tipo de acumulação de energia.

3. Descrição de Funcionamento da Central Fotovoltaica

A Central Fotovoltaica destina-se a funcionar permanentemente, em paralelo com a rede existente, sem injeção de energia nesta, alimentando as instalações elétricas de utilização a partir do Quadro Geral Baixa Tensão.

Será instalado um sistema fotovoltaico de 85,25kWp, composto por 341 módulos fotovoltaicos que transformam energia solar em energia elétrica.

Um inversor fotovoltaico tipo *on-grid* recebe a energia produzida nos módulos fotovoltaicos e encarrega-se de fazer o sincronismo com a rede e injetar energia no Quadro Geral Baixa Tensão.

Toda a energia gerada pela Central será utilizada na instalação de consumo. Existe um sistema de comando e controlo (autómato programável) que garante que não flui energia para a rede existente.

Em cada instante, através de um analisador de rede, os dados de consumo geral da instalação de utilização são monitorizados. Com base nesses valores o autómato fornece indicação ao inversor de qual deverá ser a sua potência máxima de saída.

Desta forma, atuando sobre a saída do inversor (redução), garante-se que a energia gerada pela Central Fotovoltaica será sempre inferior às necessidades de consumo por forma a garantir que nunca fluirá energia para a rede existente.

Durante o funcionamento existem vários cenários possíveis:

Quando a potência solar é superior às necessidades de consumo, então a saída do inversor é limitada, por indicação do sistema de controlo, abaixo do valor de consumo por forma a não fluir energia para a rede elétrica;

Quando a potência solar é inferior às necessidades de consumo então a rede elétrica assegura o fornecimento da energia complementar por forma a satisfazer os consumos em cada instante. Assim toda a energia produzida pela Central Fotovoltaica será consumida na instalação de utilização.

A central fotovoltaica não prevê a utilização de quaisquer elementos de acumulação, como tal, durante o período noturno será sempre a rede elétrica a fornecer a totalidade de energia à instalação de utilização.

No circuito de potência do inversor é instalado um equipamento de corte com possibilidade de manobra à distância, que colocará fora de serviço a Central Fotovoltaica por betoneira de emergência local ou comando do autómato aquando de uma falha do sistema de controlo da Unidade de Gestão.

4. Proteção contra contatos diretos

A rede pública de distribuição em baixa tensão é explorada em esquema de ligação à terra do tipo TN, pelo que o condutor Neutro da rede não deverá ser ligado com a terra da central fotovoltaica.

Os equipamentos do grupo do lado DC devem ser considerados em tensão, mesmo quando desligados do lado AC. Todas as partes acessíveis do lado DC, tal como ligadores, caixas de ligação e eventualmente seccionadores, deverão ser sinalizados com um aviso modelo com informação clara e durável da existência de tensão mesmo quando o(s) circuito(s) se encontrem seccionados do lado DC no inversor.



Os materiais utilizados deverão garantir características adequadas de isolamento quer por construção quer através de utilização de invólucros. Caixas ou armários que contenham partes ativas deverão permanecer fechadas apenas permitindo a abertura através de ferramenta ou de chave, a não ser que se encontrem localizadas em locais exclusivamente acessíveis a pessoas qualificadas ou instruídas. As partes ativas deverão ser estabelecidas em invólucro com um grau de proteção mínimo IP 2X, ou IP 44 para o caso de se situar no exterior. Os módulos fotovoltaicos que sejam estabelecidos de modo acessível, quer a pessoas, quer a animais domésticos, deverão encontrar-se protegidos por sistema de barreiras ou vedação.

5. Proteção contra contatos indiretos

5.1. Lado DC

Do lado da corrente contínua, a proteção contra choques elétricos é garantida pelo emprego de materiais classe II de isolamento ou equivalente (isolamento reforçado) até aos ligadores do inversor. Os cabos deverão garantir uma tensão mínima $V = V_{oc} \times 1,15 \times n.^{\circ} \text{módulos (M)}$, pelo que tanto os cabos de string e o cabo principal deverão garantir um nível de isolamento mínimo de 1 kV.

5.2. Lado AC

Do lado AC, a proteção contra contactos indiretos deverá ser garantida através de aparelho sensível à corrente diferencial-residual (diferencial) de média sensibilidade.

O aparelho de proteção diferencial poderá garantir simultaneamente a proteção contra sobreintensidades, por meio de disjuntor diferencial, não sendo no entanto obrigatória a adoção desta solução. Adotando-se a utilização de dois aparelhos distintos, a proteção contra sobreintensidades através de aparelho magneto-térmico deverá ser estabelecida do lado da rede. Os equipamentos auxiliares deverão ser dotados de circuito específico que garanta também proteção de pessoas e continuidade de serviço da instalação.

5.3. Ligação das massas à terra

A massa do inversor e as massas dos materiais alimentados pela rede de distribuição pública (instalação existente) deverão ser ligadas à terra das massas da instalação elétrica de utilização. As estruturas metálicas de suporte, molduras dos módulos FV e partes metálicas para interligação destes, deverão encontrar-se ao mesmo potencial do TPT – Terminal Principal de Terra, apesar da garantia de classe II de isolamento. De um modo geral, as estruturas metálicas são em alumínio, pelo que deverão ser utilizados ligadores adequados para o efeito sempre que necessário. A interligação destes componentes deverá ser assegurada através de condutor de equipotencialidade com secção de 4mm².

6. Proteção contra sobreintensidades

6.1. Lado DC

Os cabos de string são dimensionados para que possam dispensar aparelhos de proteção contra sobreintensidades, pelo que, a sua corrente máxima admissível (I_z) deve ser igual ou superior a $1,25 \times I_{ccSTC}$ dessa mesma string. O cabo principal também é dimensionado para que seja dispensada a proteção contra sobreintensidades, devendo ser garantido que a corrente máxima admissível no cabo principal (I_z) deve ser igual ou superior a $1,25 \times I_{ccSTC}$ do grupo.

6.2. Lado AC

6.2.1. Proteção contra sobrecargas

O valor de I_n (corrente estipulada) do aparelho de proteção do lado AC é definido pelas condições de ligação à rede. As condições de estabelecimento são as previstas na Secção 563.3 das R.T.I.E.B.T. – Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão.

6.2.2. Proteção contra os curto-circuitos

O poder de corte dos aparelhos de proteção é determinado tendo em conta as correntes de curto-circuito máximas previsíveis. Todos os dispositivos deverão ter um poder de corte de 10kA. A utilização de disjuntor é obrigatória, não sendo permitida a proteção através de fusíveis.

7. Queda de tensão

7.1.1. Lado DC

A queda de tensão máxima permitida do lado DC da instalação é de 3 % em condições Icc STC. E recomendável limitar esta queda de tensão a um máximo de 1%.

7.1.2. Lado AC

A queda de tensão máxima entre o ponto de ligação à rede e os ligadores AC do inversor não deverá ser superior a 3 % em condições de potência nominal do inversor. Também aqui, é recomendada uma queda de tensão máxima de 1 %.

8. Seccionamento e corte

8.1. Dispositivos de seccionamento

De forma a permitir a manutenção não só do inversor mas também de todo o grupo, deverão ser previstos meios de seccionamento tanto do lado DC como do lado AC. Todos os dispositivos de seccionamento deverão ser omnipolares, sendo que do lado DC o seccionamento poderá não ser simultâneo.

9. Canalizações e materiais

Os elementos constituintes das canalizações estabelecidas em locais que os sujeite às radiações solares, deverão ter características adequadas às influências externas AN3 – Radiações solares fortes (Secção 321.11 das R.T.I.E.B.T.). O estabelecimento das canalizações deverá ser tal que garanta a proteção mecânica das mesmas em todo o seu percurso. Todos os materiais empregues deverão ser adequados à função que lhes é dada, devendo garantir marcação de conformidade CE.

10. Sinalização

A sinalização dos riscos existentes nas instalações elétricas é uma forma de evitar danos físicos aos seus utilizadores e intervenientes, pelo que deverá ser de fácil interpretação e com garantias de durabilidade. Para além do previsto no ponto 5, apresentam-se outras situações que deverão ser salvaguardadas.

10.1. Ponto de ligação com a Rede elétrica existente

De forma a garantir toda a segurança na intervenção e manutenção num grupo fotovoltaico interligado com a rede pública, deverá ser garantida a sinalização da existência de duas fontes de energia no local de acesso a essas mesmas fontes (portinhola ou contadores, conforme esquema de ligação adotado).



PERIGO
PRESENÇA DE DUAS FONTES DE TENSÃO
- REDE DE DISTRIBUIÇÃO
- PAINÉIS FOTOVOLTÁICOS

10.2. Intervenção no Inversor

Para evitar que haja interrupções voluntárias do lado DC, sem que seja antes efetuado o corte do lado AC, é necessária sinalética junto do seccionamento do lado DC eliminando assim riscos e avarias desnecessárias.



De forma a permitir a manutenção não só do inversor mas também de todo o grupo, deverão ser previstos meios de seccionamento.

□

11. Execução das Instalações

No aspeto de execução das instalações, deverá ser atendido o cumprimento das disposições regulamentares atualmente em vigor, bem como todas as determinações da entidade distribuidora local.

12. Omissões

Omitiu-se, nesta Memória Descritiva e Justificativa, tudo o que possa depender da “harmonia decorativa”, e da disposição dos equipamentos elétricos a instalar futuramente. Porém, nunca isto deverá permitir a alteração da "estrutura elétrica" proposta, nem dimensionamento das respetivas canalizações e proteções. Todos os materiais e aparelhagem a instalar deverão estar normalizados e em bom estado de conservação, não apresentando defeitos mecânicos e/ou elétricos, devendo para o efeito apresentar a marca CE. O instalador deverá observar as "boas regras de arte" e seguir o disposto nas Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT) e exigências específicas da DGGE, CERTIEL e normas da EDP.

Todas as indicações a marcas e modelos apenas ilustram a qualidade mínima a prever, podendo ser substituídas por equivalentes.

Universidade do Algarve, 20 de novembro de 2013

O técnico responsável,

Nelson João Viegas Gago

CONDIÇÕES TÉCNICAS

PROJECTO ELECTROTÉCNICO CENTRAL FOTOVOLTAICA

Requerente: UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Morada: *Campus* de Gambelas, Montenegro - Faro

Faro, 20 de novembro de 2013.

ÍNDICE

Conteúdo

1. Equipamentos	2
1.1. Módulo Solar	2
1.2. Inversor	3
1.3. Analisador de energia	4
1.4. Controlador lógico programável	4
2. Dimensionamento de condutores a instalar	5
2.1. Cabos DC	5
2.2. Cabos AC	5
2.3. Disjuntores	5
3. Índice de Peças Desenhadas	6

CONDIÇÕES TÉCNICAS

1. Equipamentos

A Central Fotovoltaica será constituída por 341 módulos fotovoltaicos, sete inversores, um analisador de rede e um controlador lógico programável em permanente comunicação com o inversor baixa tensão.

1.1. Módulo Solar

Os módulos solares serão policristalinos com uma potência unitária mínima de 250W, instalados a uma inclinação de 30°, orientação de -15° e com as seguintes características:

- Tensão de Funcionamento ótima (V_{mp}): 30,5V;
- Corrente de funcionamento ótima (I_{mp}): 8,27A;
- Tensão em circuito aberto (V_{oc}): 37,6V;
- Corrente de curto-circuito (I_{sc}): 8,81A;
- Potência máxima (P_{max}) em condições de teste padrão (STC): 245W;
- Temperatura de funcionamento do módulo: -40°C a +85°C;
- Tensão máxima do sistema: 1000 V CC (IEC)/600 V CC (UL);
- Tolerância de potência: 5W.

Os suportes de fixação dos painéis consiste em tubos e perfilados de aço galvanizado cujo dimensionamento resultará numa estrutura leve, apresentando no entanto um elevado grau de robustez e cumprindo com os todos os requisitos de qualidade e segurança.

1.2. Inversor

Os inversores serão trifásicos com uma potência mínima de 10,1kVA com as seguintes características:

- Entrada:

- Número de entradas CC / Número de seguidores PMP: 3/3;
- Potência recomendada CC: 10,6kVA a 11,1kVA;
- Tensão máxima de entrada (circuito aberto): 950V;
- Tensão mínima de entrada: 950V;
- Corrente máxima de entrada: 12,5A/25A;

- Saída:

- Tensão de rede: 3/N/PE, AC, 230/400 V;
- Corrente máxima de saída CA: 14,5A;
- Potência nominal CA ($\cos\phi = 1$): 10 kW;
- Potência aparente máxima ($\cos\phi$, adj): 10 kVA;
- Rendimento (máximo): 96,2%;
- Rendimento (europeu): 95,6%;
- Frequência nominal: 50Hz;
- Consumo noturno: Inversor < 1W, Placa de comunicação < 1,7W;
- Classe de proteção: I/ IP55;
- Amplitude de configuração do fator de potência $\cos\phi$: 0,9 cap. a 0,9 ind;
- Proteção contra inversão de polaridade: Díodos de curto-circuito no lado CC
- Proteção pessoal: Disjuntor de corrente de defeito sensível a todos os tipos de correntes e controlo de defeito à terra;
- Temperatura ambiente: -20° a 60°C;
- Refrigeração: Ventilador com regulação;
- Interfaces de comunicação: Ethernet RJ45 (2x na placa de comunicação 2, switch integrado incluído), RS485, S0, 4x entradas analógicas;
- Tipo de monitorização da rede: Conforme as normas nacionais;
- Tecnologia de conexão do lado de entrada: MC4;
- Tecnologia de conexão do lado de saída: Régua de terminais com equilibrador;
- Dispositivo de desconexão: Interruptor de desacoplamento eletrónico integrado.

1.3. Analisador de energia

O analisador de energia trifásico terá as seguintes características:

- Medição direta (até 93A);
- Medição de energia ativa;
- Medição de energia nos quatro quadrantes;
- Medições elétricas (I, V, P...);
- Apresentação de medição;
- Entrada digital;
- Saída digital programável;
- Comunicação Modbus RS 485;
- MID (certificação de metrologia legal).

1.4. Controlador lógico programável

O controlador lógico programável terá as seguintes características:

- Capacidade: módulos digitais de 16 a 64 E/S; módulo misto 16 E + 16 S;
- Capacidade e flexibilidade: Processadores com duas portas de comunicação integradas para CANopen, Ethernet ou Modbus;
- Funções: Contagem rápida multifunções, módulos analógicos de baixo nível e multigama;
- Duas portas de comunicação Ethernet no autómato;
- Serviços Ethernet: Mensagens Modbus em TCP/IP, Global data, I/O scanner;
- Acesso à distância através de Ethernet: Servidor WEB integrado no autómato;
- páginas web personalizadas

2. Dimensionamento de condutores a instalar

2.1. Cabos DC

Os condutores de DC a utilizar serão do tipo cabo solar de 6mm^2 com a referência ZZ-F(AS) 0,6/1 1x6PT. Verificando-se as seguintes condições e queda de tensão:

$$I_z \geq 1,25 \times I_{CC} \text{ (CTS)}$$

$$55 \geq 1,25 \times 8,52$$

$$55 \geq 10,65 \text{ A}$$

$$\Delta U(\%) = \frac{2 \times L_{\text{fileira}} \times I_{\text{fileira}}}{S_{\text{fileira}} \times U_{MPP} \times \sigma} \times 100 = \frac{2 \times 20 \times 8,04}{6 \times 30,15 \times 9 \times 56} \times 100 = 0,37\%$$

2.2. Cabos AC

O cabos de AC a utilizar terão a referência H1XV-R3x50+2G25 protegido por tubo VD63. Verificando-se as seguintes condições e queda de tensão:

$$IB (101) < IN (125) < IZ (179)$$

$$I2 (137) < 1,45 \times IZ (260)$$

$$\Delta U(\%) = \frac{100}{U_0} \times b \times \left(\rho_1 \times \frac{L}{S} \times \cos \varphi + \lambda \times L \times \sin \varphi \right) \times IB = 1,32\%$$

2.3. Disjuntores

Os disjuntores a instalar deverão ter o calibre indicado nas peças desenhadas e um poder de corte mínimo de 10kA.

3. Índice de Peças Desenhadas

Desenho	EL-01	-	Plantas de localização 1/25.000
Desenho	EL-02	-	Plantas de localização 1/2.000
Desenho	EL-03	-	Planta de implantação de painéis
Desenho	EL-04		Esquemas de quadros elétricos (1/2)
Desenho	EL-04		Esquemas de quadros elétricos (2/2)

QUADROS DE DIMENSIONAMENTO DAS CANALIZAÇÕES

TROÇO	Pot. (kVA)	Tipo (cabo)	S (mm ²)	Comp (m)	I _B (A)	<	I _N (A)	<	I _Z (A)	I _Z (A)	<	1,45*I _Z (A)	q.d.t. (parcial) (%)	TIPO DE PROTECÇÃO	TIPO DE CANALIZAÇÃO	TIPO DE CABO
Entrada (Q.AC)	70,00															
Q.AC - Q.G.B.T.	70,00	XV-R	50	50	101,4	<	125	<	179	137	<	260	0,75	DISJUNTOR	PVC Ø 63	H1XV-R3x50+2G25

Notas:

- 1) Neste projecto foi considerado canalizações embebidas do tipo C, com a temperatura ambiente de 30° e 20° de temperatura do solo.
- 2) As tabelas utilizadas para o método C foram as 52-C2, 52-C3 e 52-C4 das RTIEBT.



UAlg

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

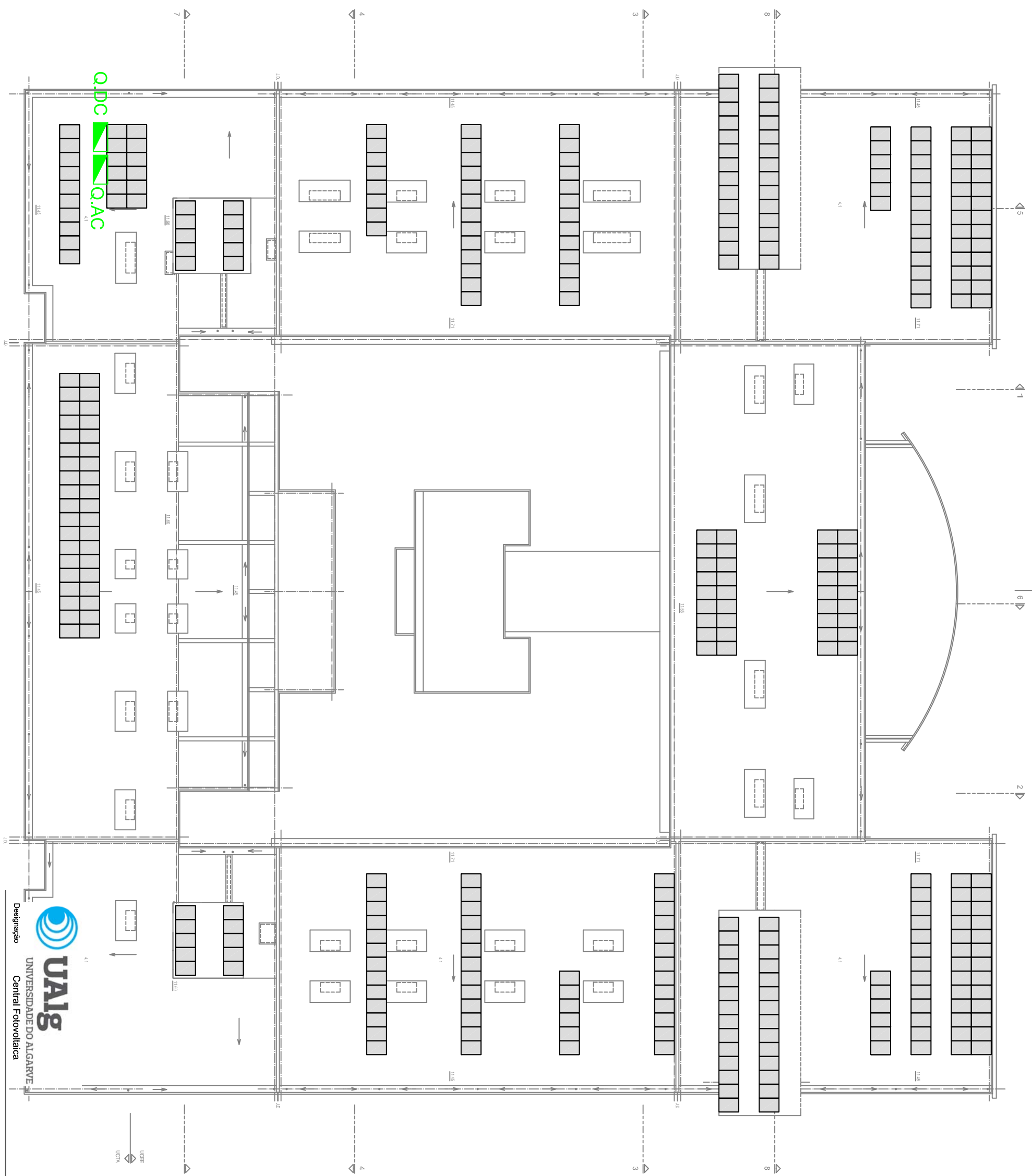
Designação	Central Fotovoltaica	Projectou	Nelson Gago
Localização	Edifício 8/9 - Campus de Gambelas	Processo nº	
Peça desenhada	Planta de implantação	Data	novembro 2013
Especialidade	Infraestruturas Elétricas	Escala	1/25.000
		Des. nº	EL-01



UAlg

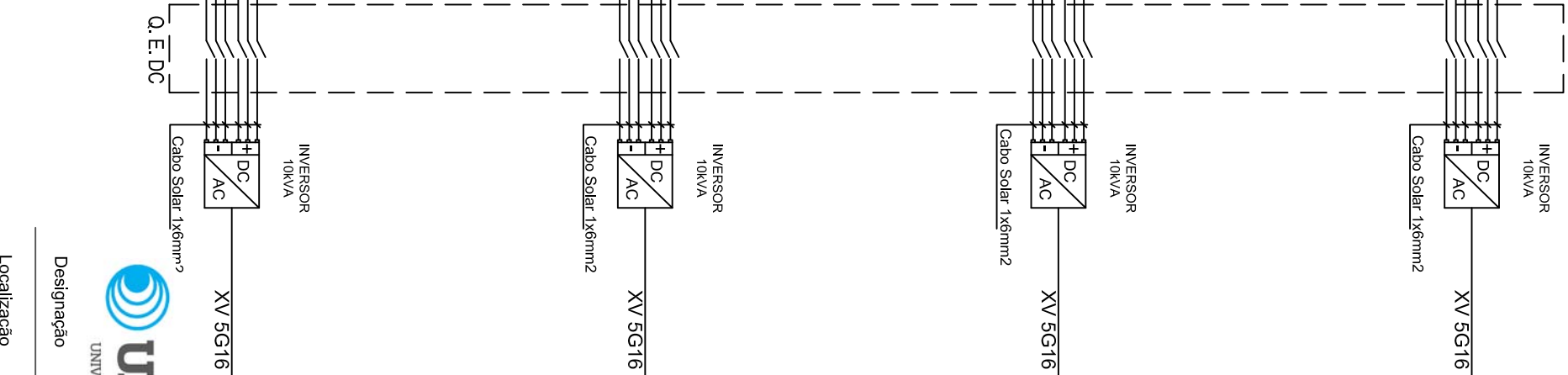
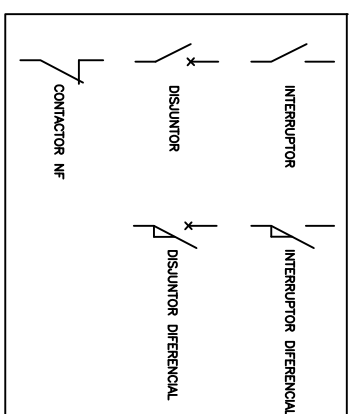
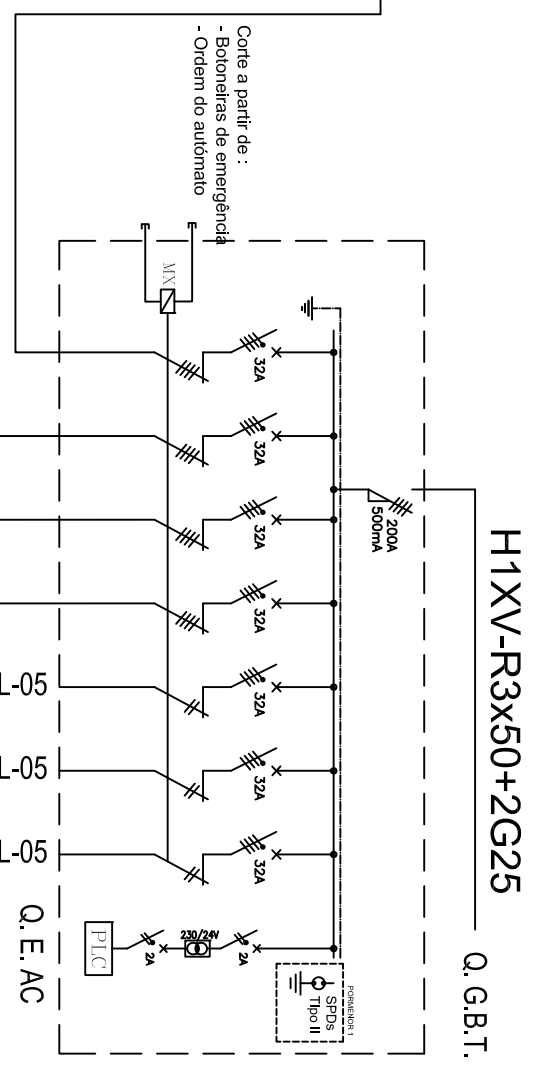
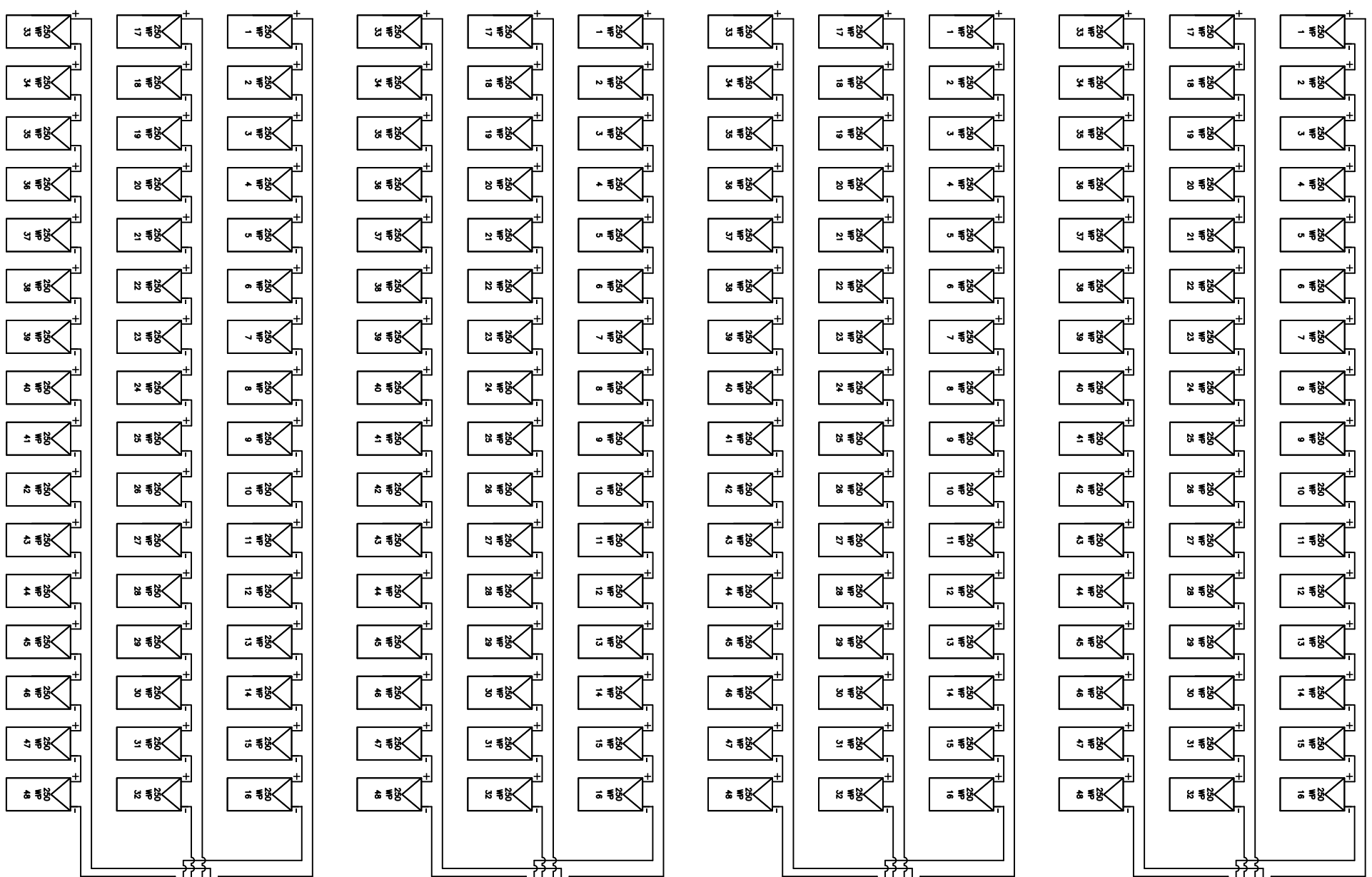
UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Designação	Central Fotovoltaica	Projectou	Nelson Gago
Localização	Edifício 8/9 - Campus de Gambelas	Processo nº	
Peça desenhada	Planta de Implantação	Data	novembro 2013
Especialidade	Infraestruturas Eléctricas	Escala	1/2.000
		Des. nº	EL02



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
Central Fotovoltaica

Localização	Edifício 8/9 - Campus de Gambelas	Projectou	Nelson Gago
Peça desenhada	Planta de Implantação de painéis	Data	Novembro 2013
Especialidade	Infraestruturas Eléctricas	Processo nº	
		Escala	S/E
		Des. nº	EL-03



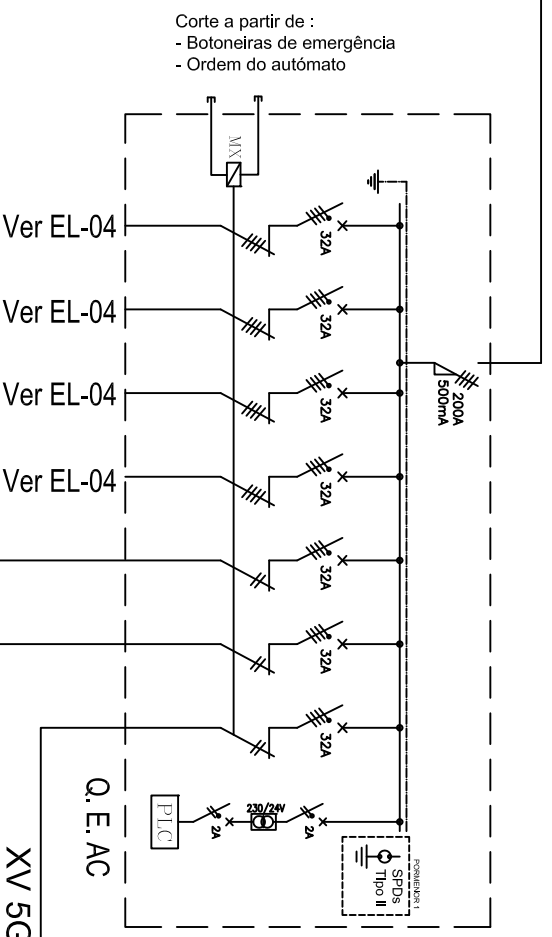
Designação: Central Fotovoltaica
 Localização: Edifício 8/9 - Campus de Gambelas
 Projectou: Nelson Gago
 Processo nº:
 Data: Novembro 2013

Peça desenhada: Esquema de Quadros Eléctricos (1/2)

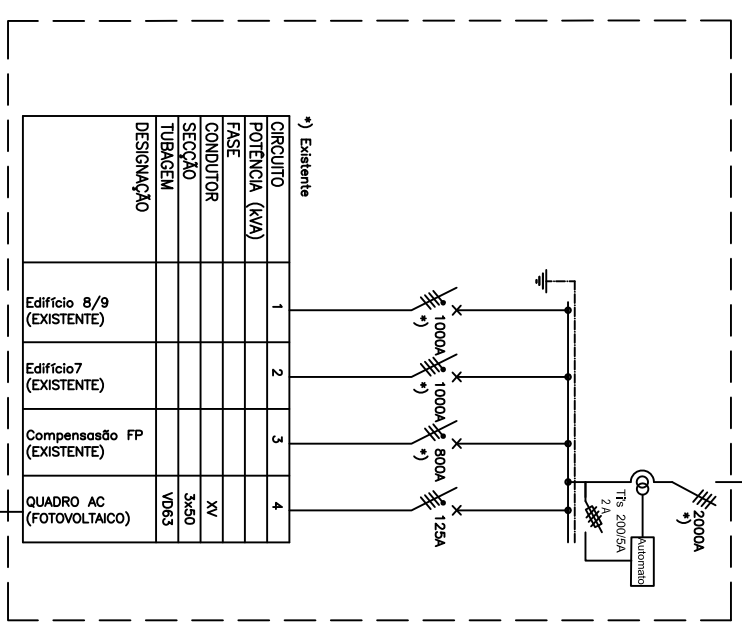
Especialidade: Infraestruturas Eléctricas

Escala: S/E

Des. nº: **EL-04**

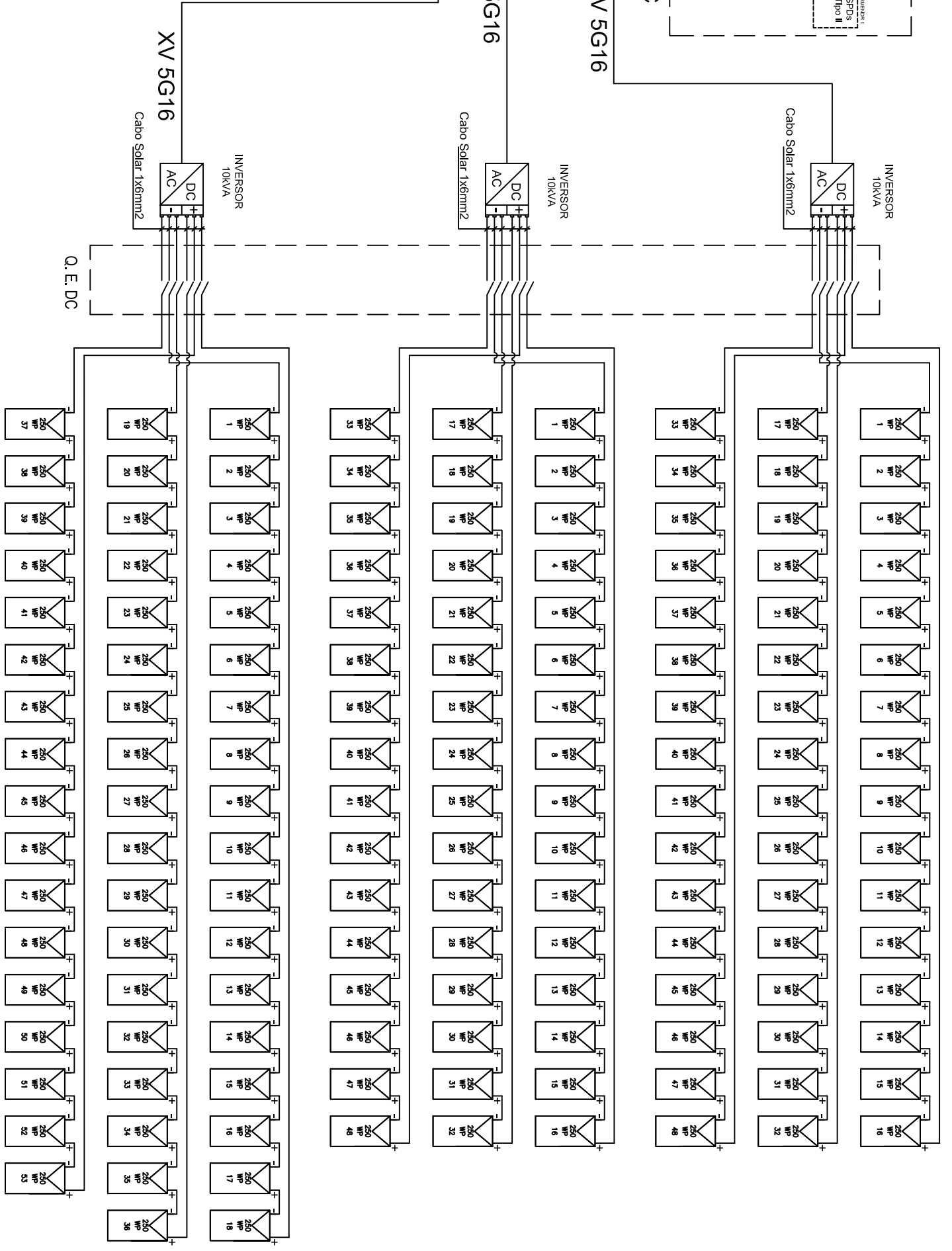


Corte a partir de :
 - Botoneiras de emergência
 - Ordem do automático



*) Existente	
CIRCUITO	1
POTENCIA (KVA)	2
FASE	3
CONDUTOR	4
SECÇÃO	XV
TUBAGEM	3x50
DESIGNAÇÃO	VD63

Q.G.B.T



H1XV-R3X50+2G25



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Projectou Nelson Gago

Designação Central Fotovoltaica

Processo nº

Localização Edifício 8/9 - Campus de Gambelas

Data Novembro 2013

Peça desenhada Esquema de Quadros Eléctricos (2/2)

Escala S/E

Especialidade Infraestruturas Eléctricas

Des. nº

EL-05

Anexo E



Universidade de Coimbra

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Departamento de Engenharia Electrotécnica e
de Computadores

**Potenciais de Poupança Energética na Iluminação Exterior
nos Campi da Universidade do Algarve**

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Planeamento Energético e Desenvolvimento Sustentável

Docente: Prof. Doutor Aníbal Traça de Almeida

Discente: Nelson João Viegas Gago

Maior/2006



Lista de Abreviaturas

BT – Baixa Tensão;

CAE – Contrato de Aquisição de Energia;

CO₂ – Dióxido de Carbono;

DGGE – Direcção Geral de Geologia e Energia;

EDP – Energias de Portugal;

ERSE – Entidade Reguladora do Sector Eléctrico;

FP – Factor de Potência;

IRC – Índice de Restituição de cor;

MAPE – Medida de Apoio ao Aproveitamento e Racionalização de Consumos;

MIBEL – Mercado Ibérico de Electricidade;

MT – Média Tensão;

PT – Posto de Transformação;

RESP – Rede Eléctrica de Serviço Público;

SEN – Sistema Eléctrico Nacional;

SEP – Sistema Eléctrico Público;

SIURE – Sistema Incentivo à Utilização Racional de Energia;

Tep – Tonelada Equivalente de Petróleo;

UALG – Universidade do Algarve.



Resumo

Este relatório tem a finalidade de dar a conhecer o trabalho desenvolvido para a disciplina de Planeamento Energético e Desenvolvimento Sustentável, do curso de Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

O trabalho desenvolvido incidiu sobre a utilização de reguladores de fluxo luminoso na iluminação exterior de dois *Campi* da Universidade do Algarve, o *Campus* de Gambelas e o *Campus* da Penha. Além da descrição das instalações neste trabalho aborda-se a situação actual, sem reguladores de fluxo, amortização e candidatura ao programa de financiamento.



Índice Geral

1. Introdução	1
2. Caracterização da Universidade do Algarve [1]	2
2.1. <i>Campus</i> de Gambelas	2
2.2. <i>Campus</i> da Penha	3
2.3. <i>Campus</i> da Saúde	3
2.4. <i>Campus</i> de Portimão	4
2.5. Centros de Investigação	4
2.6. Serviços	6
3. Constituição Geral da Iluminação Exterior	7
3.1. Funcionamento	7
3.2. Armaduras	7
3.2.1. Armaduras Convencionais	7
3.2.2. Armaduras de Alta Eficiência	8
3.3. Balastros	8
3.3.1. Balastros Electrónicos	9
3.3.2. Balastros Convencionais (magnéticos)	9
3.4. Lâmpadas de Descarga	10
3.4.1. Lâmpadas de Vapor de Sódio [2]	10
4. Sistemas de Controlo de Iluminação	14
4.1. Interruptor Horário	14
4.2. Interruptor Crepuscular	15
4.3. Reguladores de Fluxo Luminoso	16
4.3.1. Funcionamento	16
4.3.2. Vantagens	17
5. Situação Actual das Instalações Eléctricas e de Iluminação Exterior	19
5.1. <i>Campus</i> da Penha	21
5.1.1. Custos Energéticos e de Manutenção	21
5.2. <i>Campus</i> de Gambelas	22
5.2.1. Custos Energéticos e de Manutenção	22
5.3. Total de Custos	23
6. Oportunidades de Racionalização de Consumos, ORC's	24
6.1. Reguladores de Fluxo Luminoso	24
6.1.1. Dimensionamento	24
6.1.2. Redução de Consumos e Manutenção	25
6.1.3. Análise Económica	27
6.1.4. Influência nos Índice de Qualidade de Energia	28
6.2. Instalação de Balastros Electrónicos	29
6.2.1. Redução de Consumos e Manutenção	29
6.2.2. Análise Económica	31
6.2.3. Influência nos Índice de Qualidade de Energia	32
6.3. Resumo das Oportunidades de Racionalização de Consumos	32
Conclusões	33
Referências	33



Índice de Figuras

Figura 1 – Planta do <i>Campus</i> de Gambelas.	2
Figura 2 – Planta do <i>Campus</i> da Penha.	3
Figura 3 – Armadura de Alta Eficiência.	8
Figura 4 – Balastro de 400 W utilizado no <i>Campus</i> de Gambelas.	9
Figura 5 – Lâmpada de Vapor de Sódio a Alta Pressão de 1000 W, utilizada no <i>Campus</i> da Penha.	12
Figura 6 – Diminuição do fluxo luminoso em função do n.º de horas de funcionamento [3]	12
Figura 7 – Variação do fluxo em função da tensão aos terminais da lâmpada [3]	13
Figura 8 – Espectro luminotécnico de uma lâmpada de vapor de sódio [3].	13
Figura 9 – Interruptor Horário Diário.	14
Figura 10 – Interruptor Crepuscular.	15
Figura 11 – Reguladores de fluxo luminoso.	16
Figura 12 – Esquema eléctrico de funcionamento.	17
Figura 13 – Colunas de iluminação de 8 m em ambos os <i>Campi</i> .	19
Figura 14 – Colunas de iluminação de 24 m no <i>Campus</i> de Gambelas.	20
Figura 15 – Colunas de iluminação de 24 m no <i>Campus</i> da Penha.	20

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Cálculo da potência consumida e custos anuais de energia para o <i>Campus</i> da Penha	21
Tabela 2 – Cálculo da potência consumida e custos anuais de energia para o <i>Campus</i> de Gambelas	22
Tabela 3 – Custo total dispendido com a iluminação exterior em 2005	23
Tabela 4 – Dimensionamento dos reguladores de fluxo luminoso	25
Tabela 5 – Cálculo da economia anual total em energia	26
Tabela 6 – Cálculo da economia total anual em manutenção	27
Tabela 7 – Custo de fornecimento e montagem dos reguladores de fluxo luminoso	27
Tabela 8 – Cálculo da amortização parcial e total dos reguladores	28
Tabela 9 – Cálculo da potência consumida e custos anuais de energia com balastros magnéticos para os <i>Campi</i>	29
Tabela 10 – Cálculo da economia anual total em energia	29
Tabela 11 – Cálculo da economia anual total em manutenção	30
Tabela 12 – Cálculo das economias em energia e manutenção	31
Tabela 13 – Cálculo da economia e amortização anual total através da substituição de balastros	31



Índice de anexos

- Anexo 1 – Dados do fabricante de balastros magnéticos;
- Anexo 2 – Acção de manutenção na iluminação exterior efectuada no *Campus* da Penha em 2005;
- Anexo 3 – Acção de manutenção na iluminação exterior efectuada no *Campus* de Gambelas em 2005;
- Anexo 4 – Proposta para fornecimento e montagem de reguladores de fluxo luminoso;
- Anexo 5 – Proposta para fornecimento e montagem de balastros electrónicos.



1. Introdução

Com a elaboração deste trabalho pretende-se analisar a viabilidade da instalação de reguladores de fluxo luminoso. Aborda-se um caso de estudo, referente à iluminação exterior da Universidade do Algarve (UALG).

Todos os preços indicados ao longo deste trabalho têm o IVA incluído, à taxa legal em vigor, (5% para energia e 21% para outros serviços) salvo indicação em contrário.

A utilização de reguladores de fluxo luminoso torna-se necessária em instalações não abrangidas pela iluminação pública, visto que para esta existem diversos acordos/contratos entre as Câmaras Municipais e a EDP Distribuição.

O relatório tem a seguinte estrutura:

- **Capítulo 2** – Caracterização da Universidade do Algarve: neste capítulo descreve-se toda a estrutura de funcionamento da UALG (Faculdades, Escolas Superiores e Serviços);
- **Capítulo 3** – Constituição Geral da Iluminação Exterior: armaduras convencionais e de alta eficiência, Balastros magnéticos e electrónicos, lâmpadas de vapor de sódio a alta e baixa pressão e arrancadores apresentam-se características, aplicações e dados de funcionamento destes equipamentos;
- **Capítulo 4** – Sistemas de Controlo da Iluminação Exterior: interruptores horários, crepusculares e reguladores de fluxo luminoso; descreve-se o seu funcionamento e características;
- **Capítulo 5** – Situação Actual das Instalações Eléctricas de Iluminação Exterior, nos *Campi* da UALG;
- **Capítulo 6** – Oportunidades de racionalização de consumos, ORC's: neste capítulo encontram-se todos os cálculos efectuados para a amortização, investimento e formas de financiamento para reguladores de fluxo luminoso e balastros electrónicos.



2. Caracterização da Universidade do Algarve [1]

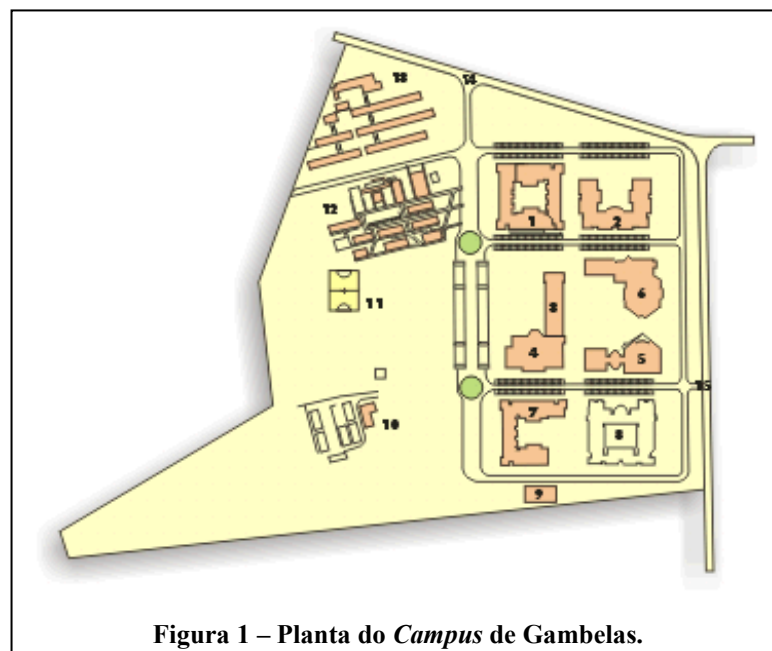
A UALG é composta por diversas Faculdades (ensino Universitário no *Campus* de Gambelas), por escolas superiores (ensino Politécnico nos *Campi* da Penha, Saúde e Pólo de Portimão) e Serviços inerentes ao bom funcionamento da instituição.

2.1. Campus de Gambelas

O *Campus* de Gambelas situa-se a seis quilómetros da cidade de Faro e a dois do Aeroporto Internacional de Faro. Neste *Campus* existem cinco faculdades:

- Faculdade de Engenharia de Recursos Naturais (FERN), www.ualg.pt/fern;
- Faculdade de Ciências do Mar e Ambiente (FCMA), www.ualg.pt/fcma;
- Faculdade de Economia (FEUALG), www.ualg.pt/feua;
- Faculdade de Ciências Humanas e Sociais (FCHS), www.ualg.pt/fchs;
- Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), www.ualg.pt/fct.

Este *Campus* tem uma área de 20 hectares e uma área bruta de construção de cerca de 65 000 m², Figura 1.





2.2. Campus da Penha

O *Campus* da Penha situa-se no centro da cidade de Faro. Neste *Campus* existem três Escolas Superiores:

- Escola Superior de Educação (ESE), www.ualg.pt/ese;
- Escola Superior de Tecnologia (EST), www.ualg.pt/est;
- Escola Superior de Gestão Hotelaria e Turismo (ESGHT), www.ualg.pt/esght.

Este *Campus* tem uma área aproximada de 14 hectares e uma área bruta de construção de cerca de 40 000 m², Figura 2.

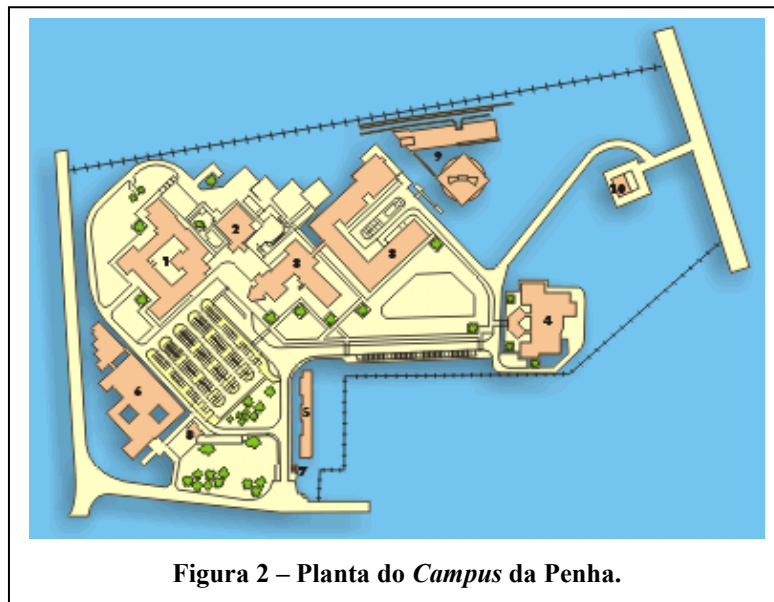


Figura 2 – Planta do *Campus* da Penha.

2.3. Campus da Saúde

O *Campus* da Saúde está situado numa das entradas da cidade de Faro. Surgiu com a necessidade de desenvolver as instalações da Escola Superior de Enfermagem de Faro, actualmente designada de Escola Superior de Saúde de Faro, e para acolher os novos cursos da Universidade do Algarve, na área das ciências da saúde.



2.4. Campus de Portimão

O *Campus* de Portimão, na cidade de Portimão, situa-se actualmente no largo da estação de caminhos-de-ferro. Surgiu numa altura de expansão do Ensino superior em Portugal e no âmbito de uma política de descentralização seguida pela Universidade do Algarve.

2.5. Centros de Investigação

A Universidade do Algarve está dotada de laboratórios de acompanhamento de aulas e investigação, a seguir encontra-se uma vasta lista de centros e laboratórios de investigação.

Faculdade de Engenharia de Recursos Naturais

- Centro de Desenvolvimento de Ciências e Técnicas de Produção Vegetal (CDCTPV).

Faculdade de Ciências do Mar e Ambiente

- Centro de Ciências do Mar do Algarve (CCMAR);
- Centro de Geo-Sistemas;
- Centro de investigação dos Ambientes Costeiros e Marinhos (CIACOMAR);
- Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA);
- Centro de Valorização de Recursos Minerais (CVRM).

Faculdade de Economia

- Centro de Estatística Aplicada e Previsão (CEAP);
- Centro de Estudos Económicos, Empresariais e Sociais (CEES);
- Centro de Investigação de Desenvolvimento e Economia Regional (CIDER).



Faculdade de Ciências Humanas e Sociais

- Centro de Cultura Árabe, Islâmica e Mediterrânea (CCAImed);
- Centro de Estudos Ataíde de Oliveira (CEAO);
- Centro de Estudos Linguísticos e Literários (CELL);
- Centro de Estudos e Património (CEP);
- Centro de Investigação Histórica e Arqueológica Estácio de Veiga (CIHAEV).
- Centro Universitário de Investigação em Educação (CUIE);
- Centro Universitário de Investigação em Psicologia (CUIP);
- Núcleo de Estudos de Representações Sociais Alberto Caeiro (NERSAC);
- Grupo de Neurociências Cognitivas (GNC).

Faculdade de Ciências e Tecnologia

- Centro de Biomedicina Molecular e Estrutural (CBME);
- Centro de Electrónica, Optoelectrónica e Telecomunicações (CEOT);
- Centro de Investigação em Química e Catálise (CIQC);
- Centro de Matemática e Aplicações (CEMAT);
- Centro de Sistemas Inteligentes (CSI);
- Centro Multidisciplinar de Astrofísica (CENTRA);
- Centro Multidisciplinar de Química do Ambiente (CMQA);
- Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP pólo Algarve);
- Laboratório de Visão Computacional – Pólo Algarve (Integrado no Instituto de Sistemas e Robótica) ISR/IST (VISLAB);
- Signal Processing Laboratory Pólo Algarve (Integrado no Instituto de Sistemas e Robótica) ISR/IST (SIPLAB).



Escola Superior de Educação

- Centro de Investigação em Ciências da Comunicação.

Escola Superior de Gestão Hotelaria e Turismo

- Centro de Estudos da Escola Superior de Gestão Hotelaria e Turismo.

2.6. Serviços

Os Serviços da Universidade do Algarve têm como objectivo principal apoiar a Universidade, do ponto de vista técnico e administrativo, contribuindo para que apresente elevados padrões de funcionalidade, acessibilidade, eficiência e rigor.

- Serviços Técnicos;
- Serviços Administrativos e Financeiros;
- Serviços Recursos Humanos;
- Serviços Documentação;
- Serviços Informática;
- Serviços de Estudos e Planeamento;
- Serviços de Relações Externas;
- Serviços de Acção Social;
- Assessoria Jurídica.



3. Constituição Geral da Iluminação Exterior

A iluminação exterior é constituída por diversos componentes tais como: armaduras, balastos, lâmpadas, arrancadores e condensadores para compensação do baixo factor de potência proporcionado pelos balastos magnéticos.

3.1. Funcionamento

O funcionamento eléctrico de uma lâmpada de vapor de sódio é similar a uma vulgar lâmpada de descarga baseando-se no seguinte processo: no instante inicial o arrancador, está curto-circuitado. Assim o valor da corrente aumenta e a bobina (balastro), Figura 4, fica com energia armazenada. Quando o arrancador abre o circuito, a tensão aos terminais da lâmpada será a soma da tensão de alimentação com a tensão induzida pelo balastro (descarga da bobina), sendo esta sobretensão responsável pelo “arranque” da lâmpada.

3.2. Armaduras

As armaduras, também conhecidas por luminárias, podem ser convencionais ou de alta eficiência. Estas são responsáveis pelo grau de protecção de forma aos seus constituintes eléctricos (lâmpada, balastro e condensador) funcionarem nas devidas condições.

3.2.1. Armaduras Convencionais

As armaduras convencionais, dado o seu preço reduzido, são as mais utilizadas na iluminação exterior.



3.2.2. *Armaduras de Alta Eficiência*

Estas armaduras de alta pressão, Figura 3, destinadas à iluminação pública, utilizam modernas tecnologias capazes de proporcionar uma eficiência superior a 80 % e um grau de protecção IP-66. São muito mais leves, pois são fabricadas em alumínio injectado a alta pressão facilitando assim a instalação e manutenção.



Figura 3 – Armadura de Alta Eficiência.

3.3. Balastros

Todas as lâmpadas de descarga requerem o uso de balastros para efectuar o controlo da corrente da lâmpada. O balastro tem por missão fornecer uma tensão inicial elevada, provocando uma descarga no gás e limitar a corrente da lâmpada para a sustentar.

Os balastros são de dois tipos: balastros convencionais ou magnéticos e balastros electrónicos, que convertem os 50 Hz da tensão da rede em tensão alternada com valores de frequência entre os 25 kHz a 40 kHz, substituindo os dispositivos convencionais como o arrancador, o balastro magnético e o condensador de correcção do factor de potência, utilizados nos sistemas convencionais de iluminação por lâmpadas de descarga.



3.3.1. *Balastros Electrónicos*

A utilização de balastros electrónicos permite obter diversas vantagens tais como:

- Redução do consumo de energia;
- Aumento do ciclo de vida;
- Aumento do factor de potência para a unidade;
- Diminuição da potência instalada.

Estes balastros como dispositivos de electrónica de potência conseguem um rendimento mínimo de 97 %. Para lâmpadas de vapor de sódio a alta pressão os balastros electrónicos disponíveis pelos fabricantes têm uma potência máxima de 150 W.

3.3.2. *Balastros Convencionais (magnéticos)*

Os balastros convencionais, Figura 4, estão disponíveis para todas as gamas de potências. Têm como principal desvantagem o facto de diminuírem o factor de potência tendo este de ser compensado por condensador adequado, aumentando assim o custo e o risco de falha.



Figura 4 – Balastro utilizado para lâmpadas de 400 W no Campus de Gambelas.



3.4. Lâmpadas de Descarga

As lâmpadas são basicamente constituídas principalmente por ampola, casquilho e tubo de descarga. O interface da ligação eléctrica do exterior ao tubo de descarga é feito pelo casquilho, estando este no interior da ampola.

Existem dois tipos de lâmpadas de vapor de sódio, as de baixa e alta pressão. Ambos os tipos são mais utilizados em zonas exteriores, vias rodoviárias, jardins e parques, embora sejam também aplicadas em outros domínios da luminotecnia pela sua eficácia e durabilidade, quando comparado com outros tipos de lâmpada. Estas lâmpadas têm vindo a ocupar o espaço das lâmpadas de mercúrio (basta dizer que com uma de lâmpada de sódio de 250 W se consegue uma quantidade de luz superior à de uma de 400 W de mercúrio e para além disso a luz é mais confortável para a vista humana).

3.4.1. Lâmpadas de Vapor de Sódio [2]

Nas lâmpadas de vapor de sódio os tubos de descarga são constituídos por cristais de óxido de alumínio bem formados, com cerca de 30 μm de diâmetro de forma a constituírem um tubo estanque. É no interior deste que se encontram os elementos químicos da lâmpada (principalmente vapor de sódio).

A ampola tem uma espessura de cerca de 0,75 mm de modo a minimizar os esforços térmicos no aquecimento e arrefecimento do tubo de descarga evitando assim a sua fractura.

O sódio, sendo utilizado em forma de gás, é um metal de utilização muito conveniente nas lâmpadas de descarga porque a sua radiação concentra-se em comprimentos de onda, aos quais correspondem níveis de iluminação elevados e necessitam de baixa energia de excitação.



Nos tubos de descarga, além do vapor sódio introduz-se xénon a baixa pressão (gás de arranque). Quando a lâmpada arranca, o xénon produz uma luminescência branco-azulada (monocromática com o comprimento de onda na ordem dos 589 nm) no tubo de descarga. O vapor de sódio a baixa pressão (inicialmente) é vaporizado e à medida que se dá o aquecimento, a pressão aumenta e o espectro alastra abrangendo o vermelho, laranja e verde.

Com o aumento de pressão e conseqüentemente alargamento da banda de emissão de luz a eficácia da lâmpada poderá baixar por acção da crescente energia dissipada nas zonas azul e vermelha do espectro luminotécnico. Para melhorar a distribuição espectral é introduzido no tubo de descarga uma pequena quantidade de mercúrio.

Dado que a radiação ultravioleta produzida na descarga é muito pequena, não interessa recobrir a parede interior da ampola com substâncias fluorescentes, sendo esta recoberta por uma substância difusora que reduz a luminância do tubo de descarga em cerca de 30 % [3].

Lâmpadas de Vapor de Sódio a Baixa Pressão [2]

As lâmpadas de vapor de sódio a baixa pressão não têm uma utilização tão vasta como as de alta pressão ou de vapor de mercúrio porque a apresentam diversas características, tais como:

- Potência crescente, em que a potência absorvida aumenta com o tempo de funcionamento, assim o sistema de alimentação deverá prever no final da vida útil da lâmpada um aumento de 40 % na potência;
- A alimentação é efectuada por intermédio de autotransformador de dispersão (diminuição do factor de potência), cuja tensão secundária em circuito aberto é suficiente para arrancar a lâmpada;
- Radiação emitida é praticamente monocromática, a restituição cromática é quase inexistente.

Lâmpadas de Vapor de Sódio a Alta Pressão

A utilização destas lâmpadas, Figura 5, tem como argumento fundamental a sua longa vida útil, elevada intensidade luminosa e baixo desgaste. A Figura 6 ilustra a diminuição do fluxo luminoso em função do n.º de horas de funcionamento.

O fluxo luminoso é directamente proporcional à tensão aplicada aos seus terminais conforme se visualiza na Figura 7.



Figura 5 – Lâmpada de vapor de sódio a alta pressão de 1000 W, utilizada no *Campus* da Penha.

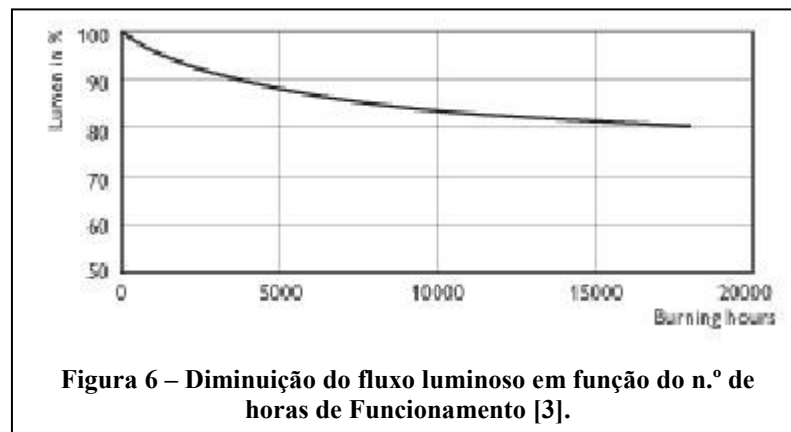


Figura 6 – Diminuição do fluxo luminoso em função do n.º de horas de Funcionamento [3].

As suas principais desvantagens são um fraco índice de restituição de cor (IRC) e a tonalidade amarela Figura 8.

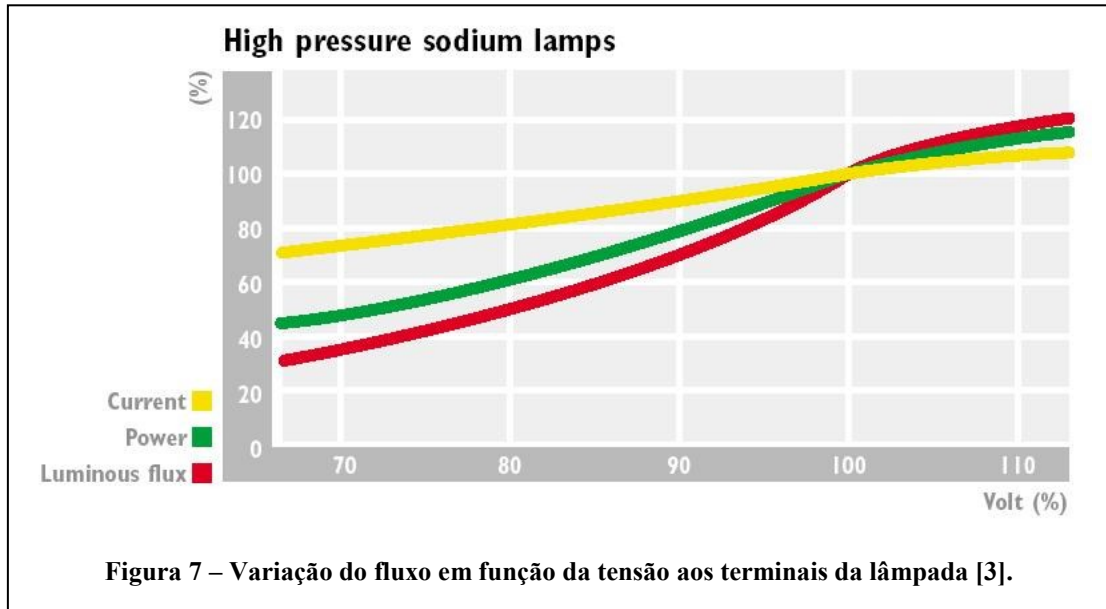


Figura 7 – Variação do fluxo em função da tensão aos terminais da lâmpada [3].

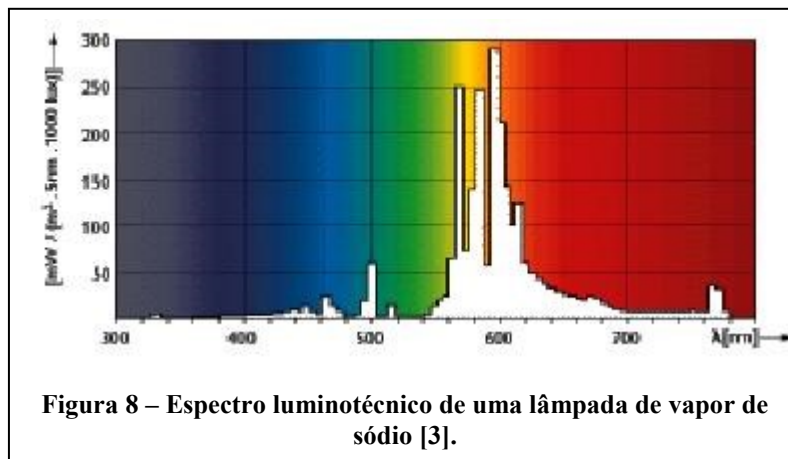


Figura 8 – Espectro luminotécnico de uma lâmpada de vapor de sódio [3].



4. Sistemas de Controlo de Iluminação

Os sistemas de controlo de iluminação são dispositivos que por meio de determinada instrução comandam ou alteram o funcionamento da iluminação exterior. Na generalidade dos casos estes dispositivos comandam contactores que por sua vez accionam as cargas eléctricas (iluminação exterior).

4.1. Interruptor Horário

O interruptor horário, Figura 9, permite comandar a iluminação exterior mediante um diagrama temporal de funcionamento predefinido. De seguida apresentam-se diversas vantagens e desvantagens.



Figura 9 – Interruptor Horário Diário.

Vantagens:

- Simplicidade de Funcionamento;
- Custo de implementação reduzido.

Desvantagens:

- Não acompanha a duração do ciclo de funcionamento em função da luminosidade existente;
- Obriga a manutenção ao ajuste horário quando se inicia os ciclos de Verão e Inverno;
- Deverá ter bateria de reserva para a eventual falha de energia.



4.2. Interruptor Crepuscular

O interruptor crepuscular, Figura 10, permite comandar a iluminação exterior mediante o nível de iluminação existente no exterior. De seguida apresentam-se diversas vantagens e desvantagens.



Figura 10 – Interruptor Crepuscular.

Vantagens:

- Simplicidade de Funcionamento;
- Custo de implementação reduzido;
- Acompanha a duração do ciclo de funcionamento em função da luminosidade existente.

Desvantagens:

- Não faz controlo de luminosidade;
- Dado existirem contactos eléctricos existe uma maior probabilidade de falha.

Este é o método mais utilizado na rede de iluminação pública, estando presente nos postos de transformação da rede pública de distribuição. Actualmente é utilizado nos *Campi* da Universidade do Algarve.



4.3. Reguladores de Fluxo Luminoso

O regulador de fluxo luminoso, Figura 11, é um equipamento que comanda o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas através da variação da tensão de alimentação às referidas lâmpadas, satisfazendo duas condições principais: a segurança e a redução de custos.



Figura 11 – Reguladores de Fluxo Luminoso.

4.3.1. Funcionamento

Com o funcionamento de um regulador de fluxo luminoso diminuir-se-á a tensão aos terminais das lâmpadas instaladas para aproximadamente 185 V. Com uma redução de 20 % na tensão o nível de iluminação irá reduzir-se proporcionalmente. Esta redução não afecta de forma significativa o nível de iluminação perceptível nos arruamentos, mantendo-o dentro dos valores recomendados¹.

O regulador inicia o seu ciclo de funcionamento através de interruptor horário ou através de célula crepuscular que comandará o arranque e paragem de equipamento.

¹ O Valor mínimo recomendado para o nível de iluminação média é de 25 Lux, segundo o Artigo n.º 448 do Decreto – Lei n.º 740/74 de 26 de Dezembro [4].

Usualmente os principais componentes de um regulador de fluxo são três autotransformadores, comandados através de servomotores. Conforme se ilustra na Figura 12, consoante a necessidade de aumentar ou diminuir a tensão de saída a unidade de controlo acciona os motores, variando assim relação de transformação e consequentemente a tensão no enrolamento primário dos autotransformadores.

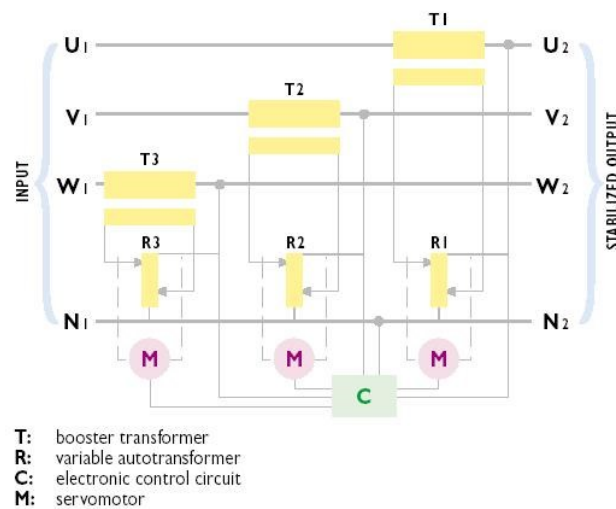


Figura 12 – Esquema Eléctrico de Funcionamento [3].

4.3.2. Vantagens

A utilização de um regulador típico permite-nos obter as seguintes vantagens:

- **Máxima Eficiência** – devido às baixas perdas de funcionamento e operação consegue-se um elevado rendimento, cerca de 98 %, sendo este um valor típico para um qualquer conversor de electrónica de potência;
- **Compensação de Variações na Rede** – permite compensar variações na tensão de alimentação ao regulador, mantendo a tensão de saída inalterável. Estas compensações são executadas a velocidade elevada, cerca de 40 ms/V;



- **Baixo Teor Harmónico** – a distorção harmónica total da corrente (THD_i) produzida por um regulador situa-se na ordem de 0,2 %;
- **Baixa Sensibilidade a Variações na Carga** – para qualquer regime de carga as características mantêm-se inalteradas;
- **Baixa Sensibilidade ao factor de Potência da Carga** – sempre que a corrente de saída permaneça dentro dos limites de funcionamento do equipamento, este funciona com qualquer factor de potência da carga;
- **Compatibilidade entre Lâmpadas** – desde que as lâmpadas sejam do mesmo tipo (vapor de sódio a baixa ou alta pressão);
- **Ausência de Contactos Móveis** – apenas um transformador em série com a linha de alimentação às lâmpadas proporcionando assim um grande ciclo de vida;
- **Poluição Luminosa** – ao permitir controlar o nível de iluminação numa instalação de iluminação exterior, permite diminuir esta poluição em zonas residenciais;
- **Segurança, Economia e Qualidade** – concilia estes três itens na iluminação exterior, tendo como principais aplicações: aeroportos, estações ferroviárias, portos marítimos, estádios, subestações, zonas industriais, vias rodoviárias, parques de estacionamento, entre outros;
- **Redução de Custos** – ao aumentar o ciclo de vida das lâmpadas e diminuir os custos de operação consegue-se um rápido retorno do investimento.



5. Situação Actual das Instalações Eléctricas e de Iluminação Exterior

Neste trabalho foram considerados apenas os *Campi* de Gambelas e Penha. Ambos os *Campi* são alimentados em média tensão (MT). O *Campus* de Gambelas tem uma potência instalada de 3630 kVA, dividida em 4 PT's. O *Campus* da Penha possui uma potência instalada de 1260 kVA num único PT, de onde provém toda a alimentação da iluminação exterior. A alimentação da iluminação exterior nas Gambelas é proveniente de 2 PT's.

Em ambos os *Campi* a iluminação exterior é constituída unicamente por lâmpadas de descarga de vapor de sódio a alta pressão com três gamas de potência de 150 W (em colunas de 8 m, Figura 13), 400 W (em colunas de 24 m, *Campus* de Gambelas, Figura 14) e 1000 W (em colunas de 24 m, *Campus* da Penha, Figura 15). A iluminação exterior tem um funcionamento contínuo médio anual de 11 horas diárias (das 20H00 às 06H00, sendo 5,5 horas em cheias e 5,5 horas em vazio normal).



Figura 13 – Colunas de Iluminação de 8 m em ambos os *Campi*.





A UALG adquire energia eléctrica através da rede eléctrica de serviço público (RESP²), embora seja cliente não vinculado. Considera-se assim, para cálculos efectuados para o consumo de energia, o tarifário de venda de energia eléctrica a clientes finais [5] da EDP Distribuição para Média Tensão.

5.1. Campus da Penha

Neste *Campus* a iluminação exterior é obtida através de 84 lâmpadas de 150 W e 20 lâmpadas de 1000 W, separadas em dois ramais distintos, resultando numa potência de 40,46 kVA, conforme se indica na Tabela 1. O valor das perdas resistivas nos balastro (p_{balastro}) foram obtidas através de dados fornecidos pelo fabricante (Anexo 1) e as perdas na linha (p_{linha}) constituem uma estimativa para a pior situação de projecto. Todas as armaduras possuem compensação do factor de potência.

Tabela 1 – Cálculo da potência consumida e custos anuais de energia para o *Campus* da Penha.

	<i>Campus</i>	Tipo de Lâmpada	Quant.	P. Unit. [W]	FP	p_{balastro} [%]	p_{linha} [%]	P [kW]	S [kVA]	Custo Anual [€]
1	Penha	V. Sódio	84	150	0,92	13	5	14,96	16,26	3 365,54
2	Penha	V. Sódio	20	1000	0,92	6	5	22,26	24,20	5 011,19
TOTAL								37,21	40,46	8 376,73

5.1.1. Custos Energéticos e de Manutenção

A iluminação exterior conduz actualmente a um custo médio anual de energia no valor de 8 376,73€, conforme apresentado na Tabela 1, este valor é obtido considerando a totalidade da iluminação em funcionamento e através da aplicação do tarifário da EDP Distribuição no período II, longas utilizações e ciclo diário [5].

² O decreto-lei n.º 29/2006, estabelece as novas bases gerais do organização e funcionamento do Sistema Eléctrico Nacional (SEN), passando o Serviço Eléctrico Público (SEP) a denominar-se de RESP [6].



Os custos de manutenção para este *Campus* foram, para o ano de 2005, cerca de €3 876,20, valor este que inclui o fornecimento e montagem de diversas lâmpadas, reactâncias, arrancadores e IVA (21%), conforme se apresenta no Anexo 2.

5.2. Campus de Gambelas

Neste *Campus* a iluminação exterior é obtida através de 44 lâmpadas de 150 W e 30 lâmpadas de 1000 W separadas em dois ramos distintos, resultando numa potência de 23,58 kVA, conforme se indica na Tabela 2. O valor das perdas resistivas nos balastros (p_{balastro}) é obtido através de dados fornecidos pelo fabricante (Anexo 1) e as perdas na linha (p_{linha}) são uma estimativa para a pior situação do projecto.

Tabela 2 – Cálculo da potência consumida e custos anuais de energia para o *Campus* de Gambelas.

	<i>Campus</i>	Tipo de Lâmpada	Quant.	P. Unit. [W]	FP	p_{balastro} [%]	p_{linha} [%]	P [kW]	S [kVA]	Custo Anual [€]
1	Gambelas	V. Sódio	44	150	0,92	13	5	7,83	8,51	1 762,90
2	Gambelas	V. Sódio	30	400	0,92	10	5	13,86	15,07	3 120,18
TOTAL								21,69	23,58	4 883,08

5.2.1. Custos Energéticos e de Manutenção

A iluminação exterior, conduz actualmente um custo médio anual de energia no valor de 4 883,08€, conforme apresentado na Tabela 2 este valor é obtido considerando a totalidade da iluminação em funcionamento e através da aplicação do tarifário da EDP Distribuição no período II, longas utilizações e ciclo diário [5].



Os custos de manutenção para este *Campus* foram, para o ano de 2005, cerca de €3 014,49, valor este que inclui o fornecimento e montagem de diversas lâmpadas, reactâncias, arrancadores e IVA (21%), conforme o Anexo 3.

5.3. Total de Custos

Os custos inerentes ao funcionamento da iluminação exterior, para 2005, foram de €21 101,38, sendo repartidos em €14 210,70 para os custos energéticos e €6 890,68 para os custos de manutenção, conforme se apresenta na Tabela 3.

Tabela 3 – Custo total dispendido com a iluminação exterior em 2005.

<i>Campus</i>	Custos Energéticos [€]	Custos de Manutenção [€]	TOTAL [€]
Penha	8 994,12	3 876,20	12 870,32
Gambelas	5 216,58	3 014,49	8 231,06
TOTAL	14 210,70	6 890,68	21 101,38



6. Oportunidades de Racionalização de Consumos, ORC's

6.1. Reguladores de Fluxo Luminoso

Os reguladores de fluxo luminoso serão instalados nos PT's dos *Campi* da UALG, sendo dois para o *Campus* da Penha, devido aos ramais e distribuição das colunas existentes, e dois para o *Campus* de Gambelas, a instalar no PT1 e PT2.

6.1.1. Dimensionamento

No *Campus* da Penha a iluminação exterior está repartida em dois ramais. O fabricante impõe uma potência máxima para reguladores de fluxo a operar nestas circunstâncias de 50 kVA. De forma a garantir uma reserva optou-se pela instalação de dois reguladores de fluxo luminoso, conforme indicado na Tabela .

Para a primeira situação, ramal 1, a reserva é muito diminuta pois trata-se de uma zona já urbanizada em que as infra-estruturas existentes não vão sofrer alterações significativas. A reserva ficará para o ramal 2, onde se prevê a construção de mais dois edifícios (Administração e 3ª fase do Complexo Pedagógico) e infraestruturas em estradas e estacionamento.

Para o *Campus* de Gambelas, estando a iluminação exterior repartida entre dois postos de transformação, opta-se por também utilizar dois reguladores de fluxo luminoso, simplificando assim a estrutura eléctrica.



Tabela 4 – Dimensionamento dos reguladores de fluxo luminoso.

	<i>Campus</i>	Quant.xP_uni [W]	p_balastro + p_linha	P [kW]	FP	S [kVA]	Reserva [%]	S_regulador [kVA]
1	Penha, ramal 1	20x1000+20x150	(6%+13%) +5%	25,82	0,92	28,07	4,5	30
2	Penha, ramal 2	64x150	13%+5%	11,39	0,92	12,38	113	27
3	Gambelas (PT1)	18x400+24x150	(10%+13%) +5%	12,58	0,92	13,67	50	21
4	Gambelas (PT2)	12x400+20x150	(10%+13%) +5%	9,11	0,92	9,90	48	15

6.1.2. Redução de Consumos e Manutenção

A amortização deste investimento é efectuada de dois modos, em energia eléctrica economizada e em custos de manutenção.

Redução dos custos em energia eléctrica

A amortização em energia é dada pela equação (6.1):

$$Ee = Pa * Nh * Re(\%) * \text{€} / kWh \quad (6.1)$$

sendo:

- Ee – Economia em energia;
- Pa – Potência absorvida;
- Nh – Número anual de horas cheias e vazio em funcionamento (2008+2008=4016 horas) para uma média de 11 horas diárias;
- Re(%) – Redução verificada com a utilização do regulador de fluxo luminoso, sendo usualmente cerca de 30 %;
- €/kWh – Custo unitário de energia eléctrica (horas cheias=0,0636€ e vazio=0,432€ mais IVA a 5 %).



Tabela 5 – Cálculo da economia anual total em energia.

	<i>Campus</i>	Pa [kW]	Nh [h]	Re [%]	Economia de Energia [kWh]	Economia de Energia [€]
1	Penha, ramal 1	25,60	4016	30	30 842,88	1 729,36
2	Penha, ramal 2	11,39	4016	30	13 722,67	769,43
3	Gambelas (PT1)	12,13	4016	30	14 614,22	819,42
4	Gambelas (PT2)	9,36	4016	30	11 277,93	632,30
				TOTAL	70 456,70	3 950,51

Através da Tabela 5 verifica-se que a utilização de reguladores de fluxo luminoso permite poupar anualmente em energia eléctrica a quantia de €3 950,51. Também o meio ambiente é beneficiado visto que uma economia energética de cerca de 70 456,7 kWh equivale a uma redução nas emissões de CO₂ de 32 269 kg.

Redução de custos de manutenção [7]

A economia em manutenção é dada pela equação (6.2):

$$Em = \left(\frac{1}{8000} - \frac{1}{16000} \right) * Nr * Nh * (Pi + Ts * Cs) \quad (6.2)$$

sendo:

- Em – Economia em manutenção;
- 8 000 – Número médio de horas de funcionamento sem regulador de fluxo;
- 16 000 – Número médio de horas de funcionamento com regulador de fluxo;
- Nr – Número de lâmpadas;
- Nh – Número anual de horas de funcionamento.
- Pi – Custo Unitário por lâmpada;
- Ts – Tempo médio de substituição de uma lâmpada;
- Cs – Custo mão-de-obra a substituir uma lâmpada.



Através da Tabela 6 verifica-se que a utilização de reguladores de fluxo luminoso permite poupar anualmente a quantia de €2 798,65.

Tabela 6 – Cálculo da economia anual total em manutenção.

	<i>Campus</i>	Nr	Nh	Pi	Ts	Cs	Economia de Manutenção [€]
1	Penha, ramal 1	20 + 20	4016	130+25	1	25	1 029,10
2	Penha, ramal 2	64	4016	25	1	25	803,20
3	Gambelas (PT1)	18 + 24	4016	30+25	1	25	549,69
4	Gambelas (PT2)	12 + 20	4016	30+25	1	25	416,66
TOTAL							2 798,65

6.1.3. Análise Económica

Segundo a proposta do fornecedor, Anexo 4, obtém-se os custos do investimento inicial, apresentado na Tabela 7.

O cálculo das amortizações para cada situação e amortização total para a UALG é apresentado na Tabela 8.

Tabela 7 – Custo de fornecimento e montagem dos reguladores de fluxo luminoso.

	<i>Campus</i>	S [kVA]	Reserva [%]	S_regulador [kVA]	Custo Inicial c/IVA
1	Penha, ramal 1	28,07	6,4	30	12 005,62
2	Penha, ramal 2	12,38	54	27	10 543,94
3	Gambelas (PT1)	13,67	35	21	9 700,57
4	Gambelas (PT2)	9,90	34	15	8 621,25
TOTAL					40 871,38



Tabela 8 – Cálculo das amortizações parciais e total da aquisição dos reguladores.

	<i>Campus</i>	S_regulador [kVA]	Custo Inicial [€]	Economia de Energia [€]	Economia de Manutenção [€]	Amortização [anos]
1	Penha, ramal 1	30	12 005,62	1 729,36	1 029,10	4,4
2	Penha, ramal 2	27	10 543,94	769,43	803,20	6,7
3	Gambelas (PT1)	21	9 700,57	819,42	549,69	7,1
4	Gambelas (PT2)	15	8 621,25	632,30	416,66	8,2
	TOTAL		40 871,38	3 950,51	2 798,65	6,1

A aquisição destes quatro reguladores de fluxo representa um investimento inicial de €40 871,38, valor este que poderá ser financiado a 50 % através do programa MAPE/PRIME do Ministério da Economia e Inovação, sendo o montante restante financiado através de orçamento próprio da UALG.

Embora o programa MAPE/PRIME tenha sido suspenso, despacho n.º 5058/2006 do Diário da República n.º 46, II Série de 06/03/2006 [8], esta candidatura será considerada quando o Ministério da Economia e Inovação reabrir o programa.

Os cálculos das amortizações indicadas na Tabela foram efectuados sem o financiamento de 50% do programa MAPE/PRIME. Caso o governo reabra o concurso para candidaturas a este programa a amortização seria reduzida em 50%, ou seja, de 3,3 anos para a totalidade da aquisição deste sistema.

6.1.4. Influência nos Índice de Qualidade de Energia

Dado que os reguladores de fluxo luminoso têm um baixo teor harmónico em que a distorção harmónica total da corrente (THD_i) produzida por um regulador situa-se na ordem de 0,2 %. Segundo a Norma EN 50160 [9] o valor máximo para a distorção harmónica total da tensão na rede de alimentação é de 8 %. Também o factor de potência aumenta para valores próximos da unidade.



6.2. Instalação de Balastos Electrónicos

Para a iluminação exterior, a utilização de balastos electrónicos com lâmpadas de vapor de sódio a alta pressão³ de 150 W, revela-se numa economia em energia de cerca de 10 % visto que a utilização do balastro electrónico tem um rendimento na ordem dos 97 % (rendimento típico para dispositivos de electrónica de potência). A Tabela 9 apresenta a situação actual com balastos magnéticos.

Tabela 9 – Cálculo da potência consumida e custos anuais de energia com balastos magnéticos para os *Campi*.

	<i>Campus</i>	Tipo de Lâmpada	Quant.	P. Unit. [W]	FP	p_balastro [%]	p_linha [%]	P [kW]	S [kVA]	Custo Anual [€]	
1	Penha	V. Sódio	84	150	0,92	13	5	14,95	16,25	3 533,82	
2	Gambelas	V. Sódio	44	150	0,92	13	5	7,83	8,51	1 851,05	
								TOTAL	21,68	23,56	5 384,87

6.2.1. Redução de Consumos e Manutenção

A amortização deste investimento é efectuada de dois modos, em energia eléctrica economizada e em custos de manutenção.

Redução dos custos em energia eléctrica

A amortização em energia é dada pela equação (6.1).

Tabela 10 – Cálculo da economia anual total em energia.

	<i>Campus</i>	Pa [kW]	Nh [h]	Re [%]	Economia de Energia [kWh]	Economia de Energia [€]
1	Penha	14,95	4016	10	6 003,92	336,64
2	Gambelas	7,83	4016	10	3 144,53	176,32
					TOTAL	512,96

³ Os fabricantes de balastos electrónicos, para lâmpadas de vapor de sódio a alta pressão, apenas comercializam os mesmos para uma potência máxima de 150 W.



Através da Tabela 10 verifica-se que a utilização de balastros electrónicos permite poupar anualmente em energia eléctrica a quantia de €512,96. Também o meio ambiente é beneficiado visto que uma economia energética de cerca de 9 152,47 kWh equivale a uma redução nas emissões de CO₂ de 4 190 kg.

Redução de custos de manutenção

A amortização em manutenção é dada pela equação (6.3):

$$Em = \left(\frac{1}{30\,000} - \frac{1}{60\,000} \right) * Nr * Nh * (Pi + Ts * Cs) \quad (6.3)$$

sendo:

- Em – Economia em manutenção;
- 30 000 – Número médio de horas de funcionamento sem balastro electrónico;
- 60 000 – Número médio de horas de funcionamento com balastro electrónico;
- Nr – Número de lâmpadas;
- Nh – Número anual de horas de funcionamento.
- Pi – Custo Unitário por lâmpada;
- Ts – Tempo médio de substituição de uma lâmpada;
- Cs – Custo mão-de-obra a substituir uma lâmpada.

Através da Tabela 11 verifica-se que a utilização de balastros electrónicos permite poupar anualmente a quantia de €428,37.

Tabela 11 – Cálculo da economia anual total em manutenção.

	<i>Campus</i>	Nr	Nh	Pi	Ts	Cs	Economia de Manutenção [€]
1	Penha	84	4016	25	1	25	281,12
2	Gambelas	44	4016	25	1	25	147,25
TOTAL							428,37



6.2.2. Análise Económica

O cálculo das economias para cada situação e amortização total para a UALG é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 – Cálculo das economias em energia e manutenção.

	<i>Campus</i>	Número Balastros	Economia de Energia [€]	Economia em Manutenção [€]	Economia Total [€]
1	Penha	84	336,64	281,12	617,76
2	Gambelas	44	176,32	147,25	323,57
		TOTAL	512,96	428,37	941,33

Assim, segundo a proposta do fornecedor, Anexo 5, obtém-se os custos do investimento inicial, Tabela 13.

A aquisição e instalação de balastros electrónicos nas armaduras com lâmpadas de 150 W revela um tempo de amortização muito elevado, para um investimento inicial de €12 855,04, dado a instabilidade dos mercados e evolução dos equipamentos e sociedades. Neste caso o programa MAPE/PRIME do Ministério da Economia e Inovação não financia este investimento em virtude do montante ser inferior a €25 000,00. Assim a substituição dos balastros magnéticos para electrónicos deverá ser efectuada de forma gradual, ou seja, consoante os balastros magnéticos deixarem de funcionar.

Tabela 13 – Cálculo da economia e amortização anual total através da substituição de balastros.

	<i>Campus</i>	Número Balastros	Custo Inicial [€]	Economia Total [€]	Amortização [anos]
1	Penha	84	8 436,12	617,76	13,66
2	Gambelas	44	4 418,92	323,57	13,66
		TOTAL	12 855,04	941,33	13,66



6.2.3. Influência nos Índice de Qualidade de Energia

Com a utilização de balastros electrónicos a distorção harmónica tem um valor muito reduzido e inferior aos obtidos pelos balastros magnéticos, visto que na prática se incorporam filtros passa-baixo que limitam os harmónicos. Os balastros electrónicos também apresentam um factor de potência próximo da unidade.

6.3. Resumo das Oportunidades de Racionalização de Consumos

Através da análise às amortizações obtidas para a instalação de reguladores de fluxo e para os balastros electrónicos nas lâmpadas de 150 W, subentende-se que a instalação dos reguladores de fluxo deverá ter prioridade em relação à instalação de balastros electrónicos.

A aquisição dos reguladores de fluxo poderá ser faseada sendo neste caso prioritário a sua instalação no *Campus* da Penha, visto ser esta a instalação que proporciona um menor tempo de amortização.

Dada o elevado tempo de amortização (13,66 anos) os balastros electrónicos deveram substituir os magnéticos sempre que ocorra qualquer avaria nos mesmos ou no condensador de compensação do factor de potência.

Ambas as situações proporcionam um melhor factor de potência em relação à situação actual. Também a qualidade de energia não é prejudicada visto que a distorção harmónica total não excede os limites impostos pelas normas correspondentes.



Conclusões

A instalação de reguladores de fluxo luminoso e/ou balastos electrónicos permite além da economia energética, a economia ambiental, através da redução das emissões de CO₂.

Com o aumento do ciclo de vida útil das lâmpadas consegue-se amortizar o investimento inicial num menor intervalo de tempo. Com a adopção de uma manutenção preventiva, como a substituição programada de lâmpadas, permite manter as instalações numa maior uniformidade de funcionamento.

Visto que estamos em plena 2^a crise petrolífera, a 1^a foi em 1973, cabe a todas as instituições e consumidores em geral a adopção de medidas de poupança de energia em que o ambiente que nos rodeia será beneficiado com essas medidas.

É de lamentar que o governo Português retire/suspenda os incentivos ao programa MAPE, visto esta ser uma das formas de incentivar a racionalização de consumos energéticos.

Referências

- [1] **UNIVERSIDADE DO ALGARVE: 25 ANOS**, Universidade do Algarve, 2004;
- [2] **LUMINOTECNIA**, Rogério P. Cardoso, Dinalivro, 1979;
- [3] **THE CLEAVER SAVING**, IREM Stabilux, Luminous flux regulators;
- [4] **Diário da República, I Série**, Decreto-lei n.º 740/74 de 26 de Dezembro;
- [5] **TARIFÁRIO DE VENDA DE ENERGIA ELÉCTRICA A CLIENTES FINAIS**, EDP Distribuição, 2006;
- [6] **Diário da República, II Série**, Decreto-lei n.º 29/2006; de 15 de Fevereiro;
- [7] **BOLETIM INFORMATIVO N.º 44**, AREAL, Vilamoura, 2005;
- [8] **Diário da República, II Série**, Despacho n.º 5058/2006 de 6 de Março;
- [9] **Norma EN 50160**, Instituto Português da Qualidade.

Anexo F

PROTOCOLO ENTRE
O ESTADO PORTUGUÊS E
A UNIVERSIDADE DO ALGARVE

CELEBRADO AO ABRIGO DA INICIATIVA PARA O INVESTIMENTO E O EMPREGO
E RELATIVO À COMPARTICIPAÇÃO PELO ESTADO DE OBRAS A REALIZAR COM
VISTA À MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS PÚBLICOS
INDICADOS NO ANEXO I

ENTRE:

O Estado Português, neste acto representado pelo Ministro de Estado e das Finanças, pelo Ministro da Economia e da Inovação e pelo Ministro da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior, adiante designado por Estado;

E

A Universidade do Algarve, neste acto representada pelo respectivo Reitor, com poderes bastantes para o efeito, doravante designada abreviadamente pela sigla UALG;

CONSIDERANDO QUE:

- O Conselho Europeu aprovou, em 11 e 12 de Dezembro de 2008, um Plano de Recuperação Económica, tendo em vista produzir um estímulo à actividade económica e ao emprego e promover a intensificação coordenada do esforço anticíclico a prosseguir pelos vários Estados-Membros;
- O Conselho de Ministros Extraordinário, de 13 de Dezembro de 2008, aprovou a Iniciativa para o Investimento e o Emprego, destinada a minimizar os efeitos da crise financeira e económica e a permitir o relançamento da economia portuguesa através de um plano de investimento público, integrando um conjunto de medidas especialmente dirigidas às áreas prioritárias para o desenvolvimento do País;

- Foi publicado o Decreto-Lei nº 34/2009, de 6 de Fevereiro, o qual veio estabelecer medidas excepcionais de contratação pública, a vigorar transitoriamente em 2009 e 2010, aplicáveis aos contratos de empreitadas de obras públicas, de concessão de obras públicas, de locação ou aquisição de bens móveis e de aquisição de serviços;
- Posteriormente foi aprovada a Lei nº 10/2009, de 10 de Março, que cria o programa orçamental da Iniciativa para o Investimento e o Emprego e que visa promover o crescimento económico e o emprego, contribuindo para o reforço da modernização e da competitividade do País, das qualificações dos portugueses, da independência e da eficiência energética, bem como da sustentabilidade ambiental e, ainda, da promoção da coesão social;
- A Iniciativa para o Investimento e o Emprego visa, entre outros aspectos, a promoção das energias renováveis, da eficiência energética e das redes de transporte de energia, sendo que, no contexto desta Iniciativa e durante o ano de 2009, será promovido um apoio extraordinário à melhoria do desempenho energético de um conjunto de edifícios públicos considerados prioritários e seleccionados para o efeito;
- Pelo despacho nº 12875-A/2009, de 29 de Maio, o Senhor Ministro de Estado e das Finanças e o Senhor Ministro da Economia e da Inovação incluíram os edifícios que compõem o complexo universitário da UALG e respectivos serviços sociais e que estão identificados no Anexo I (doravante os “Edifícios”) na lista de investimentos considerados prioritários para efeitos da aplicação do regime excepcional de contratação pública previsto no Decreto-Lei nº 34/2009, de 6 de Fevereiro, permitindo que, quanto àqueles edifícios, fossem adoptados os procedimentos excepcionais de ajuste directo, tal como referidos no mencionado diploma, se aplicável.

Nestes termos é celebrado e reciprocamente aceite este Protocolo que se rege pelas seguintes cláusulas:

Cláusula 1.^a

(Objecto do Contrato)

O presente Protocolo é celebrado ao abrigo da Iniciativa para o Investimento e o Emprego e tem por objecto a regulação dos direitos e das obrigações do Estado e da UALG no contexto da



comparticipação pelo Estado das obras, a realizar pela UALG com vista à melhoria da eficiência energética dos Edifícios, que em seguida se indicam e que melhor se detalham no documento “UALG Medidas de Eficiência Energética” constante do Anexo II e cujo valor estimado é o constante do Anexo III (doravante as “Obras de Melhoria da Eficiência Energética”):

- a) Instalação de telecontagem de energia eléctrica no Campus de Gambelas;
- b) Instalação de equipamento de compensação de factor de potência para o Campus da Penha;
- c) Aquisição de analisador de energia portátil;
- d) Instalação de 20 m² (vinte metros quadrados) de colectores solares, com depósito de acumulação de 1500 (mil e quinhentos) litros e caldeira a gás para apoio;
- e) Instalação de 80 m² (oitenta metros quadrados) de colectores solares, com depósito de inércia de 12 000 (doze mil) litros e caldeira a gás para apoio;
- f) Instalação de um termossifão com 4 m² (quatro metros quadrados) e depósito de 300 (trezentos) litros e outro termossifão com 2 m² (dois metros quadrados) e depósito de 150 (cento e cinquenta) litros;
- g) Instalação de 70 m² (setenta metros quadrados) de colectores solares, com depósito de inércia de 6000 (seis mil) litros, e apoio a bomba de calor com anel de retorno;
- h) Instalação de 48 m² (quarenta e oito metros quadrados) de colectores solares, com depósito de acumulação de 3000 (três mil) litros, e apoio a gás;
- i) Instalação de 40 m² (quarenta metros quadrados) de colectores solares, com depósito de acumulação de 3000 (três mil) litros, apoio a gás;
- j) Instalação de 20 m² (vinte metros quadrados) de colectores solares, com depósito de acumulação de 2000 (dois mil) litros, apoio a gás;
- k) Instalação de chuveiros com economizador integrado;
- l) Substituição de isolamentos e tubagens;
- m) Acção de formação e sensibilização junto dos utentes de todas as residências da UALG;
- n) Colocação de sistemas de película reflectora em vãos de edifícios do Campus de Gambelas;

- o) Sombreamento através de plantas de folhagem caduca, em duas das fachadas do Edifício de Anfiteatros do Complexo Pedagógico do Campus da Penha;
- p) Abertura de vãos e respectiva motorização nas quatro fachadas do Edifício de Anfiteatros do Complexo Pedagógico do Campus da Penha;
- q) Abertura de clarabóias e respectiva motorização nas duas zonas interiores do Edifício de Anfiteatros do Complexo Pedagógico do Campus da Penha;
- r) Abertura de vãos e respectiva motorização na fachada Nascente do Edifício de Engenharia Civil, no Campus da Penha;
- s) Colocação de sistemas de película reflectora no vão virado a Nascente do Edifício de Engenharia Civil, no Campus da Penha;
- t) Realização de auditorias aos edifícios do Instituto Superior de Engenharia, no Campus da Penha, e da Faculdade de Ciências do Mar e Ambiente, no Campus de Gambelas;
- u) Aquisição de equipamento de monitorização para apoio à realização de auditorias de Certificação Energética;
- v) Aquisição de equipamento de monitorização para apoio à realização de auditorias de Qualidade do Ar Interior;
- x) Formação a dois técnicos dos Serviços Técnicos da UALG no âmbito da Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior.

Cláusula 2.^a

(Obrigações do Estado)

Pelo presente Protocolo, o Estado compromete-se a custear as Obras de Melhoria da Eficiência Energética efectivamente realizadas pela UALG no ano de 2009, identificadas no anexo II e tal como orçamentadas nos cadernos de encargos (doravante os “Cadernos de Encargos”) a celebrar entre a UALG e as entidades que a UALG venha a seleccionar para o efeito, até ao montante máximo de **€ 2 822 250,00** (dois milhões oitocentos e vinte e dois mil duzentos e cinquenta euros), comprometendo-se a promover atempadamente, logo após a apresentação das facturas



correspondentes, as transferências de fundos necessárias para este fim, nos termos previstos no Orçamento de Estado, na Lei n.º 10/2009, de 10 de Março, e nos prazos estabelecidos para o efeito nos Cadernos de Encargos (doravante a “Comparticipação do Estado”).

Cláusula 3.ª

(Obrigações da UALG)

Pelo presente Protocolo a UALG compromete-se a:

- a) Realizar as Obras de Melhoria da Eficiência Energética de acordo com a calendarização dos trabalhos estipulada nos Cadernos de Encargos, a qual deve corresponder, salvo razão material em contrário previamente aprovada pelo Estado, à indicada no cronograma estimado constante do Anexo IV;
- b) Realizar, a suas expensas, no triénio 2009/2011, as seguintes obras adicionais de melhoria da eficiência energética e ambiental dos Edifícios que se encontram detalhadas no Anexo II e que estão estimadas em **€ 1 000 000,00** (um milhão de euros), tal como referido no Anexo III (doravante as “Obras Adicionais”):
 - (i) Realização de auditorias em todos os edifícios da UALG (doravante as “Auditorias Energéticas”);
 - (ii) Substituição de sistemas de iluminação;
 - (iii) Instalação de temporizadores;
 - (iv) Substituição de caixilharias;
 - (v) Instalação de palas de sombreamento
 - (vi) Instalação de painéis fotovoltaicos;
- c) Atuar com elevada diligência e lealdade e com respeito pelos princípios da legalidade e da prossecução do interesse público, da imparcialidade, da proporcionalidade e da boa fé na selecção, negociação e contratação dos trabalhos de construção e no acompanhamento, coordenação e

fiscalização das Obras de Melhoria da Eficiência Energética e das Obras Adicionais e das Auditorias Energéticas, aplicando a Comparticipação do Estado de forma prudente e criteriosa e nos estritos termos do que for acordado, e prestando contas à Direcção-Geral do Tesouro e Finanças, através do envio mensal de relatório de execução dos trabalhos realizados e, ainda, da elaboração de relatório final sintético da execução física e financeira das empreitadas, a ser apresentado no prazo de 30 (trinta) dias úteis a contar da data da respectiva conclusão;

d) Na medida do aplicável, cumprir as regras vigentes em matéria de contratação pública e de obtenção das licenças administrativas e camarárias necessárias, as quais deverão estar emitidas antes de iniciadas as Obras de Melhoria da Eficiência Energética e as Obras Adicionais;

e) Fornecer à Direcção-Geral do Tesouro e Finanças todas as informações que lhe forem pedidas ou que se mostrem necessárias à boa execução do presente Protocolo e ao acompanhamento da aplicação da Comparticipação do Estado e da evolução das Obras de Melhoria da Eficiência Energética, das Obras Adicionais e das Auditorias Energéticas;

Cláusula 4.^a

(Vigência)

O presente Protocolo entra em vigor na data da respectiva assinatura e permanece em vigor pelo tempo necessário à conclusão das Obras de Melhoria da Eficiência Energética, das Obras Adicionais e das Auditorias Energéticas e até à aceitação pelo Estado da prestação das contas relativas à utilização da Comparticipação do Estado.

Cláusula 5.^a

(Rescisão)

1 - Qualquer das partes pode rescindir o presente Protocolo quando, em relação à outra parte, se verifique o não cumprimento de qualquer uma das suas obrigações aqui previstas, incluindo o não envio



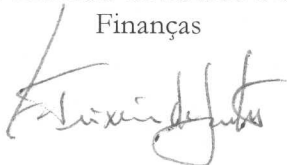
dos relatórios referidos na alínea e) da cláusula 3ª e a recusa de prestação de informação por parte da UALG.

2 - A parte que decida rescindir o Protocolo deverá notificar a outra parte da sua decisão de rescisão bem como dos seus fundamentos para que a parte faltosa possa cumprir a obrigação a que está vinculada. A rescisão por incumprimento só será eficaz se a parte faltosa não tiver posto fim à situação de incumprimento no prazo que a parte não faltosa razoavelmente lhe fixe para o efeito.

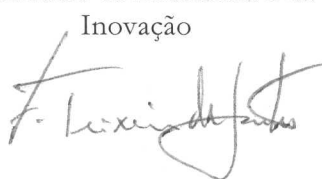
3 - A rescisão deste Protocolo determina que não sejam disponibilizados pelo Estado fundos adicionais ao abrigo da Comparticipação do Estado prevista na Cláusula 1ª e implica a devolução dos montantes recebidos do Estado que ainda não tenham sido utilizados, bem como dos que tenham tido uma utilização diferente face aos objectivos inicialmente definidos, no prazo de 30 (trinta) dias úteis a contar do recebimento da respectiva notificação.

Celebrado no dia 23 de Julho de 2009

O Ministro de Estado e das
Finanças



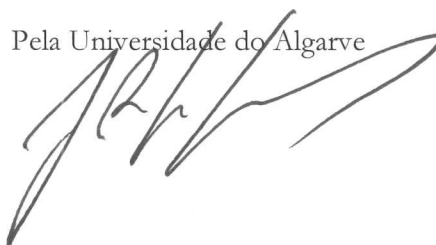
O Ministro da Economia e da
Inovação



O Ministro da Ciência,
Tecnologia e Ensino Superior



Pela Universidade do Algarve



ANEXO I

LISTA DOS EDIFÍCIOS PÚBLICOS DA UALG ABRANGIDOS PELO PROTOCOLO

Faculdade de Ciências do Mar e Ambiente (Campus de Gambelas)
Faculdade de Engenharia de Recursos Naturais e Faculdade de Economia (Campus de Gambelas)
Faculdade de Ciências e Tecnologia (Campus de Gambelas)
Biblioteca (Campus de Gambelas)
Complexo Pedagógico (Campus de Gambelas)
Cantina (Campus de Gambelas)
Anfiteatros do Complexo Pedagógico (Campus da Penha)
Instituto Superior de Engenharia (Campus da Penha)
Edifício de Engenharia Civil (Campus da Penha)
Cantina (Campus da Penha)
Ramalhete (Ria Formosa)
Residência da Penha (Campus da Penha)
Residência da Rua das Violetas (Faro)
Residência da Avenida de Berlim, 79 (Faro)
Residência da Avenida de Berlim, 55 (Faro)
Residência do Ferragial, 16 e 17 (Faro)
Faculdade de Ciências Humanas e Sociais (Campus de Gambelas)
Escola Superior de Educação (Campus da Penha)
Escola Superior de Gestão Hotelaria e Turismo (Campus da Penha)
Complexo Pedagógico da Penha (Campus da Penha)



ANEXO II

UALG MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

De seguida listam-se as medidas que se pretendem implementar, indicando-se os objectivos a atingir em cada caso.

I – OBRAS DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA A FINANCIAR PELO ESTADO

Medida 1: Instalação de telecontagem de energia eléctrica no Campus de Gambelas.

Objectivo: Contabilizar os consumos de energia eléctrica de cada um dos edifícios do campus.

Medida 2: Instalação de equipamento de compensação de factor de potência para o Campus da Penha.

Objectivo: Permitir a anulação do consumo de energia reactiva na instalação eléctrica do campus.

Medida 3: Aquisição de analisador de energia portátil.

Objectivo: Monitorizar os consumos e características da qualidade da energia em todos os edifícios da UALG.

Medida 4: Instalação de 20 m² de colectores solares, com depósito de acumulação de 1.500 litros e caldeira a gás para apoio.

Objectivo: Fornecimento de água quente à Cantina da ESAF.

Medida 5: Instalação de 80 m² de colectores solares, com depósito de inércia de 12.000 litros e caldeira a gás para apoio.

Objectivo: Fornecimento de água quente à Cantina da Penha.

Medida 6: Instalação dum termosifão com 4 m² e depósito de 300 litros e outro termosifão com 2 m² e depósito de 150 litros.

Objectivo: Lavagens necessárias no Ramalhete.

Medida 7: Instalação de 70 m² de colectores solares, com depósito de inércia de 6.000 litros, e apoio a bomba de calor com anel de retorno.

Objectivo: Fornecimento de água quente e aquecimento à Residência da Penha.

Medida 8: Instalação de 48 m² de colectores solares, com depósito de acumulação de 3.000 litros, e apoio a gás.

Objectivo: Fornecimento de água quente à Residência da Rua da Violetas.

Medida 9: Instalação de 40 m² de colectores solares, com depósito de acumulação de 3.000 litros, apoio a gás.

Objectivo: Fornecimento de água quente à Residência do n° 79 da Avenida de Berlim.

Medida 10: Instalação de 20 m² de colectores solares, com depósito de acumulação de 2.000 litros, apoio a gás.

Objectivo: Fornecimento de água quente à Residência do n° 55 da Avenida de Berlim.

Medida 11: Instalação de chuveiros com economizador integrado.

Objectivo: Reduzir o consumo de água quente em todas as residências da UALG.

Medida 12: Substituição de isolamentos e tubagens.

Objectivo: Melhorar a eficiência dos sistemas em todas as residências da UALG.

Medida 13: Acção de formação e sensibilização junto dos utentes de todas as residências da UALG.

Objectivo: Melhorar a utilização dos sistemas energéticos.

Medida 14: Colocação de sistemas de película reflectora em vãos de edifícios do Campus de Gambelas.

Objectivo: Reduzir a carga térmica a que grandes vãos dos edifícios da FCMA, FERN/FE, CANTINA, CP, FCT e Biblioteca, estão sujeitos.

Medida 15: Sombreamento através de plantas de folhagem caduca, em duas das fachadas do Edifício de Anfiteatros do Complexo Pedagógico do Campus da Penha.

Objectivo: Reduzir a carga térmica a que os grandes vãos do edifício estão sujeitos.

Medida 16: Abertura de vãos e respectiva motorização nas quatro fachadas do Edifício de Anfiteatros do Complexo Pedagógico do Campus da Penha.

Objectivo: Ventilação dos espaços interiores.

Medida 17: Abertura de clarabóias e respectiva motorização nas duas zonas interiores do Edifício de Anfiteatros do Complexo Pedagógico do Campus da Penha.

Objectivo: Ventilação dos espaços interiores.

Medida 18: Abertura de vãos e respectiva motorização na fachada Nascente do Edifício de Engenharia Civil, no Campus da Penha.

Objectivo: Ventilação dos espaços interiores.

Medida 19: Colocação de sistemas de película reflectora no vão virado a Nascente do Edifício de Engenharia Civil, no Campus da Penha.

Objectivo: Reduzir a carga térmica a que esse vão está sujeito.

Medida 20: Realização de auditorias aos edifícios do Instituto Superior de Engenharia, no Campus da Penha, e da Faculdade de Ciências do Mar e Ambiente, no Campus de Gambelas.

Objectivo: Obtenção da Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nesses edifícios.

Medida 21: Aquisição de equipamento de monitorização para apoio à realização de auditorias de Certificação Energética.

Objectivo: Garantir autonomia de utilização desse equipamento para futuras auditorias a todos os edifícios da UALG.

Medida 22: Aquisição de equipamento de monitorização para apoio à realização de auditorias de Qualidade do Ar Interior.

Objectivo: Garantir autonomia de utilização desse equipamento para futuras auditorias a todos os edifícios da UALG.

Medida 23: Formação a dois técnicos dos Serviços Técnicos da UALG no âmbito da Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior.

Objectivo: Garantir autonomia aos Serviços Técnicos da UALG no apoio às futuras auditorias a todos os edifícios da UALG.

Medida 24: Substituição dos sistemas de iluminação, com automatização e substituição de lâmpadas e armaduras, em todos os edifícios dos Campus de Gambelas e da Penha.

Objectivo: Redução de consumos de energia associados aos sistemas de iluminação existentes, muitos deles com mais de 20 anos.

Medida 25: Instalação de temporizadores para os sistemas de ar condicionado existentes.

Objectivo: Garantir que os equipamentos só funcionam caso os espaços estejam a ser efectivamente utilizados e ocupados.



II – OBRAS DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA A FINANCIAR PELA UALG

Medida 26: Realização de auditorias a todos os edifícios dos Campus de Gambelas e da Penha, exceptuando os referidos na Medida 20.

Objectivo: Obtenção da Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nesses edifícios.

Medida 27: Substituição de caixilharias mais antigas nos edifícios com mais de 20 anos.

Objectivo: Garantir correcção de pontos com perdas energéticas.

Medida 28: Instalação de palas de sombreamento ajustáveis no Edifício de Engenharia Civil e no Edifício de Anfiteatros do Complexo Pedagógico da Penha.

Objectivo: Reduzir a carga térmica a que os grandes vãos dos edifícios estão sujeitos.

Medida 29: Instalação 2700 m2 de painéis fotovoltaicos no Campus da Penha

Objectivo: Produção de energia para consumo próprio

Medida 30: Realização de auditorias energéticas finais após implementação das medidas 1 a 29 atrás referidas, em todos os edifícios abrangidos pelas referidas medidas.

Objectivos: Obtenção de certificação energética.



ANEXO III

ESTIMATIVAS DE CUSTOS (COM IVA) DA IMPLEMENTAÇÃO DAS OBRAS DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DAS OBRAS ADICIONAIS

Medida 1: Instalação de telecontagem de energia eléctrica no Campus de Gambelas.

Custo estimado: € 50.000,00

Medida 2: Instalação de equipamento de compensação de factor de potência para o Campus da Penha.

Custo estimado: € 12.000,00

Medida 3: Aquisição de analisador de energia portátil.

Custo estimado: € 6.000,00

Medida 4: Instalação de 20 m² de colectores solares, com depósito de acumulação de 1.500 litros e caldeira a gás para apoio.

Custo estimado: € 24.000,00

Medida 5: Instalação de 80 m² de colectores solares, com depósito de inércia de 12.000 litros e caldeira a gás para apoio.

Custo estimado: € 96.000,00

Medida 6: Instalação dum termosifão com 4 m² e depósito de 300 litros e outro termosifão com 2 m² e depósito de 150 litros.

Custo estimado: € 7.000,00



Medida 7: Instalação de 70 m² de colectores solares, com depósito de inércia de 6.000 litros, e apoio a bomba de calor com anel de retorno.

Custo estimado: € 84.000,00

Medida 8: Instalação de 48 m² de colectores solares, com depósito de acumulação de 3.000 litros, e apoio a gás.

Custo estimado: € 48.000,00

Medida 9: Instalação de 40 m² de colectores solares, com depósito de acumulação de 3.000 litros, apoio a gás.

Custo estimado: € 58.000,00

Medida 10: Instalação de 20 m² de colectores solares, com depósito de acumulação de 2.000 litros, apoio a gás.

Custo estimado: € 24.000,00

Medida 11: Instalação de chuveiros com economizador integrado.

Custo estimado: € 10.000,00

Medida 12: Substituição de isolamentos e tubagens.

Custo estimado: € 6.000,00

Medida 13: Acção de formação e sensibilização junto dos utentes de todas as residências da UALG.

Custo estimado: € 2.000,00

Medida 14: Colocação de sistemas de película reflectora em vãos de edifícios do Campus de Gambelas.

Custo estimado: € 27.000,00

Medida 15: Sombreamento através de plantas de folhagem caduca, em duas das fachadas do Edifício de Anfiteatros do Complexo Pedagógico do Campus da Penha.

Custo estimado: € 6.000,00

Medida 16: Abertura de vãos e respectiva motorização nas quatro fachadas do Edifício de Anfiteatros do Complexo Pedagógico do Campus da Penha.

Custo estimado: € 12.000,00

Medida 17: Abertura de clarabóias e respectiva motorização nas duas zonas interiores do Edifício de Anfiteatros do Complexo Pedagógico do Campus da Penha.

Custo estimado: € 12.000,00

Medida 18: Abertura de vãos e respectiva motorização na fachada Nascente do Edifício de Engenharia Civil, no Campus da Penha.

Custo estimado: € 12.000,00

Medida 19: Colocação de sistemas de película reflectora no vão virado a Nascente do Edifício de Engenharia Civil, no Campus da Penha.

Custo estimado: € 18.000,00

Medida 20: Realização de auditorias aos edifícios do Instituto Superior de Engenharia, no Campus da



Penha, e da Faculdade de Ciências do Mar e Ambiente, no Campus de Gambelas.

Custo estimado: € 73.000,00

Medida 21: Aquisição de equipamento de monitorização para apoio à realização de auditorias de Certificação Energética.

Custo estimado: € 6.000,00

Medida 22: Aquisição de equipamento de monitorização para apoio à realização de auditorias de Qualidade do Ar Interior.

Custo estimado: € 7.000,00

Medida 23: Formação a dois técnicos dos Serviços Técnicos da UALG no âmbito da Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior.

Custo estimado: € 3.000,00

Medida 24: Substituição dos sistemas de iluminação, com automatização e substituição de lâmpadas e armaduras, em todos os edifícios dos Campus de Gambelas e da Penha.

Custo estimado: € 900.000,00

Medida 25: Instalação de temporizadores para os sistemas de ar condicionado existentes.

Custo estimado: € 60.000,00

Medida 26: Realização de auditorias a todos os edifícios dos Campus de Gambelas e da Penha, exceptuando os referidos na Medida 20.

Custo estimado: € 540.000,00



Medida 27: Substituição de caixilharias mais antigas nos edifícios com mais de 20 anos.

Custo estimado: € 240.000,00

Medida 28: Instalação de palas de sombreamento ajustáveis no Edifício de Engenharia Civil e no Edifício de Anfiteatros do Complexo Pedagógico da Penha.

Custo estimado: € 120.000,00

Medida 29: Instalação 2700 m² de painéis fotovoltaicos no Campus da Penha

Custo estimado: € 1.200.000,00

Medida 30: Realização de auditorias energéticas finais após implementação das medidas 1 a 29 atrás referidas, em todos os edifícios abrangidos pelas referidas medidas.

Custo estimado: € 100.000,00



ANEXO IV

CRONOGRAMA ESTIMADO DAS OBRAS DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DAS OBRAS ADICIONAIS

Apresenta-se um cronograma que reflecte os seguintes aspectos:

- As medidas 1 a 23 iniciar-se-ão no dia 27 de Julho de 2009, devendo estar terminadas a 30 de Novembro de 2009;
- As medidas 24 a 29 realizar-se-ão entre Outubro de 2009 e Dezembro de 2011.
- O cronograma é apresentado por trimestres, por se considerar que é a unidade temporal mais adequada às intervenções que vão ter lugar.

CRONOGRAMA GERAL DAS INTERVENÇÕES

Ano	2009		2010			
	3º	4º	1º	2º	3º	4º
Trimestre						
Medidas 1 a 25						
Medida 26						
Medida 27						
Medida 28						
Medida 29						

A Medida 30 será realizada depois de concluídas as medidas 1 a 29, para efeitos de obtenção certificação energética e, em qualquer caso, até ao dia 31 de Dezembro de 2011.



Anexo G



distribuição

Certificado de Participação

Certifica-se que **UNIVERSIDADE DO ALGARVE - GAMBELAS** participou no concurso do prémio edp energia elétrica e ambiente 2014



O Presidente do Júri

Rafael Martins



distribuição

Certificado de Participação

Certifica-se que **UNIVERSIDADE DO ALGARVE - PENHAS** participou no concurso do prémio edp energia elétrica e ambiente 2014



O Presidente do Júri

Rubio Martins Costa Almeida

Anexo H

**Electrónica de Potência
1.º Trabalho Prático**

Introdução aos circuitos de electrónica de potência: simulação em PSPICE

Introdução aos circuitos de electrónica de potência: simulação em PSPICE

1. Introdução

A simulação computacional de fenómenos físicos representa actualmente uma óptima ferramenta para estudar de forma eficiente e económica inúmeros projectos em todas as áreas. O PSPICE é uma ferramenta extremamente poderosa em todos os campos da simulação de circuitos eléctricos e electrónicos, sendo de fácil implementação e utilização. No que diz respeito à utilização de PSPICE em circuitos de electrónica de potência, este revela-se extremamente útil, pois os fabricantes de componentes electrónicos fornecem, em alguns casos, os respectivos modelos nesta linguagem.

Para os trabalhos a efectuar nesta disciplina vai utilizar-se a versão estudante do PSPICE, a qual, apesar de possuir algumas limitações, permite estudar de forma detalhada o funcionamento dos conversores utilizados em electrónica de potência.

2. Objectivos

1. Saber analisar circuitos através da simulação em PSPICE.
2. Estudar o funcionamento de rectificadores de meia-onda.
3. Calcular e visualizar as ondas das grandezas eléctricas relevantes.

3. Conceitos Básicos sobre o PSPICE

Existem duas formas de inserir o circuito a simular. A primeira consiste na elaboração, em linguagem própria (netlist), de um ficheiro de texto (nome.cir) onde são designados todos os nós e componentes do circuito. A segunda forma consiste na utilização do Schematics, onde o circuito é construído (nome.sch) utilizando os componentes das bibliotecas. O Schematics constrói depois a netlist e então simula-o utilizando o PSPICE A/D. É nesta última forma de introduzir o circuito a simular que irá ser abordada nos trabalhos de Electrónica de Potência, pois é bastante mais prática.

O pacote PSPICE é composto por vários módulos de software em que o PSPICE A/D constitui o núcleo do programa, pois é o módulo que efectua a simulação do circuito a estudar. Os resultados da simulação são depois analisados utilizando o PROBE. O pacote PSPICE possui ainda:

- Editor de modelos (Model Editor), que permite alterar e/ou construir componentes.

- Editor de estímulos (Stimulus Editor), que permite construir diversos tipos de fontes e/ou sinais.
- Interface com PSpice Optimizer para optimização do desempenho do circuito analógico.
- Interfaces com programas de PCB para obtenção do layout de circuitos impressos.

Todos estes módulos podem ser chamados a partir do Schematics. O funcionamento deste módulo será explicado sucintamente no decorrer da aula.

Existem diversas possibilidades para efectuar a simulação dos circuitos. Nestes trabalhos vai utilizar-se unicamente a análise transitória de fenómenos.

4. Biblioteca de Componentes de Electrónica de Potência

Alguns dos componentes dos circuitos a estudar encontram-se numa biblioteca de Electrónica de Potência não incluída na versão-estudante, pelo que terá de ser introduzida. Para tal execute os seguintes procedimentos:

- Abra o Schematics;
- No menu principal, seleccione Options e depois Editor Configuration;
- Seleccione Library Settings e em seguida Browse;
- Indique o caminho para a biblioteca pwr_elec.lib;
- Seleccione Add*;
- Close e depois OK.

5. Alteração de alguns parâmetros predefinidos

Alguns parâmetros de defeito conduzem a problemas de convergência na simulação. Para ultrapassar estas dificuldades, efectua-se as seguintes alterações:

- No menu principal, seleccione Analysis e depois Setup;
- Seleccione Options;
- Modifique ABSTOL de 1pA para 0.0001 ou 100uA;
- Modifique GMIN de 1p para 1u;
- OK e depois Close.

Nota: estes parâmetros têm de ser alterados sempre que se abre uma nova página de desenho. Para evitar repetir este procedimento faça as alterações e guarde o ficheiro como, por exemplo, pag_branco.sch. Para construir cada novo circuito abra este ficheiro e depois save as... .

6. Rectificador de meia-onda

6.1. Carga resistiva

1) Construa no Schematics o circuito da Fig. 1. Para obter os componentes selecione na barra de ferramentas “get new part” (ou escreva directamente no menu deslizante) e depois escolha:

- Fonte sinusoidal V1: componente **vsin**, com as definições referidas na Fig. 1.
- Díodo D1: componente **diode**
- Resistência R1: componente **R**, 10 Ohms
- Massa: **agnd**

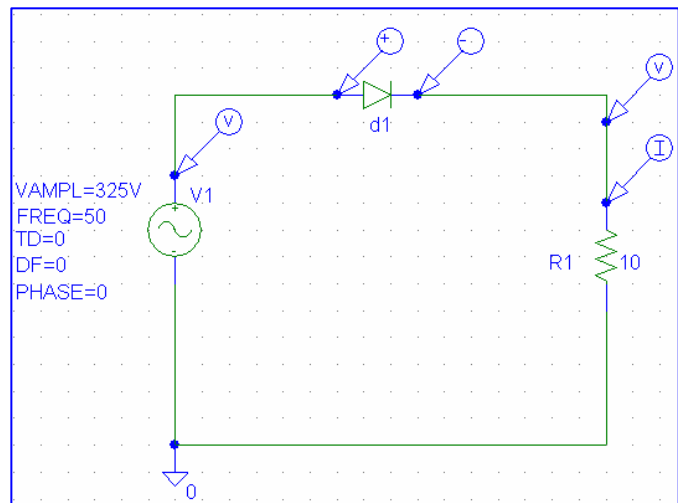


Fig. 1: Rectificador de meia-onda com carga R.

- 2) Una os componentes com “draw wire”.
- 3) Insira os pontos de leitura das grandezas (marcadores): no menu markers (mark voltage/level, etc.), ou directamente na barra de ferramentas (só os mais básicos estão disponíveis).
- 4) Seleccione “setup analysis”, depois transient e insira os dados da Fig. 2 para efectuar a configuração da simulação (tempo total de simulação, passo de integração mínimo, etc.)

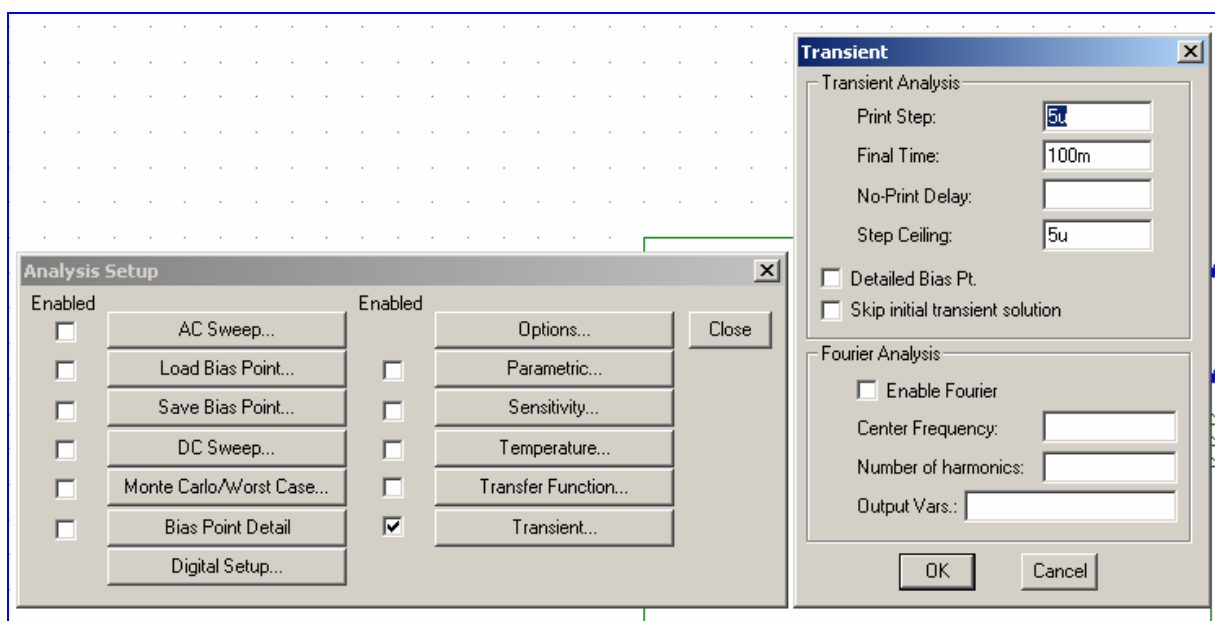


Fig. 2: Configuração da simulação.

- 5) Efectue a simulação do circuito ("simulate" na barra de ferramentas ou F11). O PSPICE vai efectuar a simulação e abrir automaticamente o PROBE para visualizar os resultados (formas de onda).
- 6) No PROBE, no menu plot/axis settings efectue as alterações convenientes para visualizar as formas de onda durante apenas o último período simulado (Fig. 3).
- 7) Poderá adicionar gráficos no PROBE: menu plot/add plot to window.
- 8) Poderá visualizar outras formas de onda no PROBE: menu trace/add trace.

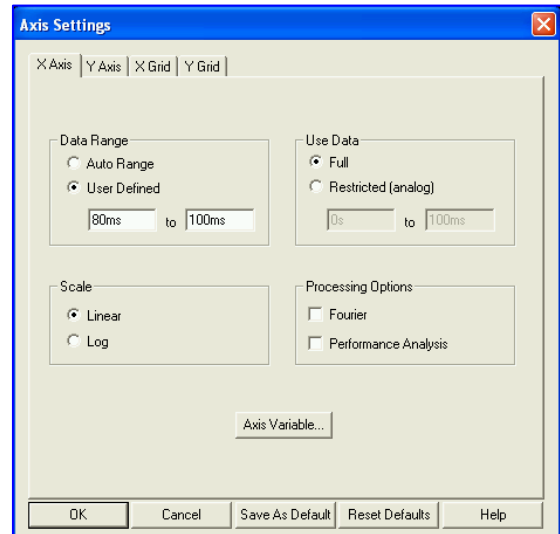


Fig. 3: Configuração dos eixos.

- 9) Utilizando o "toggle cursor" da barra de ferramentas do PROBE obtenha os seus valores máximos e mínimos das formas de onda.
- 10) Utilize poucas formas de onda em cada gráfico, de forma a que sejam todas perceptíveis. Copie os gráficos para o Word: no menu do PROBE faça "window/copy to clipboard" e depois colar no Word. No documento do Word comente as formas de onda obtidas.

6.1.1. Cálculo de valor médio e valor eficaz

- 11) O PROBE permite calcular o valor médio das grandezas obtidas. Faça "add trace", seleccione nas "Functions or Macros" a função "AVG()" e depois seleccione a grandeza em que pretende obter o valor médio (Fig. 4). Obterá uma nova forma de onda que consiste na média dos pontos da forma de onda. Utilizando o "toggle cursor" poderá medir o valor médio, no instante em que a forma de onda finaliza um período.

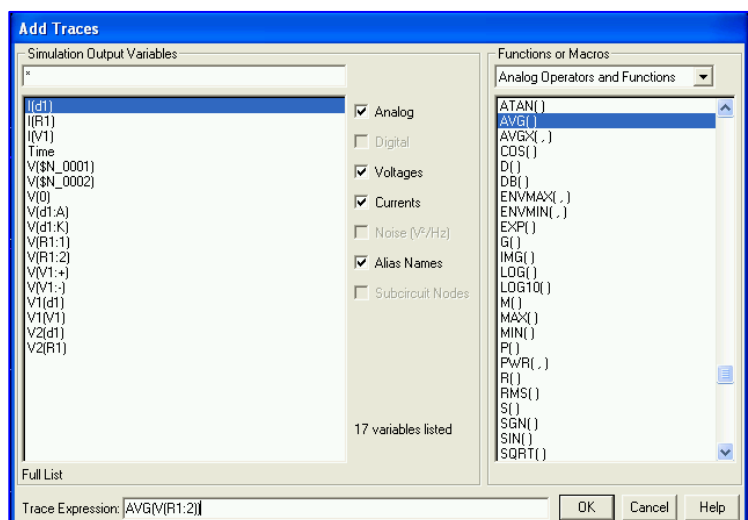


Fig. 4: Calcular o valor médio utilizando AVG().

- 12) Meça e anote o valor médio da tensão aos terminais da resistência, da corrente na resistência e da potência média dissipada na resistência.

- 13) O PROBE permite também calcular o valor eficaz das grandezas obtidas. Utilize um procedimento idêntico ao do ponto anterior, mas utilize agora a função "RMS()". Meça e anote o valor eficaz da tensão aos terminais da resistência e da corrente na resistência.

6.1.2. Cálculo dos harmónicos

- 14) O PSPICE possui também a funcionalidade de calcular a decomposição em série de Fourier das grandezas. NO Schematics faça "analysis setup"/transient e depois preencha os dados necessários ao cálculo dos harmónicos (Fig. 5) da tensão aos terminais da resistência.

- 15) Depois de efectuar novamente a simulação os dados estão disponíveis no "simulation output file"

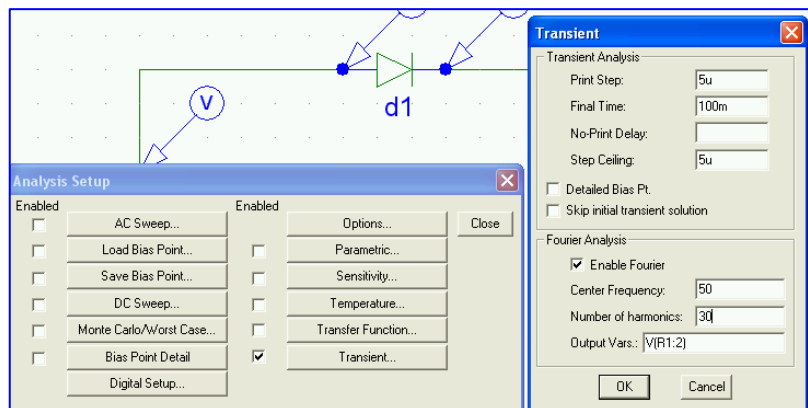


Fig. 5: Calcular harmónicos.

6.2. Carga RL série

- 16) Efectue as alterações no Schematics para obter o circuito da Fig. 6. Efectue a simulação para um "Final Time" de 200 ms.
- 17) Visualizando apenas o último período simulado, obtenha (e copie para o ficheiro Word) as formas de onda de: tensão de entrada, tensão aos terminais do díodo, tensão aos terminais da carga RL, tensão aos terminais da bobina e corrente no circuito. Comente sucintamente as formas de onda, justificando as diferenças em relação ao caso da carga puramente resistiva.
- 18) Obtenha o valor médio da corrente e tensão na carga. Determine também a potência média fornecida à carga (anote no documento Word).

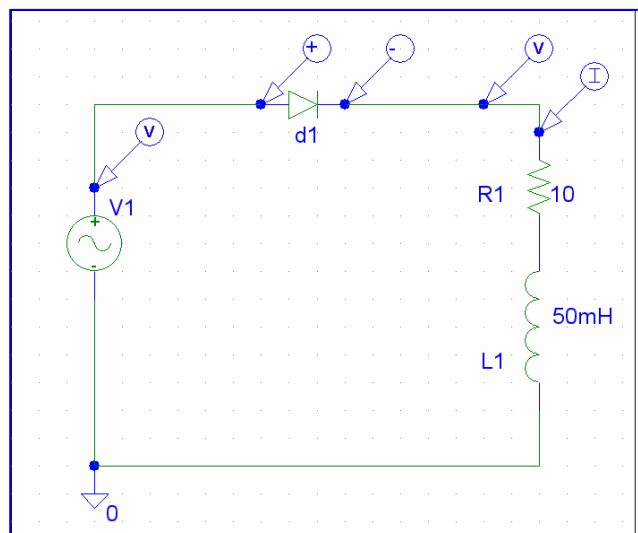


Fig. 6: Rectificador de meia-onda com carga RL.

6.3. Carga RC paralelo

- 19) Efectue as alterações no Schematics para obter o circuito da Fig. 7. Efectue a simulação para um "Final Time" de 200 ms.
- 20) Visualizando apenas o último período simulado, obtenha (e copie para o ficheiro Word) as formas de onda de: tensão de entrada, tensão aos terminais do díodo, tensão aos terminais da resistência, corrente no díodo, corrente no condensador e corrente na resistência. Comente sucintamente as formas de onda, justificando as diferenças em relação aos casos das cargas anteriores (anote no documento Word).

- 21) Obtenha o valor médio da corrente na resistência, corrente no condensador corrente no díodo e tensão na resistência (anote no documento Word).
- 22) Obtenha o valor eficaz da corrente na resistência, corrente no condensador corrente no díodo e tensão na resistência (anote no documento Word).

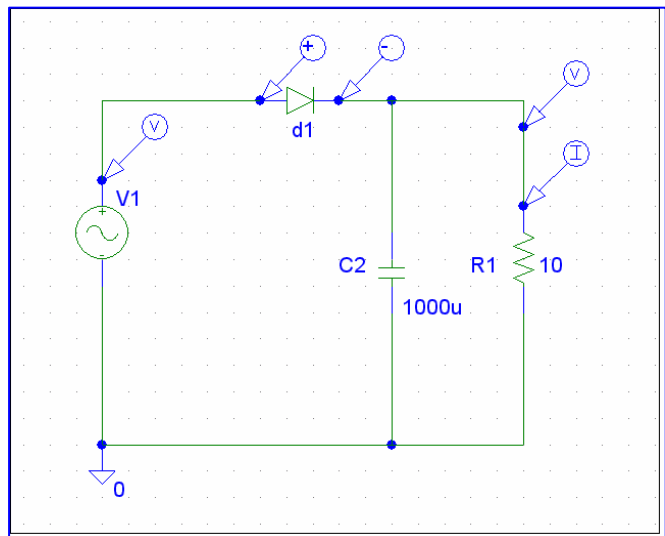


Fig. 7: Rectificador de meia-onda com carga RC.

- 23) Compacte o ficheiro Word e os ficheiros da simulação e envie por e-mail para o Professor (lolivei@ualg.pt ou ngago@ualg.pt).

Electrónica de Potência

Preparação do 1º Trabalho Prático

- Introdução aos circuitos de electrónica de potência: simulação em PSPICE -

Turma:	N.º	Nome
Grupo:		
Data:		

PREP-1) Carga resistiva

- 1) Considere o rectificador de meia-onda da Fig. 1 do trabalho. Esboce as formas de onda da tensão de entrada, tensão aos terminais do díodo, tensão aos terminais da resistência e corrente no díodo.
- 2) Determine o valor médio e o valor eficaz das grandezas esboçadas no ponto anterior. Determine a potência média fornecida à carga.

Resposta:

PREP-2) Carga RL série

- 3) Considere o retificador de meia-onda da Fig. 6 do trabalho, com carga RL série. Esboce as formas de onda de: tensão de entrada, tensão aos terminais do díodo, tensão aos terminais da carga RL, tensão aos terminais da resistência, tensão aos terminais da bobina e corrente no circuito.
- 4) Obtenha uma expressão para a corrente instantânea no circuito. Obtenha o valor médio da corrente e tensão na carga. Determine também a potência média fornecida à carga.

Resposta:

PREP-3) Carga RC paralelo

- 5) Considere o retificador de meia-onda da Fig. 6 do trabalho, com carga RL série. Esboce as formas de onda de: tensão de entrada, tensão aos terminais do díodo, tensão aos terminais da carga RL, tensão aos terminais da resistência, tensão aos terminais da bobina e corrente no circuito.
- 6) Obtenha uma expressão para a tensão instantânea no na carga. Obtenha o valor médio da tensão na carga. Determine também a potência média fornecida à carga.

Resposta:

Electrónica de Potência
2º Trabalho Prático

Conversor Comutado com IGBT

Conversor Comutado com IGBT

1. Objectivos

1. Estudar as características de funcionamento do IGBT, semiconductor de potência controlável;
2. Verificar experimentalmente o funcionamento dos semicondutores com carga RL série;
3. Analisar as características de comutação dos semicondutores

2. Material

- 1 Placa de ensaio laboratorial;
- 1 Gerador de sinais;
- 1 Osciloscópio digital TEKTRONIX;
- 1 Modulo de indutâncias;
- 1 Reóstato 0-20 Ω /5 A;
- 2 Amperímetro TRUE RMS;
- 1 Voltímetro TRUE RMS
- 1 Pinça Amperimétrica;
- Pontas de prova e cabos de ligação.

3. Procedimento Experimental

1) Efectue os seguintes ajustes:

a) **Gerador de Sinais:**

- i) Onda Quadrada;
- ii) Frequência de 5 kHz;
- iii) Amplitude da tensão de saída de 0 a 12 V.

b) **Reóstato:** 10 Ω ;

2) Execute as ligações tal como indicado na Figura 1. Após a verificação do Professor ligue a montagem.

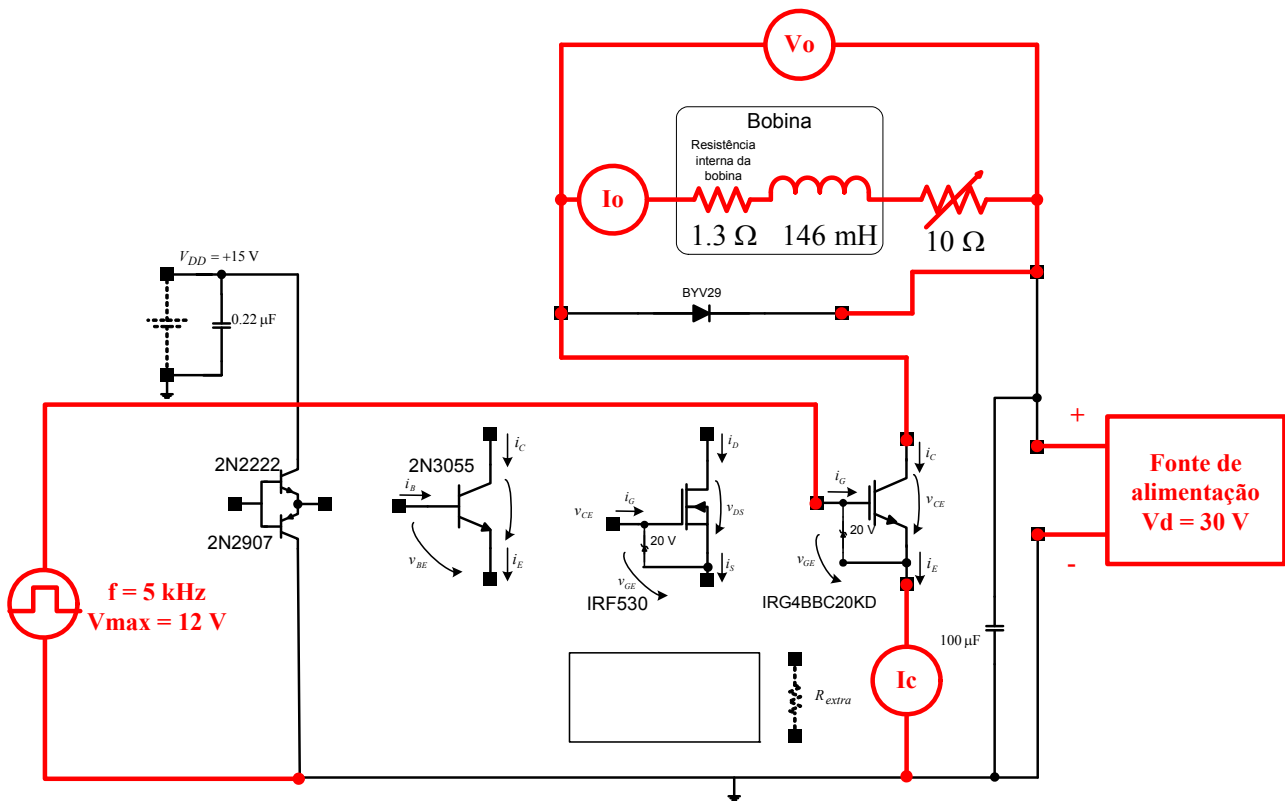


Figura 1 – Esquema de ligações para utilização do IGBT.

3) Visualize as seguintes formas de onda:

- ✓ Tensão: $v_d(t)$, $v_o(t)$, $v_{CE}(t)$, $v_{GE}(t)$ e $v_{AK\ diodo}(t)$
- ✓ Corrente: $i_o(t)$, $i_C(t)$, $i_{Diodo}(t)$ e $i_g(t)$
- ✓ Processo de entrada à condução ($i_C(t)$, $v_{CE}(t)$ e $v_{GE}(t)$);
- ✓ Processo de entrada ao corte. ($i_C(t)$, $v_{CE}(t)$ e $v_{GE}(t)$)

Nota: a maioria das formas de onda encontra-se já representada no Anexo.

- 4) Utilizando o osciloscópio obtenha os valores máximos e mínimos das grandezas visualizadas e os intervalos de tempo relevantes (anote nas próprias figuras).
- 5) Desligue a montagem e ajuste a frequência de comutação para 80 kHz;
- 6) Visualize as seguintes formas de onda de $v_{CE}(t)$ e de $i_C(t)$. Registe os valores máximos e mínimos.
- 7) Desligue a montagem e arrume a bancada, os cabos e equipamentos.

Autoavaliação e tópicos a aprofundar

(trabalho para casa - componente não avaliada no trabalho - **não entregar**)

- Casa-1) Calcule novamente os valores dos aparelhos de medida, incluindo agora no seu cálculo a queda de tensão em condução do IGBT.
- Casa-2) Calcule as perdas de comutação e condução do BJT e do MOSFET cujas tabelas técnicas são apresentadas em Anexo. Compare-as com as perdas do IGBT já calculadas no ponto 4 do Estudo Prévio.

Electrónica de Potência
Preparação do 2º Trabalho Prático
- Conversor Comutado com IGBT -

Turma:	N.º	Nome
Grupo:		
Data:		

- 1) Considere o esquema da Figura 1. Assuma o IGBT ideal e que a carga RL série pode ser aproximada a uma fonte de corrente contínua. Esboce as formas de onda de: $i_o(t)$, $i_C(t)$, $i_{Diodo}(t)$, $v_o(t)$, $v_{CE}(t)$, $v_{GE}(t)$ e $v_{AK\ diodo}(t)$.

Resposta:

2) Para o circuito da Fig. 1 calcule: $I_{o(AC)}$, $I_{o(DC)}$, $I_{C(AC)}$, $I_{C(DC)}$, $V_{o(DC)}$, $V_{o(AC)}$ e P_o . Anote os resultados na linha 1 do anexo (células sombreadas). Assuma os semicondutores ideais.

Resposta:

3) Através dos datasheets, fornecidos, retire os seguintes dados: $V_{CE(on)}$, t_{ri} e t_{fi} .

Resposta:

- 4) Considerando agora os parâmetros da alínea anterior (IGBT não ideal) esboce as formas de onda de: $i_o(t)$, $i_C(t)$, $i_{Diodo}(t)$, $v_o(t)$, $v_{CE}(t)$, $v_{GE}(t)$ e $v_{AK\ diodo}(t)$. Esboce também a forma de onda da potência dissipada no IGBT. Despreze os tempos de comutação da tensão.

Resposta:

- 5) Calcule a potência média dissipada no IGBT, separando as componentes de perdas de comutação e de perdas de condução.

Resposta:

Anexo sobre o 2º Trabalho Prático: Conversor Comutado com IGBT

Turma:	N.º	Nome
Grupo:		
Data:		

Tabela 1 – Medições e resultados obtidos.

	Valores	$I_{C(AC)}$ (mA)	$I_{C(DC)}$ (mA)	$I_{o(AC)}$ (mA)	$I_{o(DC)}$ (mA)	$V_{o(AC)}$ (V)	$V_{o(DC)}$ (V)	P_o (W)	$t_{C(OFF)}$ (μ S)	$t_{C(ON)}$ (μ S)
1	Calculados								X	X
2	Medidos									

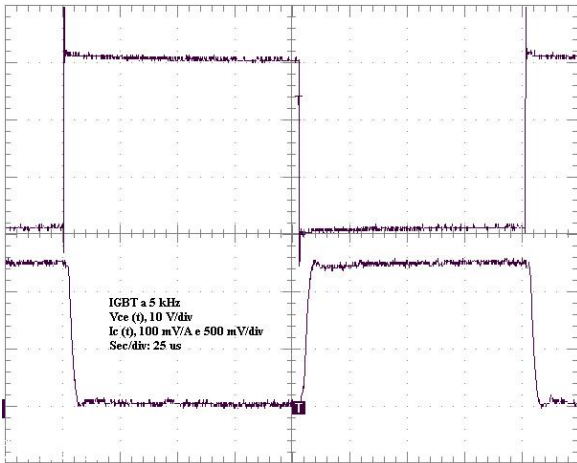


Figura 2 – Formas de onda de $v_{CE}(t)$ e $i_C(t)$.

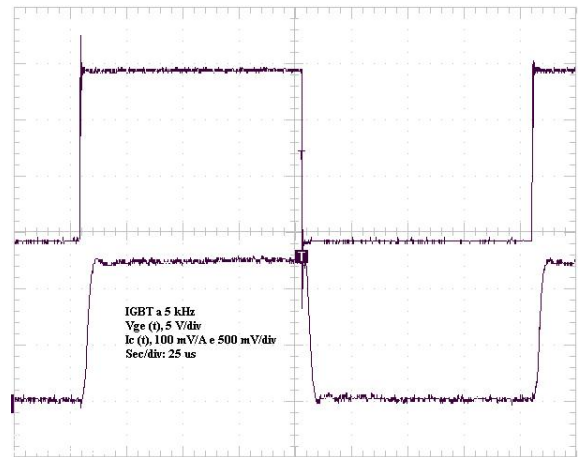


Figura 3 – Formas de onda de $v_{GE}(t)$ e $i_C(t)$.

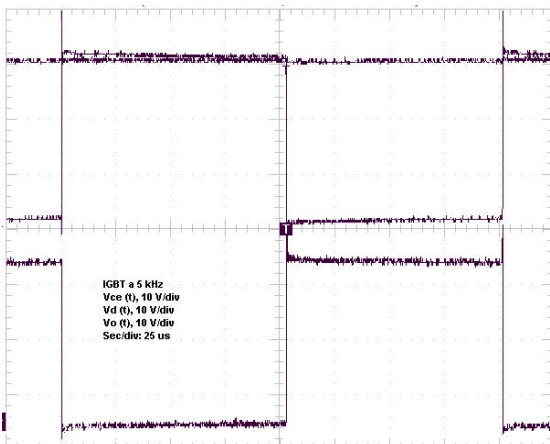


Figura 4 – Formas de onda de $v_d(t)$ e $v_{CE}(t)$ e $v_o(t)$.

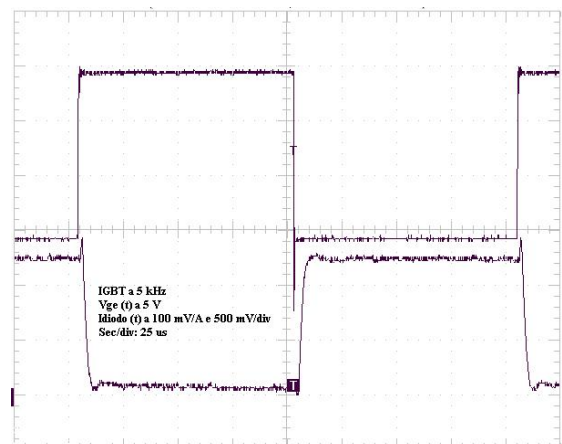


Figura 5 – Formas de onda de $v_{GE}(t)$ e $i_{diodo}(t)$.

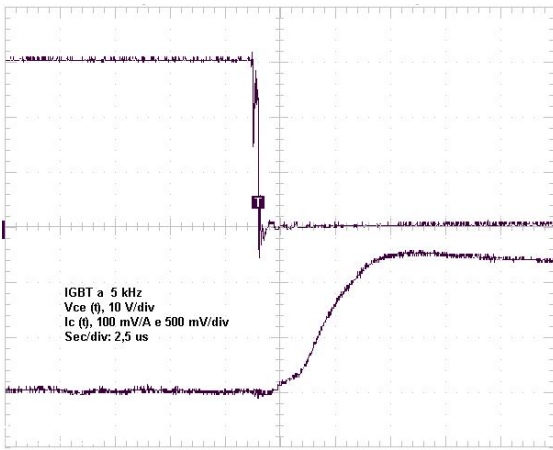


Figura 6 – Processo de entrada à condução.

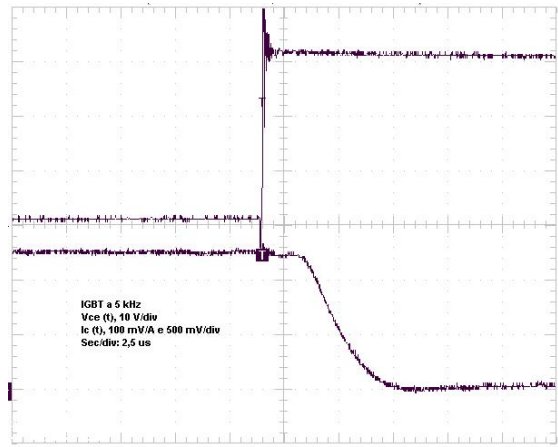


Figura 7 – Processo de entrada ao corte.

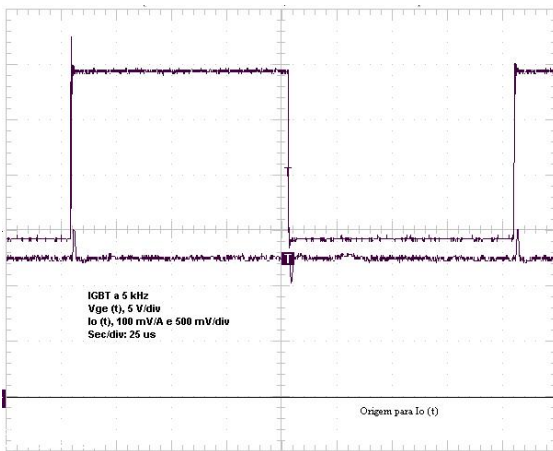


Figura 8 – Formas de onda de $v_{GE}(t)$ e $i_o(t)$.

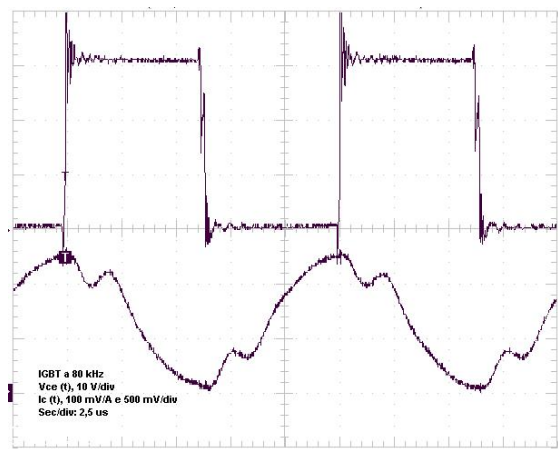


Figura 9 – Formas de onda de $v_{CE}(t)$ e $i_C(t)$ a 80 kHz.

Relatório sobre o 2º Trabalho Prático (feito na aula)
Conversor Comutado com IGBT

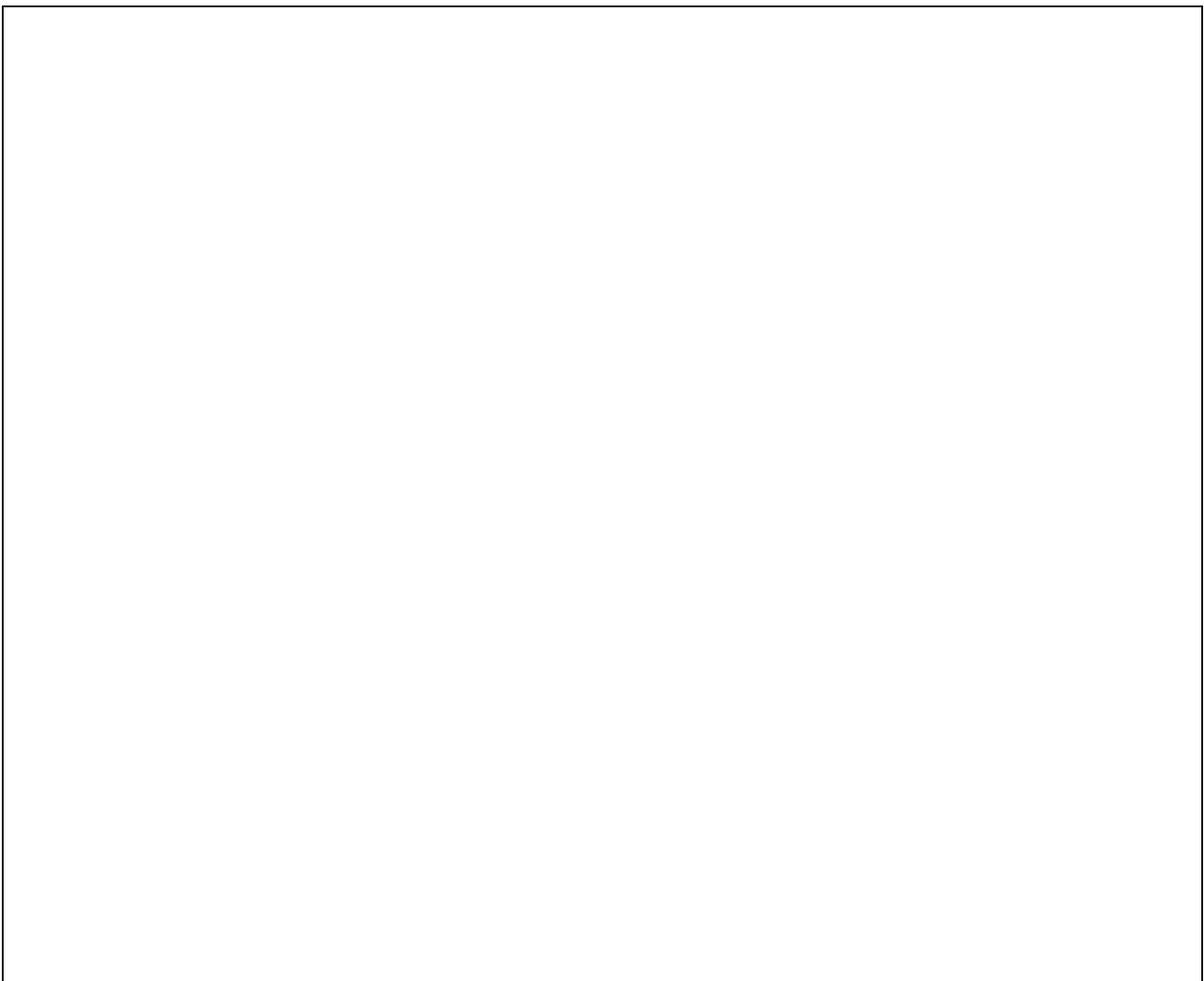
Turma:	N.º	Nome
Grupo:		
Data:		

R-1) Comente/compare os valores medidos com os calculados. Justifique eventuais diferenças.

Resposta:

R-2) Comente detalhadamente as formas de onda visualizadas.

Resposta:



R-3) Determine as perdas de comutação do semiconductor utilizando os tempos medidos no trabalho.

Resposta:



R-4) Utilizando a alínea anterior e o valor das perdas de condução calculadas no estudo prévio, determine o rendimento do conversor. Comente o valor obtido.

Resposta:

Electrónica de Potência
3º Trabalho Prático

Ponte Rectificadora Monofásica

Ponte Rectificadora Monofásica

1. Objectivos

1. Estudar o funcionamento da ponte rectificadora monofásica.
2. Analisar experimentalmente o seu funcionamento com filtro capacitivo e filtro LC;

2. Material

- 1 Placa de ensaio laboratorial de 4 díodos;
- 1 Transformador trifásico;
- 1 Módulo de resistências;
- 1 Módulo de bobinas;
- 1 Módulo de condensadores;
- 1 Wattímetro digital;
- 1 Amplificador de isolamento;
- 1 Osciloscópio digital;
- 4 Amperímetros TRUE RMS;
- 2 Voltímetros TRUE RMS;
- 1 Pinça Amperimétrica;
- 1 Ponta de prova e cabos de ligação

3. Procedimento Experimental 1 - Carga R e filtro LC

- 1) Execute as ligações tal como indicado na Figura 1, com:

$C_d = 68.4 \mu\text{F}$	$R_d = 110 \Omega$	$L_d = 233 \text{ mH}$ (Shunt desligado)
--------------------------	--------------------	--

- 2) Registe as leituras dos aparelhos de medida na Tabela 1.
- 3) Visualize sucessivamente as seguintes formas de onda:

$v_s(t)$	$v_o(t)$	$v_d(t)$	$v_{\text{diodo1}}(t)$	$i_s(t)$	$i_d(t)$	$i_C(t)$	$i_o(t)$
----------	----------	----------	------------------------	----------	----------	----------	----------

As formas de onda encontram-se já representadas no Anexo (Fig. A-1). Identifique-as, anotando as suas grandezas relevantes (valores máximos e mínimos).

- 4) Altere o valor da indutância para $L_d = 700 \text{ mH}$. Visualize as formas de onda de $v_d(t)$ e $i_d(t)$. As formas de onda encontram-se já representadas no Anexo (Fig. A-2). Identifique-as, anotando as suas grandezas relevantes (valores máximos e mínimos).
- 5) Recolocar $L_d = 233 \text{ mH}$, altere o valor da carga para $R = 293 \Omega$ e visualize as formas de onda de $v_d(t)$, $v_o(t)$ e $i_d(t)$. As formas de onda encontram-se já representadas no Anexo (Fig. A-3). Identifique-as, anotando as suas grandezas relevantes (valores máximos e mínimos).

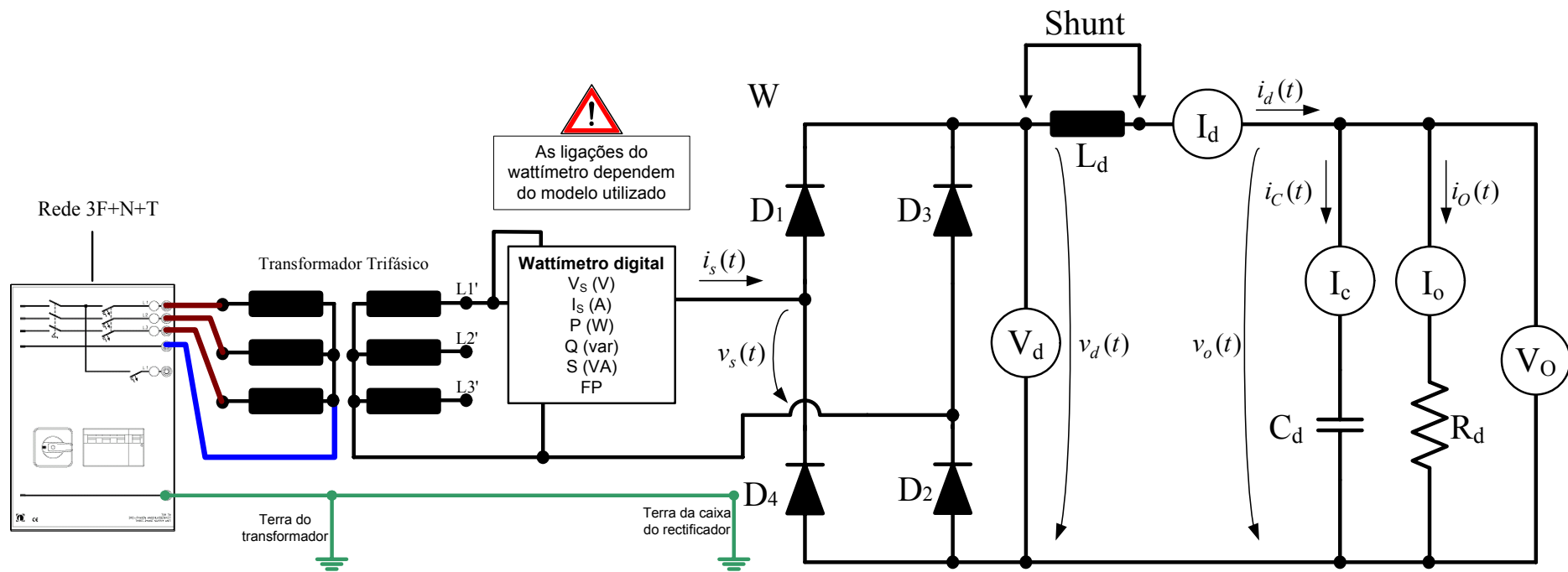


Fig. 1: Esquema de montagem.

4. Parte 2 (opcional) – Carga R e filtro capacitivo

6) Efectue as alterações no circuito anterior, para obter:

$C_d = 68.4 \mu\text{F}$	$R_d = 220 \Omega$	$L_d = 0 \text{ H}$ (Shunt ligado)
--------------------------	--------------------	------------------------------------

7) Registe as leituras dos aparelhos de medida na Tabela 2.

8) Visualize sucessivamente as seguintes formas de onda:

$v_s(t)$	$v_o(t)$	$i_s(t)$	$i_d(t)$	$i_C(t)$	$i_o(t)$
----------	----------	----------	----------	----------	----------

As formas de onda encontram-se já representadas no Anexo (Fig. A-4). Identifique-as.

9) Altere o valor do condensador para $C_d = 7.2 \mu\text{F}$ e posteriormente para $C_d = 25.2 \mu\text{F}$ e visualize as formas de onda de $v_s(t)$ e $v_o(t)$. As formas de onda encontram-se já representadas no Anexo (Fig. A-5). Identifique-as, anotando as suas grandezas relevantes (valores máximos e mínimos).

10) Desligue a montagem e arrume a bancada, os cabos e equipamentos.

Autoavaliação e tópicos a aprofundar

(trabalho para casa - componente não avaliada no trabalho - não entregar)

Casa-1) Considere o esquema da Figura 1 com carga R e filtro capacitivo, esboce as formas de onda de: $v_s(t)$, $v_o(t)$, $v_{\text{diodo1}}(t)$, $i_s(t)$, $i_d(t)$, $i_C(t)$, $i_o(t)$ e $i_{\text{diodo1}}(t)$.

Casa-2) Considere o esquema da Figura 1 com carga R e filtro capacitivo. Dimensione o condensador de forma a obter uma ondulação máxima da tensão de saída de 45 %, em relação ao seu valor médio. Utilize $V_s = 127 \text{ V}$. Efectue os cálculos de modo a obter as leituras dos aparelhos de medida (AC e DC, quando aplicável).

Casa-3) Para as condições do ensaio com carga R e filtro capacitivo, determine a ondulação pico-a-pico da tensão de saída caso se utilize um condensador de $200 \mu\text{F}$.

Casa-4) Para as condições do ensaio com carga R e filtro LC, determine o valor médio e o valor eficaz da corrente nos díodos.

Casa-5) Para as condições do ensaio com carga R e filtro LC, determine a distorção harmónica total da corrente de entrada da ponte rectificadora.

Casa-6) Para as condições do ensaio com carga R e filtro LC, determine a potência aparente fornecida à ponte rectificadora e o factor de potência na entrada.

Electrónica de Potência
Preparação do 3.º Trabalho Prático
- Ponte Rectificadora Monofásica -

Turma:	N.º	Nome
Grupo:		
Data:		

- 1) Para o circuito da Fig. 1 com carga R e filtro LC (shunt desligado), esboce as formas de onda de: $v_s(t)$, $v_d(t)$, $v_o(t)$, $v_{diodo1}(t)$, $i_s(t)$, $i_d(t)$, $i_C(t)$, $i_o(t)$ e $i_{diodo1}(t)$ para o regime de condução contínua. Utilize escalas coerentes e indique-as. Utilize a folha de esboços fornecida.
- 2) Para o circuito da Fig. 1 com carga R e filtro LC (shunt desligado), esboce as formas de onda de: $v_s(t)$, $v_d(t)$, $v_o(t)$, $v_{diodo1}(t)$, $i_s(t)$, $i_d(t)$, $i_C(t)$, $i_o(t)$ e $i_{diodo1}(t)$ para o regime de condução descontínua. Utilize escalas coerentes e indique-as. Utilize a folha de esboços fornecida.
- 3) Para o circuito da Fig. 1, com carga R e filtro LC, considere: $C_d = 68.4 \mu\text{F}$, $R_d = 110 \Omega$ e $L_d = 233 \text{ mH}$. Utilize $V_s = 127 \text{ V}$. Determine qual o regime de condução.

Resposta:

- 4) Para as condições da alínea anterior, efectue os cálculos de modo a preencher as células sombreadas da Tabela 1. Despreze os harmónicos da tensão de saída com frequência superior a 250 Hz.

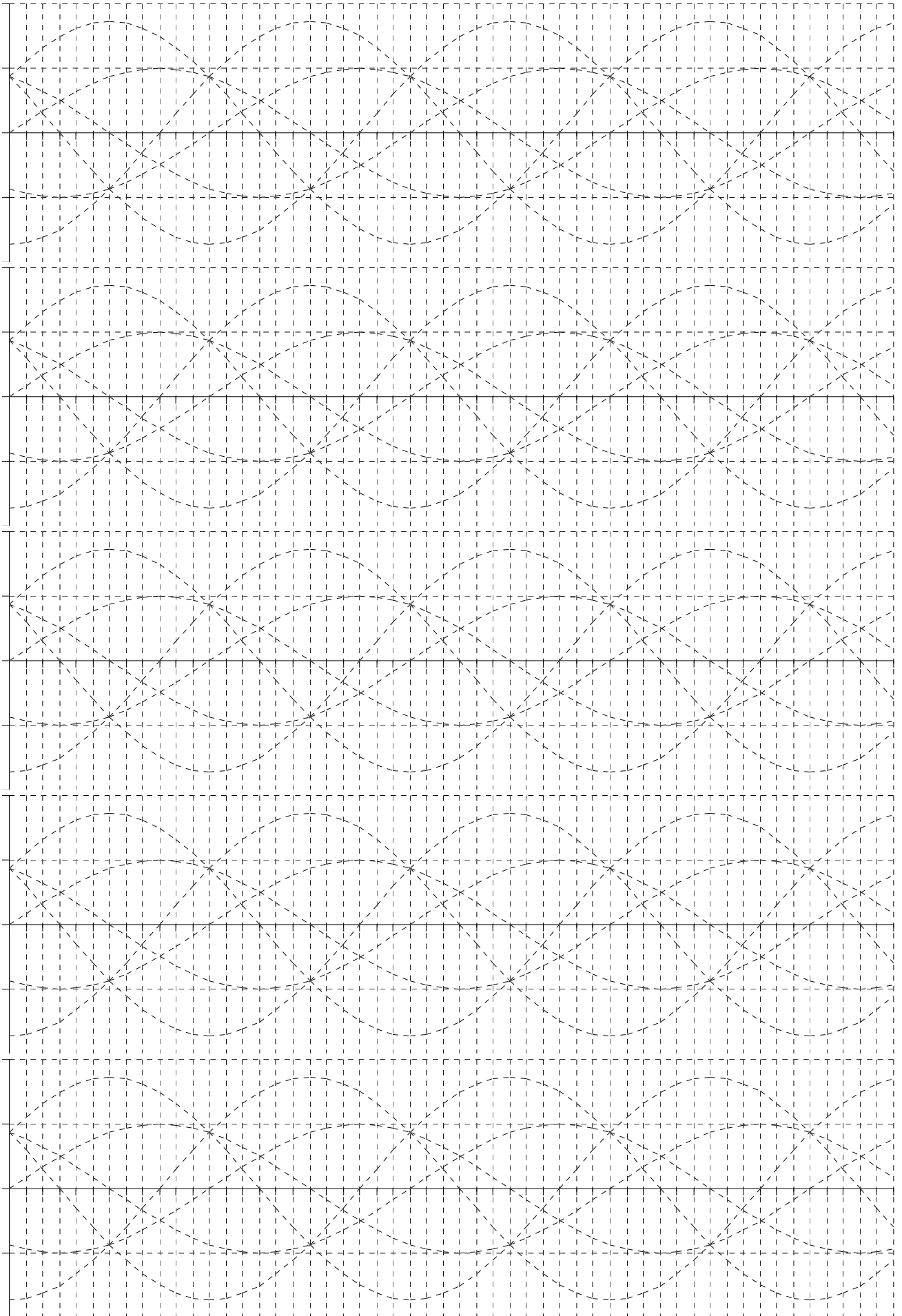
Resposta:

- 5) Indique como deverá ser colocada a ponta de prova (isolada) de forma a visualizar a forma de onda da tensão aos terminais A-K do diodo 1 e do diodo 4.

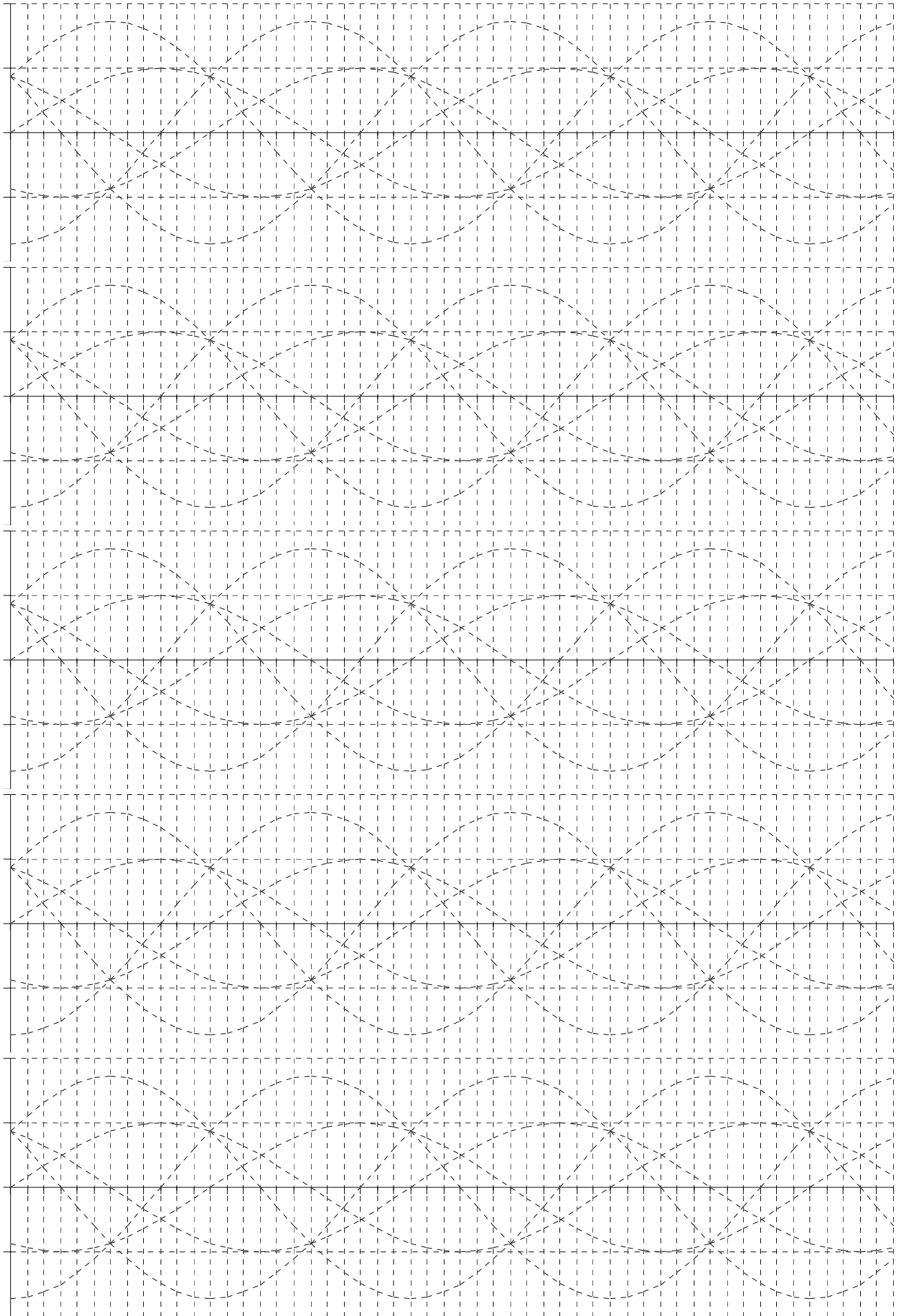
Resposta:

- 6) Considere o esquema da Figura 1 com filtro capacitivo e carga R (shunt ligado). Esboce as formas de onda de: $v_s(t)$, $v_o(t)$, $v_{diodo1}(t)$, $i_s(t)$, $i_d(t)$, $i_C(t)$, $i_o(t)$ e $i_{diodo1}(t)$. Utilize escalas coerentes e indique-as (considere todos os componentes ideais). Utilize a folha de esboços fornecida.

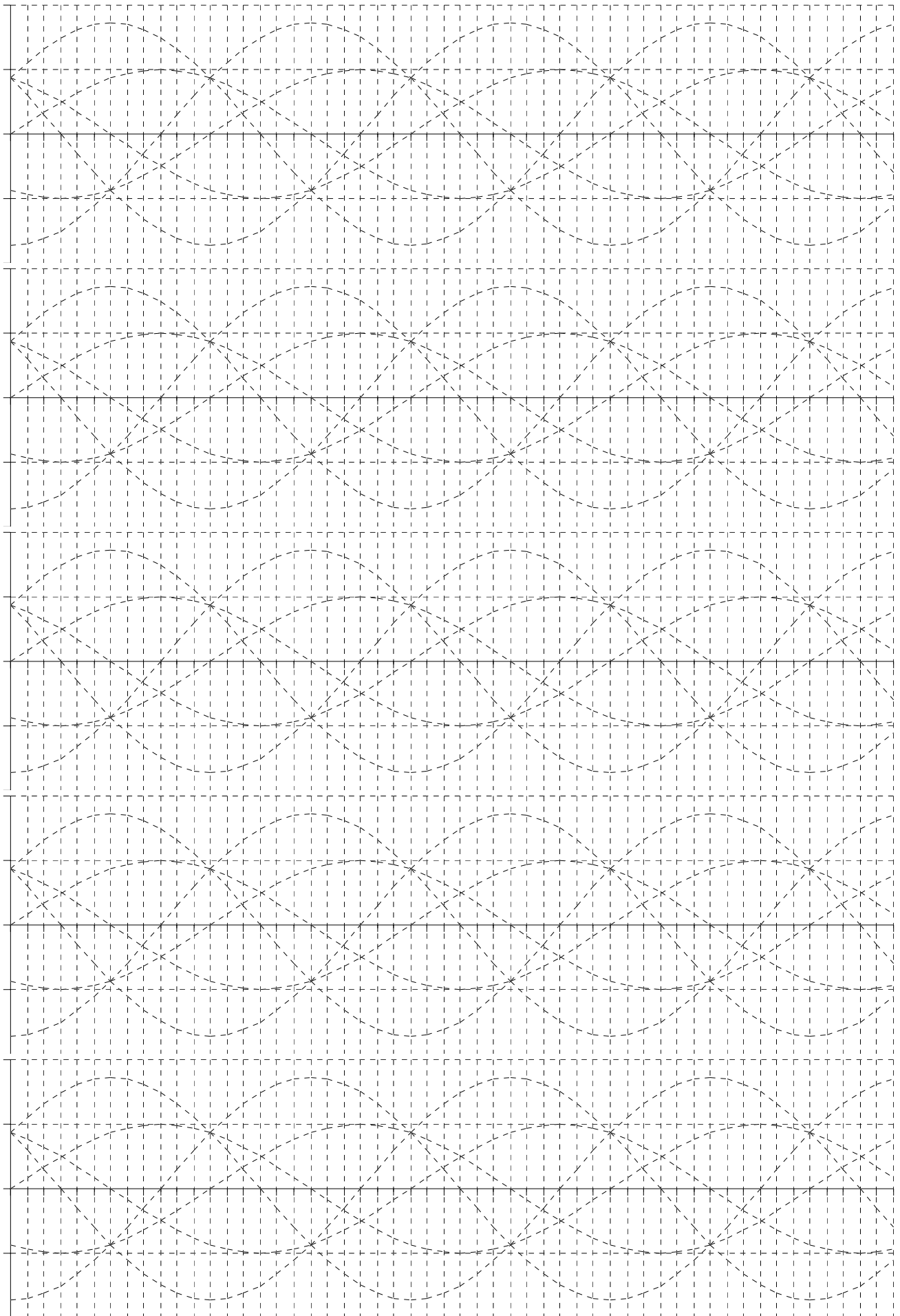
1)



2)



6)



Anexo sobre o 2º Trabalho Prático: Ponte Rectificadora Monofásica

Turma:	N.º	Nome
Grupo:		
Data:		

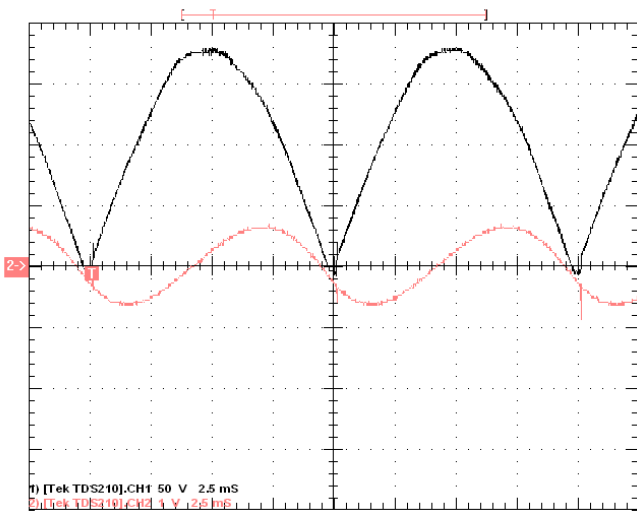
1. Valores medidos/calculados

Tabela 1: Resultados calculados/medidos para o ensaio com filtro LC.

	Wattímetro						V _d (V)		I _d (A)		I _c (A)		I _o (A)		V _o (V)	
	V _s (V)	I _s (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	FP	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC
Calculados	127															
Medidos																

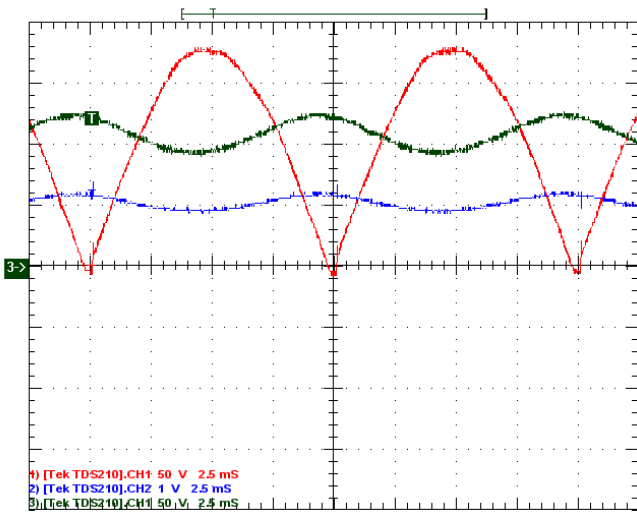
Tabela 2: Resultados calculados/medidos para o ensaio com filtro capacitivo (opcional).

	Wattímetro						V _d (V)		I _d (A)		I _c (A)		I _o (A)		ΔV _{d p-p} (V)
	V _s (V)	I _s (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	FP	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	
Calculados	127	X		X	X	X		X		X		X		X	
Medidos															



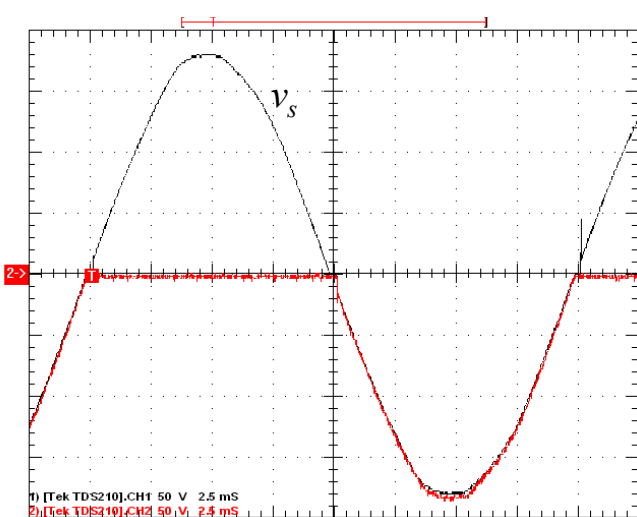
(d)

Comentários:



(e)

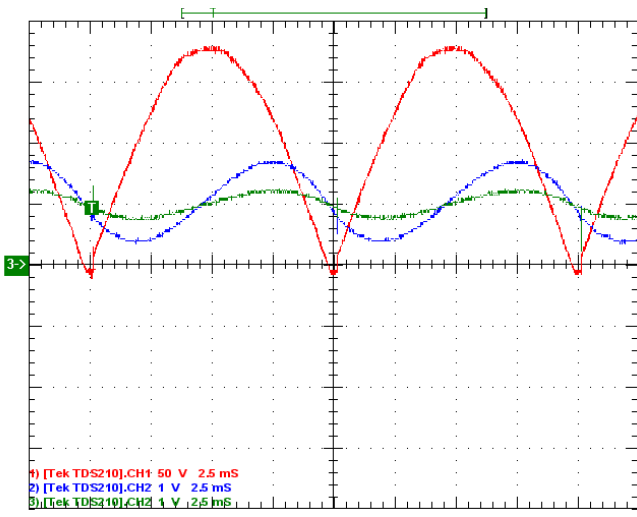
Comentários:



(f)

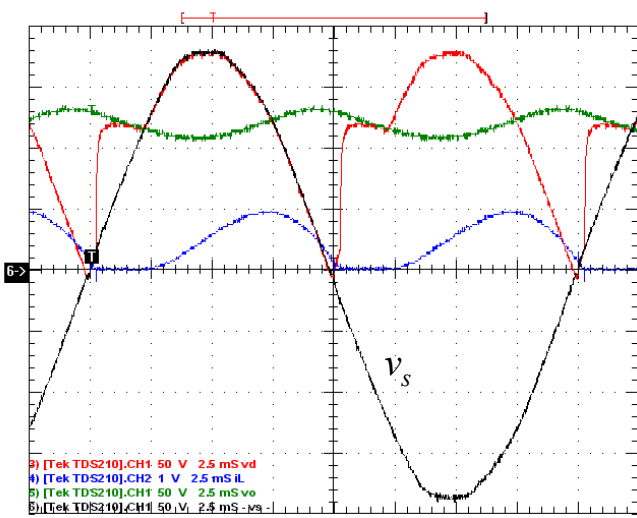
Comentários:

Fig. A-1 (continuação): Formas de onda referentes ao ensaio com carga R e filtro LC.



Comentários:

Fig. A-2: Formas de onda referentes ao ensaio com carga R e filtro LC, variando L_d .



Comentários:

Fig. A-3: Formas de onda referentes ao ensaio com carga R e filtro LC, variando R_d .

3. Formas de onda referentes ao ensaio com filtro capacitivo (opcional)

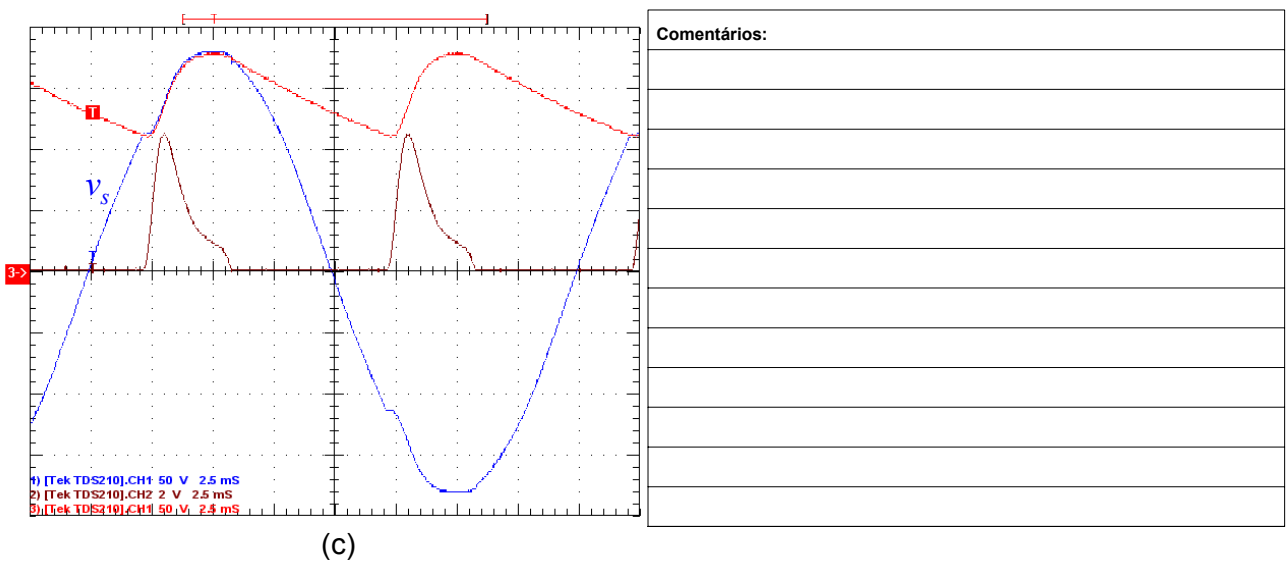
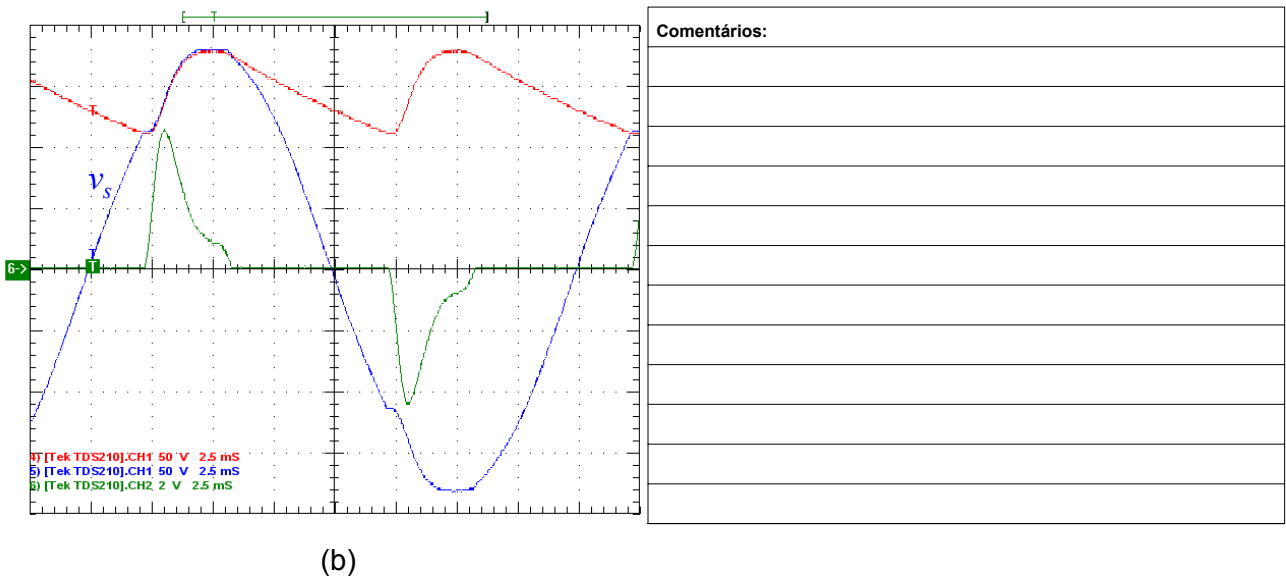
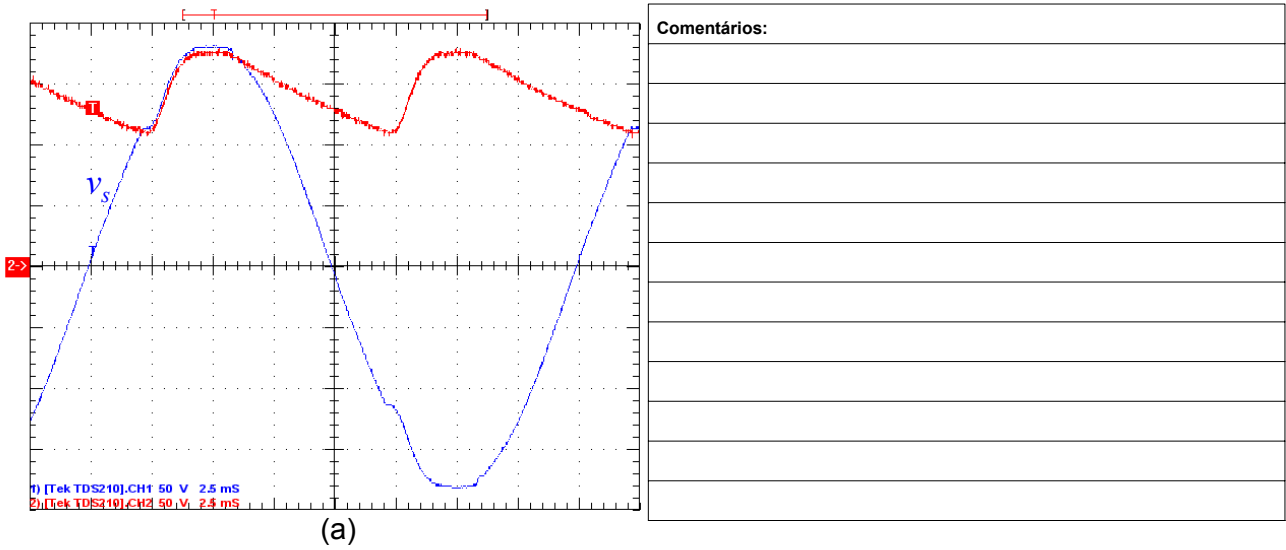
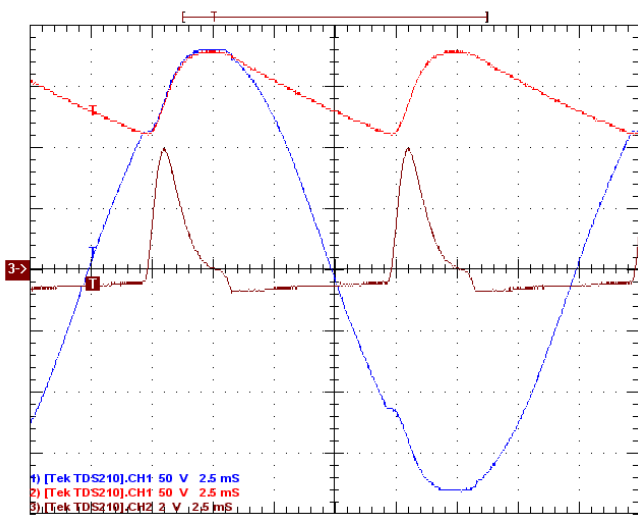
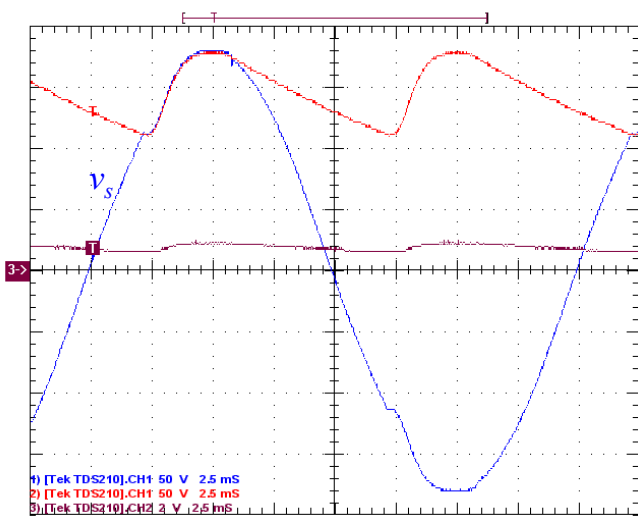


Fig. A-4: Formas de onda referentes ao ensaio com carga R e filtro capacitivo, com $C_d = 68.4 \mu\text{F}$ (continua).



Comentários:

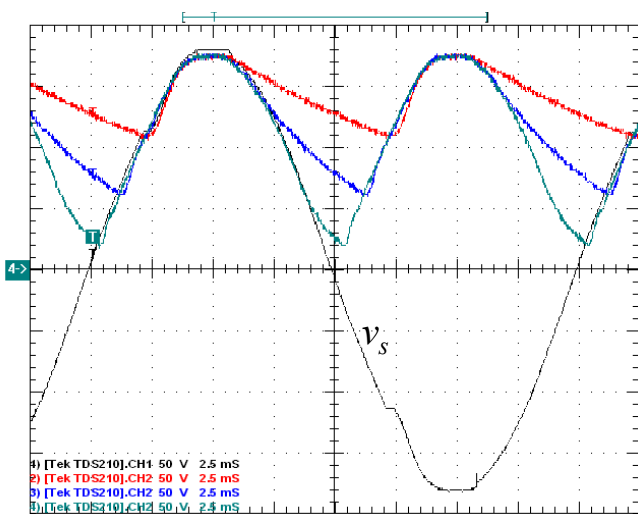
(d)



Comentários:

(e)

Fig. A-4 (continuação): Formas de onda referentes ao ensaio com carga RC, com $C_d = 68.4 \mu\text{F}$.



Comentários:

Fig. A-5: Formas de onda referentes ao ensaio com carga R e filtro capacitivo, para vários valores de C_d .

Relatório sobre o 2º Trabalho Prático (feito na aula)
Ponte Rectificadora Monofásica

Turma:	N.º	Nome
Grupo:		
Data:		

R-1) Comente/compare os valores medidos com os calculados. Justifique eventuais diferenças.

Resposta:

R-2) Compare o funcionamento do circuito para os casos de filtros L e LC. Enumere as vantagens/desvantagens dos dois tipos de filtro.

Resposta:

R-3) Explique a influência do valor da bobina e da resistência no funcionamento da ponte rectificadora com filtro LC nos regimes de condução contínua e descontínua.

Resposta:

R-4) Comente **TODAS** as formas de onda visualizadas, incluindo no seu raciocínio:

- i) A relação entre as várias grandezas visualizadas.
- ii) A relação das grandezas visualizadas com as grandezas medidas.
- iii) A influência do valor da bobina e da resistência no funcionamento da ponte rectificadora com filtro LC.

Para os comentários das formas de onda utilize apenas o espaço fornecido junto das mesmas.

Electrónica de Potência
4º Trabalho Prático

Ponte Rectificadora Trifásica

Ponte Rectificadora Trifásica

1. Objectivos

1. Estudar o funcionamento da ponte rectificadora trifásica.
2. Visualizar e medir as grandezas eléctricas relevantes.

2. Material

- 1 Placa de ensaio laboratorial de 6 díodos;
- 1 Transformador trifásico;
- 1 Módulo de resistências;
- 1 Módulo de bobinas;
- 1 Wattímetro digital;
- 1 Amplificador de isolamento;
- 1 Osciloscópio digital;
- 1 Amperímetro TRUE RMS;
- 1 Voltímetro TRUE RMS;
- 1 Pinça Amperimétrica;

3. Procedimento Experimental

- 1) Execute as ligações tal como indicado na Figura 1, com $R_d = 220 \Omega$ e $L_d = 233 \text{ mH}$.
- 2) Ligue a fonte e registe as leituras dos aparelhos de medida na Tabela 1.
- 3) Visualize sucessivamente as seguintes formas de onda: $v_{an}(t)$, $v_{bn}(t)$, $v_{cn}(t)$, $v_{ab}(t)$, $v_d(t)$, $v_{diodo1}(t)$, $i_a(t)$, $i_b(t)$, $i_c(t)$ e $i_d(t)$. As formas de onda encontram-se já representadas no Anexo (Fig. A-1). Identifique-as, anotando as suas grandezas relevantes (valores máximos e mínimos).
- 4) Registe as leituras dos aparelhos de medida na Tabela 1. Desligue a montagem e arrume a bancada, os cabos e os equipamentos.

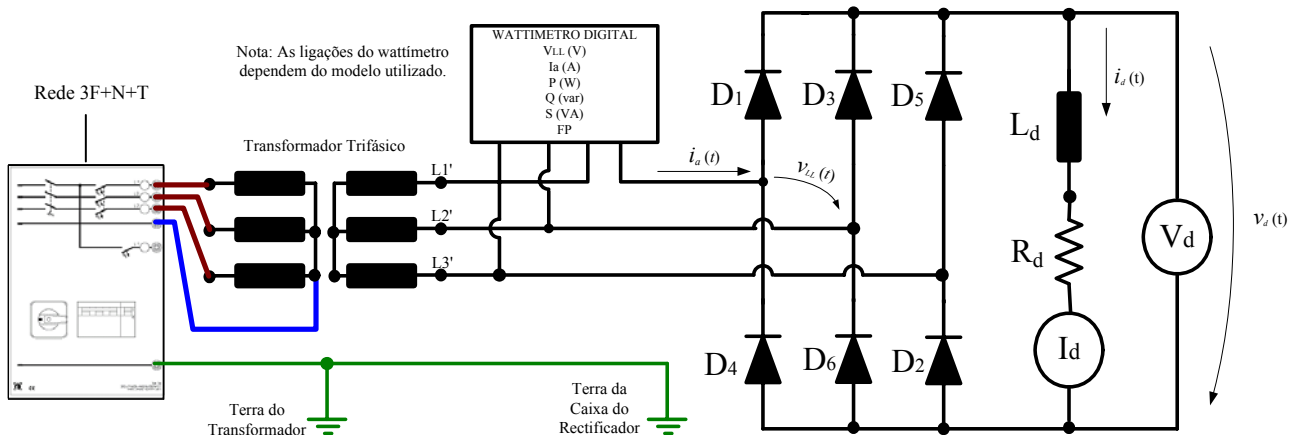


Fig. 1: Esquema de montagem.

Autoavaliação e tópicos a aprofundar

(trabalho para casa - componente não avaliada no trabalho - **não entregar**)

- Casa-1) Considere agora que a indutância da fonte não é desprezável. Esboce as formas de onda de: $v_{an}(t)$, $v_{bn}(t)$, $v_{cn}(t)$, $v_{ab}(t)$, $v_d(t)$, $v_{diodo1}(t)$, $i_a(t)$, $i_b(t)$, $i_c(t)$, $i_d(t)$ e $i_{diodo1}(t)$. Assuma que a corrente no lado DC não possui componente alternada e considere o intervalo de comutação de 10° .
- Casa-2) Nas condições da alínea anterior, efectue novamente os cálculos para obter as grandezas pedidas na Tabela 1, considerando $L_s = 1 \text{ mH}$.

Electrónica de Potência
Preparação do 4.º Trabalho Prático
- Ponte Rectificadora Trifásica -

Turma:	N.º	Nome
Grupo:		
Data:		

- 1) Considere a ponte rectificadora trifásica representada na Fig. 1 (carga RL série). Esboce as formas de onda de: $v_{an}(t)$, $v_{bn}(t)$, $v_{cn}(t)$, $v_{ab}(t)$, $v_d(t)$, $v_{diodo1}(t)$, $i_a(t)$, $i_b(t)$, $i_c(t)$, $i_d(t)$ e $i_{diodo1}(t)$. Utilize escalas coerentes e indique-as (considere todos os componentes ideais). Utilize a folha de esboços fornecida.
- 2) Para $R_d = 220 \Omega$, $L_d = 233 \text{ mH}$, $V_{LL} = 220 \text{ V}$, efectue os cálculos de modo a preencher as células sombreadas da Tabela 1. Despreze os harmónicos da tensão de saída com frequência superior a 600 Hz.

Resposta:

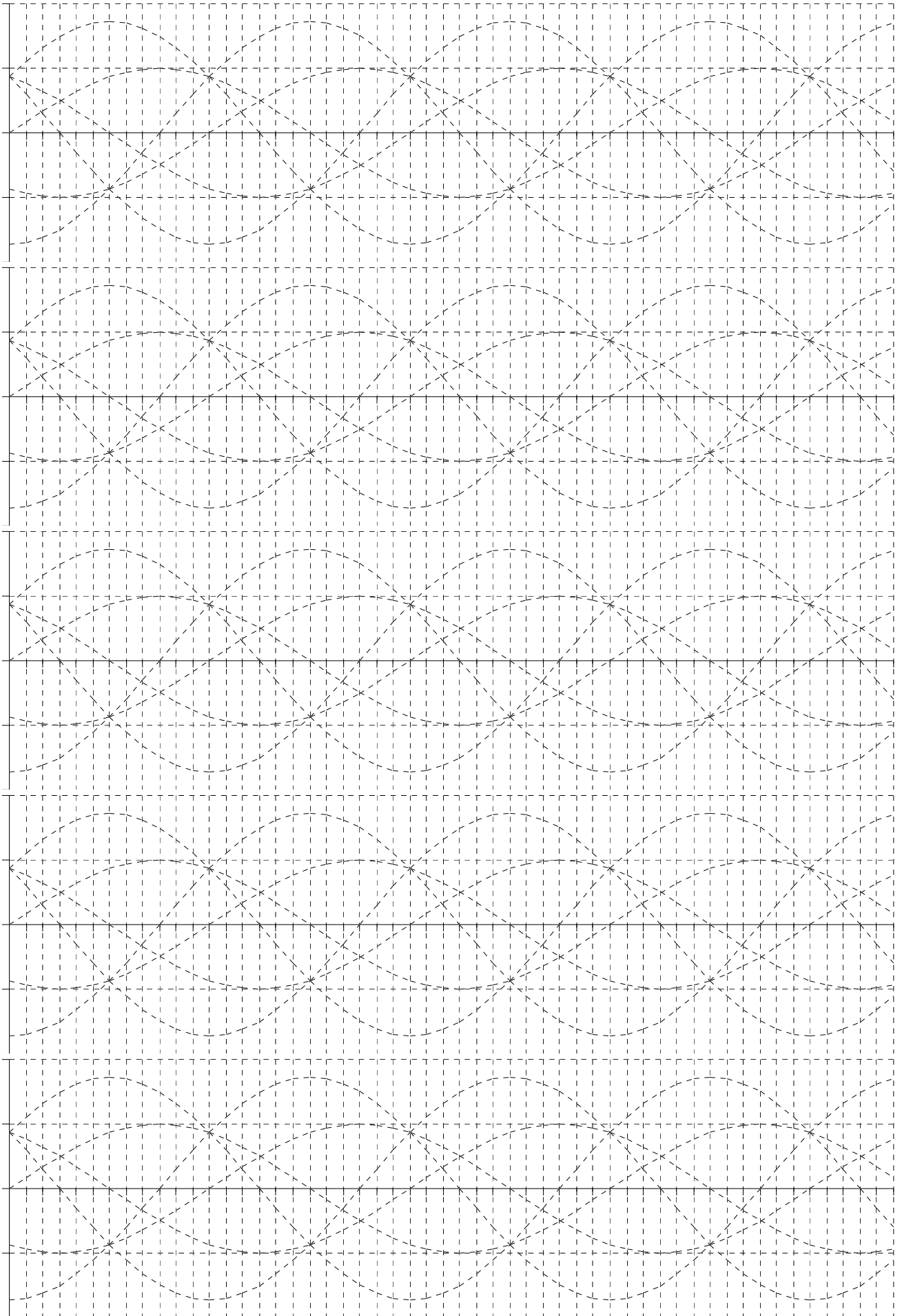


3) Indique como deverá ser colocada a ponta de prova (isolada) de forma a visualizar a forma de onda da tensão aos terminais A-K do díodo 1 e do díodo 4.

Resposta:



1)



Anexo sobre o 4º Trabalho Prático: Ponte Rectificadora Trifásica

Turma:	N.º	Nome
Grupo:		
Data:		

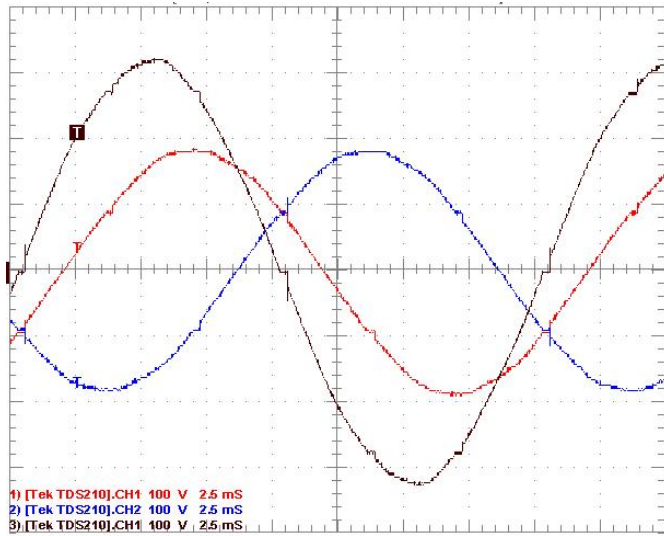
1. Valores medidos/calculados

Tabela 1: Resultados calculados/medidos para o ensaio com carga RL série.

	Wattímetro						V_d (V)			I_d (A)			I_{Diodo_1} (A)	
	V_{LL} (V)	I_L (A)	Q (var)	S (VA)	P (W)	FP	DC	AC	Eficaz	DC	AC	Eficaz	DC	Eficaz
Resultados Estudo Prévio	220 V													
Medidos									(*)			(*)		

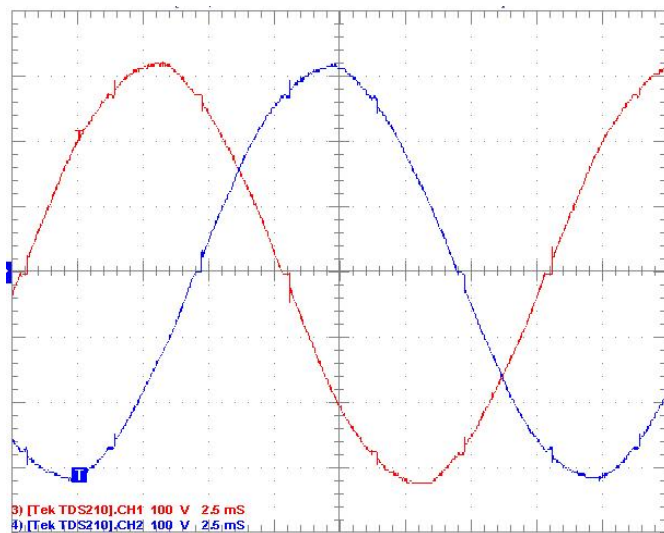
(*): Calcular a partir dos valores medidos (indicar a expressão).

2. Formas de onda referentes ao ensaio com carga RL



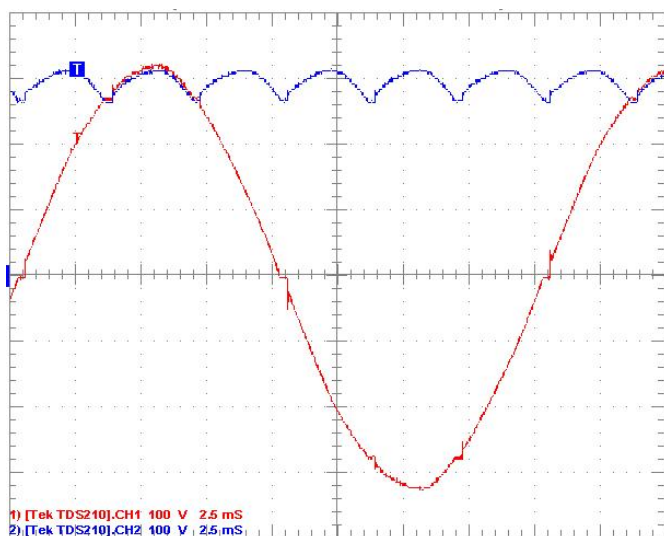
Comentários:

(a)



Comentários:

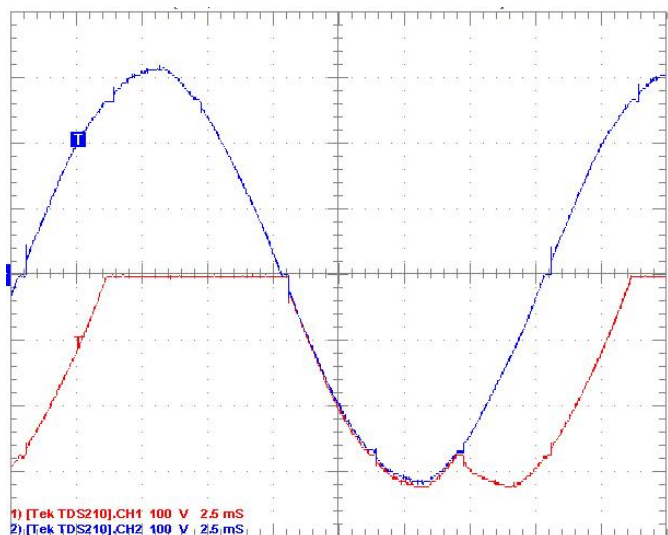
(b)



Comentários:

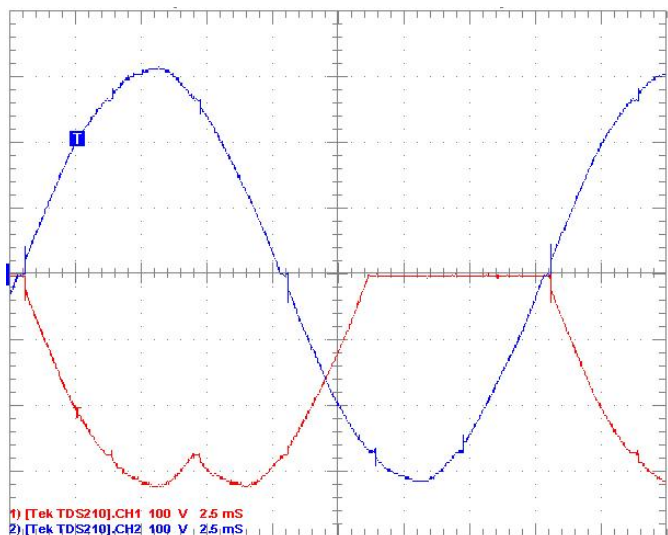
(c)

Fig. A-1: Formas de onda referentes ao ensaio com carga RL série (continua).



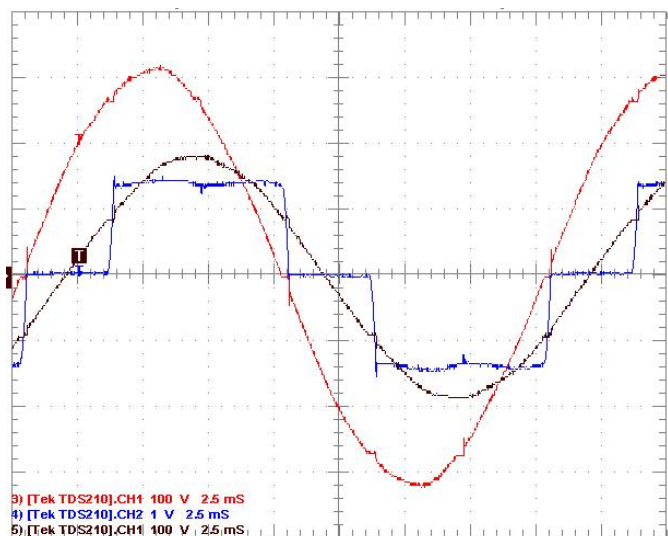
Comentários:

(d)



Comentários:

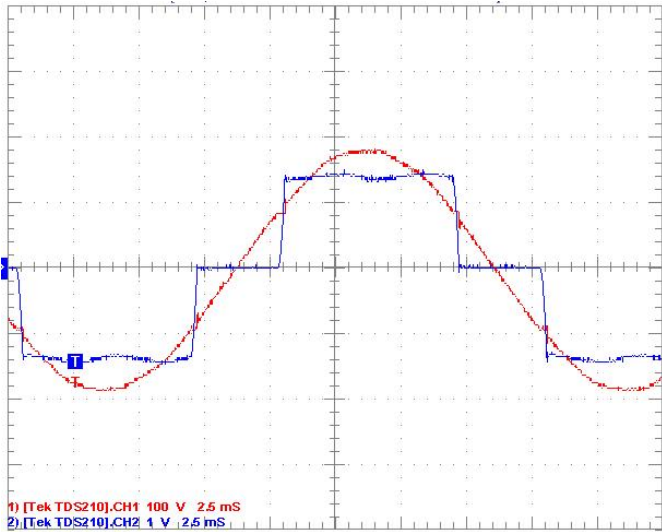
(e)



Comentários:

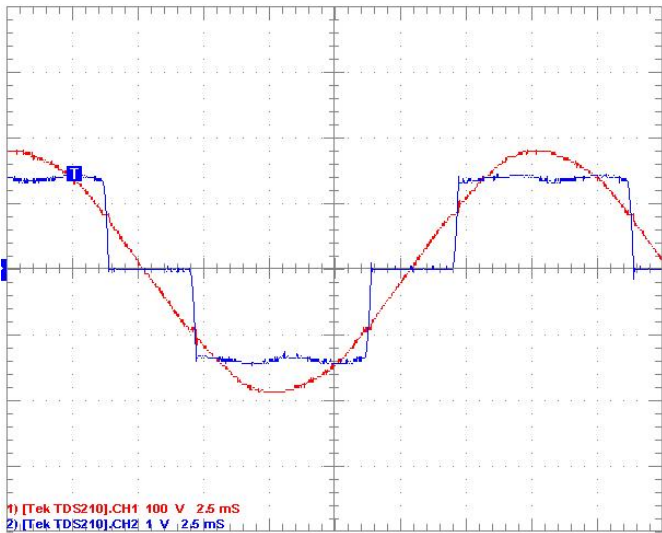
(f)

Fig. A-1 (continuação): Formas de onda referentes ao ensaio com carga RL série (continua).



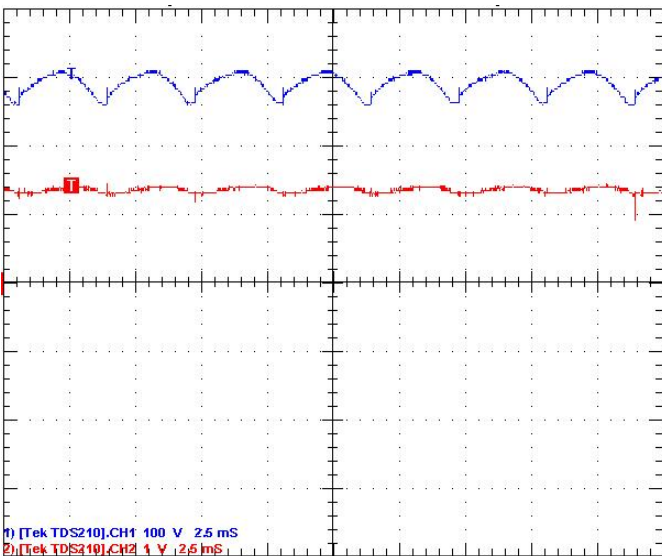
Comentários:

(g)



Comentários:

(h)



Comentários:

(i)

Fig. A-1 (continuação): Formas de onda referentes ao ensaio com carga RL série.

Relatório sobre o 4º Trabalho Prático (feito na aula)
Ponte Rectificadora Trifásica

Turma:	N.º	Nome
Grupo:		
Data:		

R-1) Comente/compare os valores medidos com os calculados. Justifique eventuais diferenças.

Resposta:

R-2) Explique o funcionamento do circuito, comentando **TODAS** as formas de onda visualizadas. Para os comentários das formas de onda utilize **apenas** o espaço fornecido junto das mesmas.

Resposta:

R-3) A partir dos valores registados na Tabela 1, determine a distorção harmónica total da corrente de entrada.

Resposta:

R-4) A partir dos valores registados na Tabela 1, determine o valor médio e o valor eficaz da corrente nos díodos.

Resposta:

Conversor DC-DC redutor

Simulação em ambiente PSpice

Conversor DC-DC redutor

1. Objectivos

- i) Estudar o funcionamento do conversor DC-DC redutor.
- ii) Simular o funcionamento do conversor em ambiente PSpice.

2. Biblioteca de electrónica de potência e ajuste de parâmetros de simulação

- 1) Introduza a biblioteca pwr_elec.lib na base de dados do PSpice (ver enunciado do 1.º trabalho).
- 2) Efectue a alteração de GMIN e ABSTOL conforme referido no primeiro trabalho.

3. Execução do trabalho

3.1. Parte I: Regimes de condução contínua, crítica e descontínua

- 3) Construa no Schematics o circuito da Fig. 1. Para obter os componentes seleccione na barra de ferramentas “get new part” (ou escreva directamente no menu deslizante) e depois escolha o componente desejado.
 - Fontes de tensão DC **Vd** e **vcontrol**: componentes **VDC**, com as definições referidas na Fig. 1.
 - Díodo **D**: componente **DIODE**
 - Resistência **Rload**: componente **R**, (0.8 Ohms)
 - Indutância **L**: componente **L** (5 uH)
 - Condensador **C**: componente **C** (100 uF)
 - Interruptor controlável por tensão: componente **V-SWITCH**. Quando é aplicada uma tensão positiva no terminal de comando do interruptor este assume o estado ON. Quando é aplicada uma tensão nula ou negativa o interruptor assume o estado OFF. O interruptor possui uma resistência interna que pode ser alterada ($R_{ON} = 1 \text{ m}\Omega$, por defeito). Este componente representa, de forma simplificada, as características dos semicondutores de potência mais utilizados neste tipo de conversores, como o MOSFET ou o IGBT.

- Gerador do sinal de modulação por largura de pulso: componente **PWM_ST**. Este componente vai gerar uma onda em dente-de-serra ($\hat{V}_{denteserra} = 1\text{ V}$, por defeito) e compará-la com $v_{control}$. A frequência de comutação a utilizar é de 50 kHz.
- Massa: **agnd**

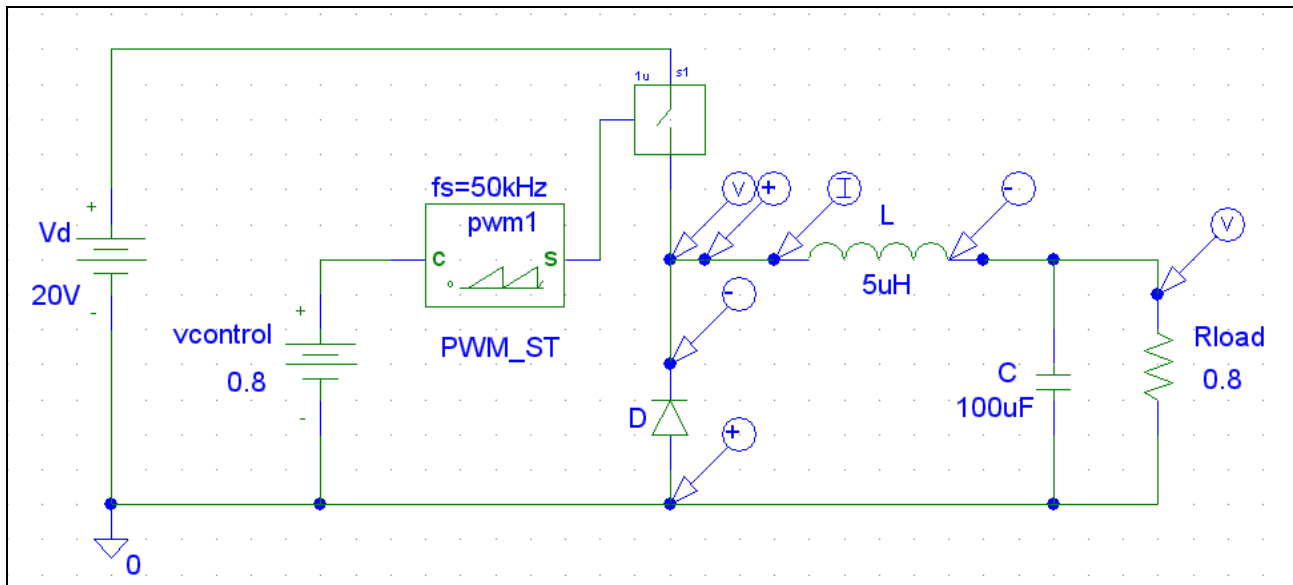


Fig. 1: Conversor DC-DC redutor.

- 4) Una os componentes com "draw wire".
- 5) Insira os pontos de leitura das grandezas (marcadores): no menu markers (mark voltage/level, etc.), ou directamente na barra de ferramentas (só os mais básicos estão disponíveis).
- 6) Seleccione "setup analysis", depois transient e insira os dados da Fig. 2 para efectuar a configuração da simulação (tempo total de simulação, passo de integração mínimo, etc.)

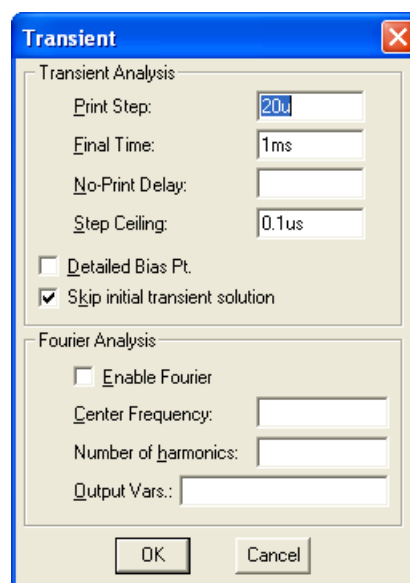


Fig. 2: Configuração da simulação.

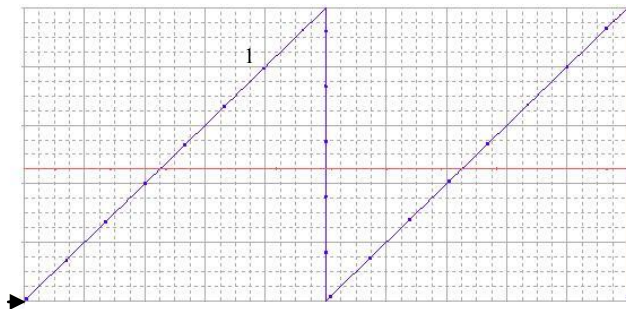
- 7) Utilize inicialmente $v_{control} = 0.8 \text{ V}$. Determine o valor do ciclo de trabalho nessa condição.
- 8) Efectue a simulação do circuito ("simulate" na barra de ferramentas ou F11). O PSPICE vai efectuar a simulação e abrir automaticamente o PROBE para visualizar os resultados (formas de onda).
- 9) No PROBE, no menu plot/axis settings efectue as alterações convenientes para visualizar as formas de onda durante apenas os dois últimos períodos simulados.
- 10) Poderá adicionar gráficos no PROBE: menu plot/add plot to window.
- 11) Poderá visualizar outras formas de onda no PROBE: menu trace/add trace.
- 12) Visualize as formas de onda de $v_{control}$, $v_{dente\ serra}$, $v_{comando\ interruptor}$, v_o , i_o , i_d , i_L , i_C , i_D e v_{oi} .
Utilize no máximo, 2 formas de onda em cada gráfico, de forma que sejam todas perceptíveis. Utilize escalas apropriadas.
- 13) Utilizando o "toggle cursor" da barra de ferramentas do PROBE obtenha os seus valores máximos e mínimos das formas de onda.
- 14) Copie os gráficos para o Word: no menu do PROBE faça "window/copy to clipboard" e depois colar no Word. Comente e justifique as formas de onda obtidas nas folhas fornecidas pelo professor.
- 15) Preencha as células da Tabela I.
- 16) Repita o procedimento anterior para $D = D_{critico}$ e $D = 0.2$.

3.2. Parte II: Ondulação da tensão de saída

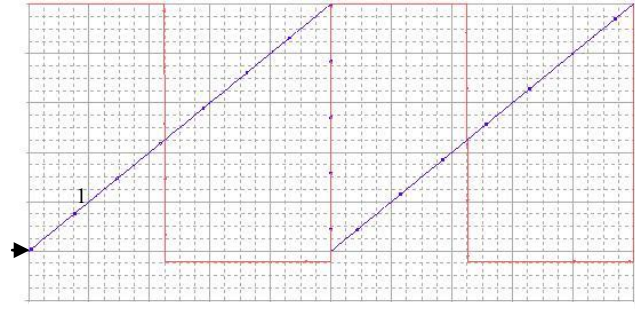
- 17) Utilize novamente $v_{control} = 0.8 \text{ V}$. Ajuste o valor do condensador para 10 uF. Efectue a simulação do circuito e preencha a Tabela 2.
- 18) Repita o procedimento anterior com um condensador de 1 uF.
- 19) Compacte o ficheiro Word e os ficheiros da simulação e envie por e-mail para o docente da OT.

Anexo sobre o 4.º Trabalho Prático: Conversor DC-DC redutor

1. Formas de onda referentes à Parte I

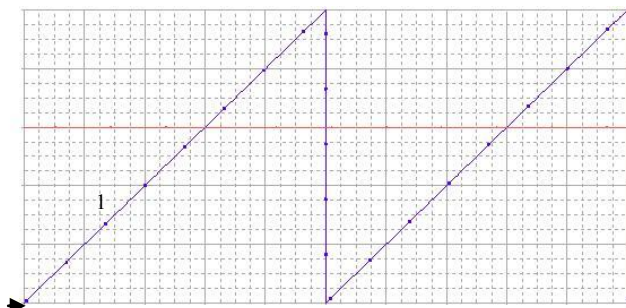


1) 50mV; 2) 50mV

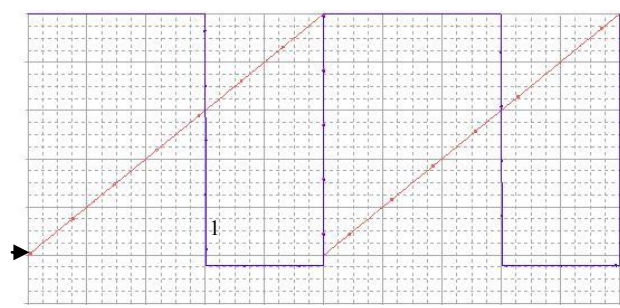


1) 50mV; 2) 1V

(a)

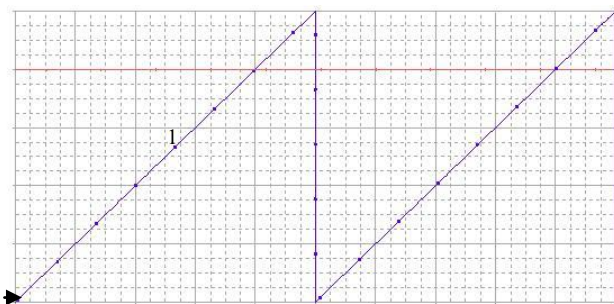


1) 50mV; 2) 50mV

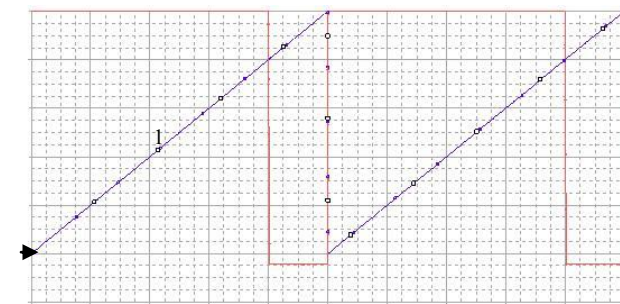


1) 1V; 2) 50mV

(b)



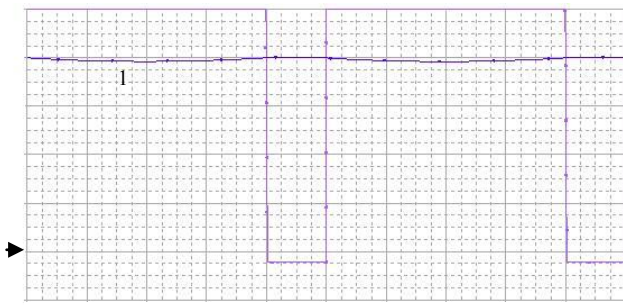
1) 50mV; 2) 50mV



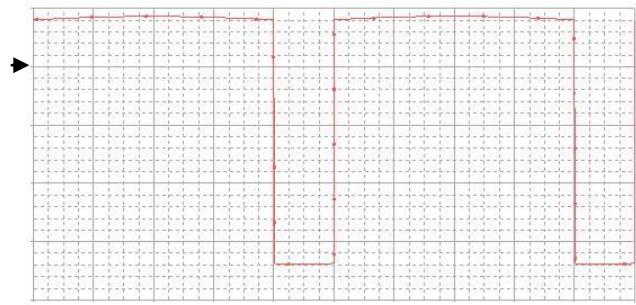
1) 50mV; 2) 1V

(c)

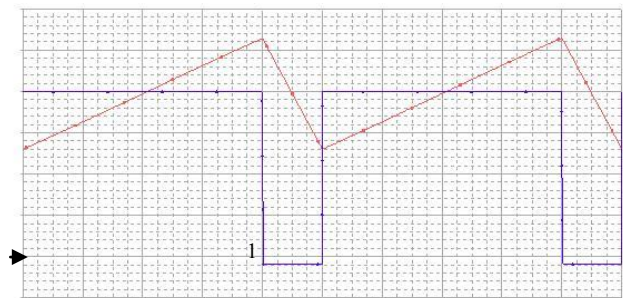
Fig. A-1: Formas de onda referentes à Parte 1: Análise dos sinais de PWM.



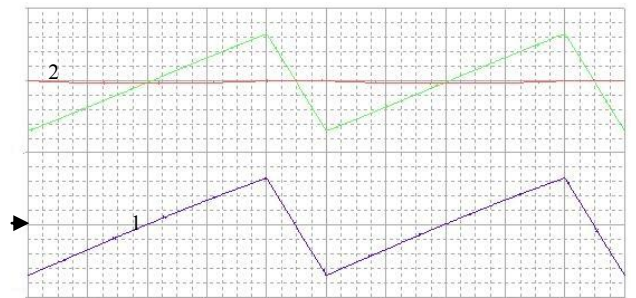
1) 1V; 2) 1V
(a)



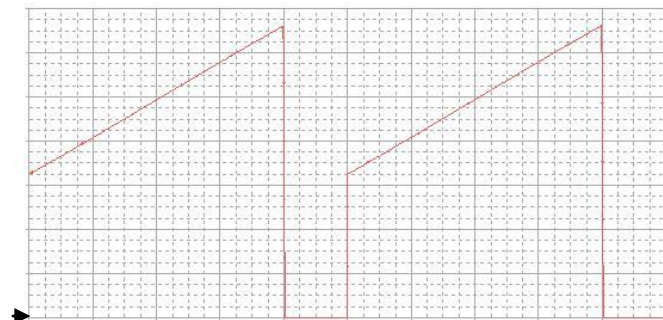
1) 1V
(b)



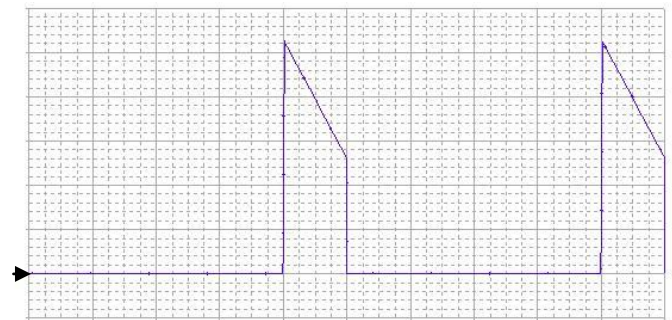
1) 1V; 2) 1V
(c)



1) 2V; 2) 2V; 3) 2V
(d)

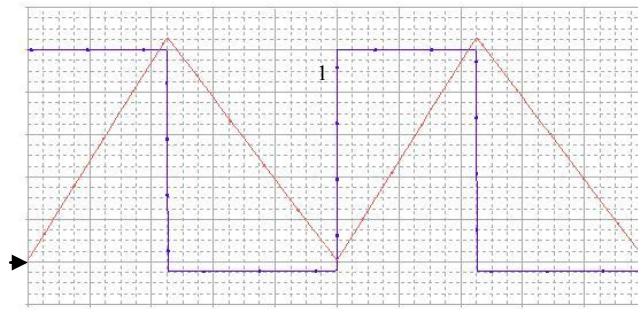


1) 1V
(e)



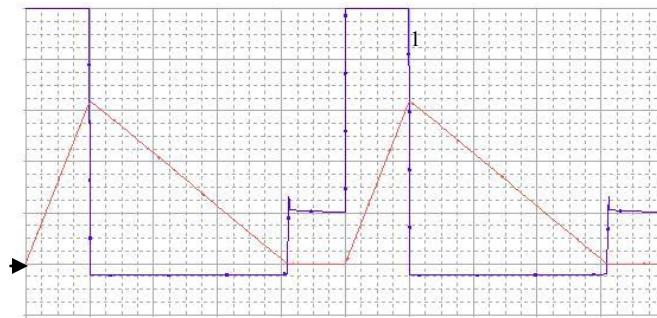
1) 1V
(f)

Fig. A-2: Formas de onda referentes à Parte I: $D = 0.8$.



1) 1V; 2) 1V

Fig. A-3: Formas de onda referentes à Parte I: $D = D_{crit}$.

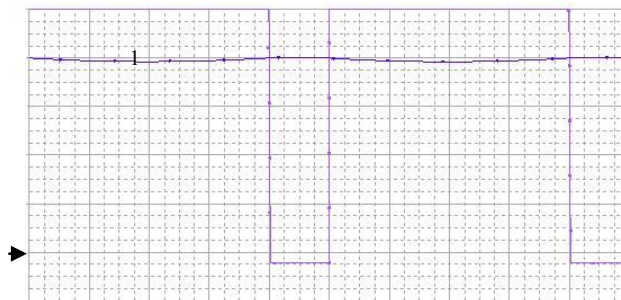


1) 1V; 2) 1V

Fig. A-4: Formas de onda referentes à Parte I: $D = 0.2$.

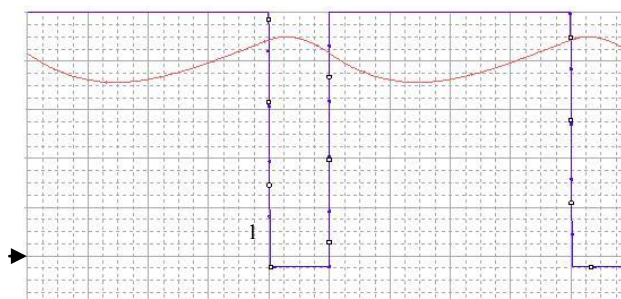
Comentários (parte I):

2. Formas de onda referentes à Parte II



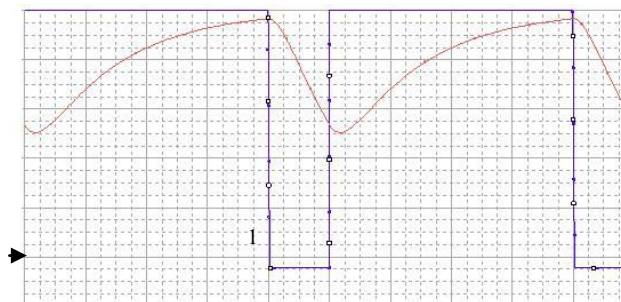
1) 1V; 2) 1V

(a)



1) 1V; 2) 1V

(b)



1) 1V; 2) 1V

(c)

Fig. A-5: Formas de onda referentes à Parte II: ondulação da tensão de saída.

Comentários (parte II):

Electrónica de Potência
Preparação do 5º Trabalho Prático
- Conversor DC-DC redutor -

Turma:	N.º	Nome
Grupo:		
Data:		

- 1) Considere o conversor DC-DC redutor da Fig.1, com: $V_d = 20 \text{ V}$, $R = 0.8 \Omega$, $C = 100 \mu\text{F}$, $L = 5 \mu\text{H}$ e $f = 50\text{kHz}$. Determine o ciclo de trabalho para se obter o regime de condução crítica.

Resposta:

- 2) Esboce as formas de onda de $v_{oi}(t)$, $v_d(t)$, $v_o(t)$, $v_L(t)$, $v_T(t)$, $i_L(t)$, $i_T(t)$, $i_D(t)$, $i_o(t)$ e $i_C(t)$, para os regimes de condução contínua, crítica e descontínua.
- 3) Efectue os cálculos de modo a preencher as células sombreadas das Tabela 1 e 2.

Resposta:

Relatório sobre o 5º Trabalho Prático (feito na aula)
- Conversor DC-DC redutor -

Turma:	N.º	Nome
Grupo:		
Data:		

R-1) Comente/compare os valores simulados com os calculados. Justifique eventuais diferenças.

Resposta:

R-2) Utilizando as ondas de $v_{control}$, $v_{dente\ serra}$ e $v_{comando\ interruptor}$ explique como é gerado o sinal de PWM que comanda o interruptor controlado.

Resposta:

R-3) Explique o funcionamento do circuito, comentando as formas de onda visualizadas.

Resposta:

R-4) Efectue os cálculos de modo a preencher a última linha da Tabela 1 ($D = 0.2$).

Resposta:

R-5) Justifique os resultados da Tabela 2.

Resposta:

Anexo sobre o 5.º Trabalho Prático: Conversor DC-DC redutor

Turma:	N.º	Nome
Grupo:		
Data:		

Tabela 1: Resultados simulados/medidos.

		t_{ON} (s)	V_d (V)	ΔV_{opp} (V)	V_o (V)		I_L (A)		I_T (A)		I_o (A)		I_C (A)	I_D (A)
			DC	DC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	AC	DC
Calculado	$D = 0.8$	20												
Simulado	$D = 0.8$													
Calculado	$D = D_{crit}$	20												
Simulado	$D = D_{crit}$													
Simulado	$D = 0.2$													

Tabela 2: Ondulação da tensão de saída para $D = 0.8$.

	$C = 100 \mu\text{F}$		$C = 10 \mu\text{F}$		$C = 1 \mu\text{F}$	
	Calculado	Simulado	Calculado	Simulado	Calculado	Simulado
V_o (V) (DC)						
ΔV_{opp} (V)						

Simulação do funcionamento de um inversor de tensão monofásico em PSPICE

Simulação do funcionamento de um inversor de tensão monofásico em PSPICE

1. Introdução

A simulação computacional de fenómenos físicos representa actualmente uma óptima ferramenta para estudar de forma eficiente e económica inúmeros projectos em todas as áreas. O PSPICE é uma ferramenta extremamente poderosa em todos os campos da simulação de circuitos eléctricos e electrónicos, sendo de fácil implementação e utilização. No que diz respeito à utilização de PSPICE em circuitos de electrónica de potência, este revela-se extremamente útil, pois os fabricantes de componentes electrónicos fornecem, em alguns casos, os respectivos modelos nesta linguagem.

Para os trabalhos a efectuar nesta disciplina vai utilizar-se a versão estudante do PSPICE, a qual, apesar de possuir algumas limitações, permite estudar de forma detalhada o funcionamento dos conversores utilizados em electrónica de potência.

2. Objectivos

1. Saber analisar circuitos através da simulação em PSPICE.
2. Estudar o funcionamento dos inversores de tensão em ponte monofásicos
3. Estudar o comando por PWM sinusoidal bipolar e unipolar.

3. Conceitos Básicos sobre o PSPICE

Existem duas formas de inserir o circuito a simular. A primeira consiste na elaboração, em linguagem própria (netlist), de um ficheiro de texto (nome.cir) onde são designados todos os nós e componentes do circuito. A segunda forma consiste na utilização do Schematics, onde o circuito é construído (nome.sch) utilizando os componentes das bibliotecas. O Schematics constrói depois a netlist e então simula-o utilizando o PSPICE A/D. É nesta última forma de introduzir o circuito a simular que irá ser abordada nos trabalhos de Electrónica de Potência, pois é bastante mais prática.

O pacote PSPICE é composto por vários módulos de software em que o PSPICE A/D constitui o núcleo do programa, pois é o módulo que efectua a simulação do circuito a estudar. Os resultados da simulação são depois analisados utilizando o PROBE. O pacote PSPICE possui ainda:

- Editor de modelos (Model Editor), que permite alterar e/ou construir componentes.
- Editor de estímulos (Stimulus Editor), que permite construir diversos tipos de fontes e/ou sinais.
- Interface com PSpice Optimizer para optimização do desempenho do circuito analógico.
- Interfaces com programas de PCB para obtenção do layout de circuitos impressos.

Todos estes módulos podem ser chamados a partir do Schematics. O funcionamento deste módulo será explicado sucintamente no decorrer da aula.

Existem diversas possibilidades para efectuar a simulação dos circuitos. Nestes trabalhos vai utilizar-se unicamente a análise transitória de fenómenos.

4. Biblioteca de Componentes de Electrónica de Potência

Alguns dos componentes dos circuitos a estudar encontram-se numa biblioteca de Electrónica de Potência não incluída na versão-estudante, pelo que terá de ser introduzida. Para tal execute os seguintes procedimentos:

- Abra o Schematics;
- No menu principal, seleccione Options e depois Editor Configuration;
- Seleccione Library Settings e em seguida Browse;
- Indique o caminho para a biblioteca pwr_elec.lib;
- Seleccione Add*;
- Close e depois OK.

5. Alteração de alguns parâmetros predefinidos

Alguns parâmetros de defeito conduzem a problemas de convergência na simulação. Para ultrapassar estas dificuldades, efectua-se as seguintes alterações:

- No menu principal, seleccione Analysis e depois Setup;
- Seleccione Options;
- Modifique ABSTOL de 1pA para 0.0001 ou 100uA;
- Modifique GMIN de 1p para 1u;
- OK e depois Close.

Nota: estes parâmetros têm de ser alterados sempre que se abre uma nova página de desenho. Para evitar repetir este procedimento faça as alterações e guarde o ficheiro como, por exemplo, pag_branco.sch. Para construir cada novo circuito abra este ficheiro e depois "save as...".

6. Inversor monofásico: PWM sinusoidal bipolar

6.1. Construção do circuito de potência

1) Construa no Schematics o circuito da Fig. 1(a). Para obter os componentes selecione na barra de ferramentas “get new part” (ou escreva directamente no menu deslizante) e depois escolha:

- Fonte de tensão DC: componente **Vdc**, com 325 V.
- Semicondutores controláveis (TA+, TA-, TB+ e TB-): componente **pwr-switch**. Este componente é constituído por diodo em série com um interruptor controlado por tensão. Quando é aplicada uma tensão positiva no terminal de comando do interruptor este assume o estado ON. Quando é aplicada uma tensão nula ou negativa o interruptor assume o estado OFF. A função do diodo é apenas a de impor um sentido de corrente unidireccional. O interruptor e o diodo possuem resistências internas que podem ser alteradas ($R_{ON} = 1 \text{ m}\Omega$, por defeito). Este componente representa, de forma simplificada, as características dos semicondutores de potência mais utilizados neste tipo de conversores, como o MOSFET ou o IGBT.
- Díodos: componente **diode**. O diodo possui uma resistência interna; $R_{ON} = 1 \text{ m}\Omega$, por defeito.
- Resistência R1: componente **R**, 20Ω
- Indutância L1: componente **L**, 100 mH
- Ligadores (A+, A-, B+ e B-): componente **bubble**. Servem apenas para simplificar o esquema (evitando o cruzamento de linhas, que não é possível no Schematics).
- Massa: **agnd**

2) Una os componentes com “draw wire”.

3) Insira os pontos de leitura das grandezas (marcadores): no menu markers (mark voltage/level, etc.), ou directamente na barra de ferramentas (só os mais básicos estão disponíveis).

6.2. Construção do circuito de comando

4) Construa na mesma página do Schematics o circuito da Fig. 1(b). Utilize os seguintes componentes:

- Fonte de tensão $v_{control}$: componente **vsin**, com 0.6 V de amplitude e frequência de 50 Hz. Esta tensão vai ser comparada com a onda triangular para obter o sinal de comando dos semicondutores controláveis. Os restantes parâmetros da fonte são fornecidos na Fig. 1(b).

- O valor de pico da tensão triangular é de $\hat{V}_{tri} = 1\text{ V}$ (por defeito), resultando, neste caso, $m_a = \hat{V}_{control} / \hat{V}_{tri} = 0.6$.
- Gerador da tensão triangular e comparador: componente **pwr_tri**. Este componente vai gerar a onda triangular ($\hat{V}_{tri} = 1\text{ V}$, por defeito) e compará-la com $v_{control}$. A frequência de comutação a utilizar é de 1050 Hz ($m_f = f_{tri} / f_{control} = 21$). Os semicondutores TA+ e TB- são directamente controlados pelo sinal fornecido por este componente (sinal igual a 1 V: semiconductor ON, sinal igual a 0 V: semiconductor OFF). Efectuando a negação desse sinal obtém-se o comando para TB+ e TB-.
- Caixa de fórmula: **ABM1**. Serve para negar o sinal de saída de **pwr_tri** de forma a obter o comando para TB+ e TB-. A negação efectua-se utilizando simplesmente a fórmula **exp1= -V(%IN)**.
- Conectores (A+, A-, B+ e B-) **bubble**; Massa: **agnd**.

6.3. Simulação do funcionamento do circuito

- 5) Seleccione “setup analysis”, depois “transient” e insira os dados da Fig. 2 para efectuar a configuração da simulação (Altere o “Number of harmonics” para 100, tempo total de simulação, passo de integração mínimo, etc.).

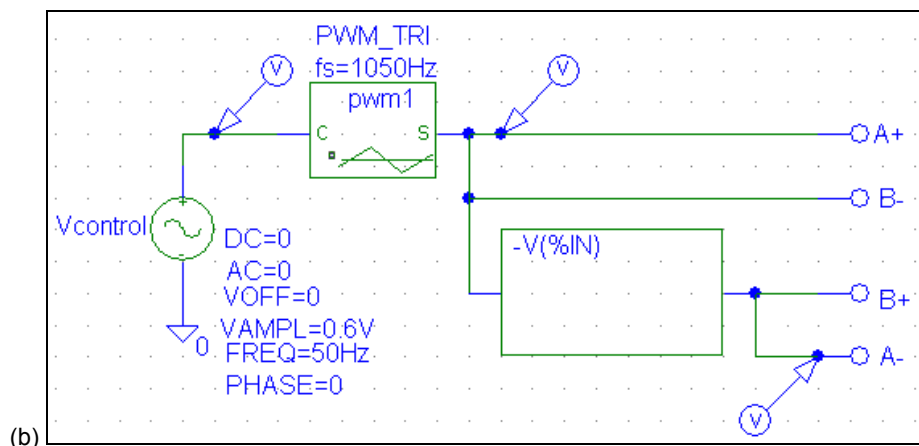
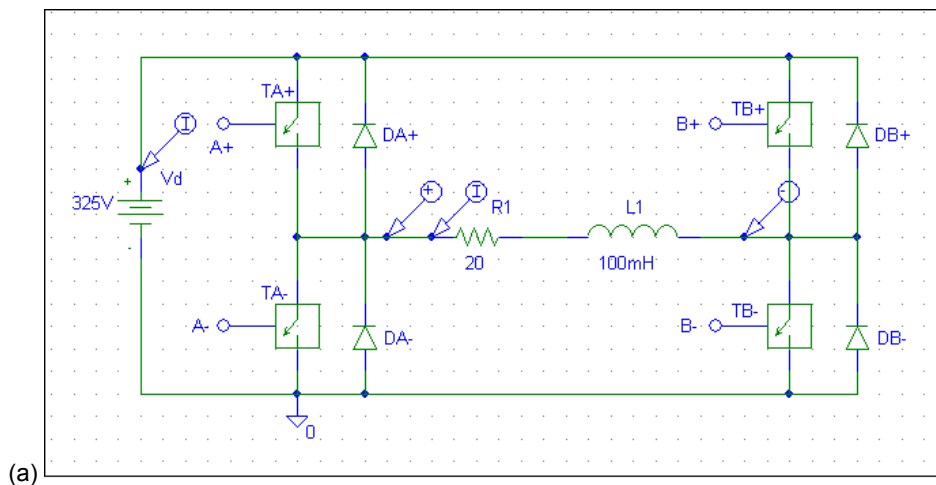


Fig. 1: (a) Circuito de potência; (b) circuito de comando.

- 6) O PSPICE possui também a funcionalidade de calcular a decomposição em série de Fourier das grandezas. Efectue a configuração para obter os harmónicos de v_o , i_o e i_d (Fourier Analysis na Fig. 2).
- 7) Efectue a simulação do circuito ("simulate" na barra de ferramentas ou F11). O PSPICE vai efectuar a simulação e abrir automaticamente o PROBE para visualizar os resultados (formas de onda).

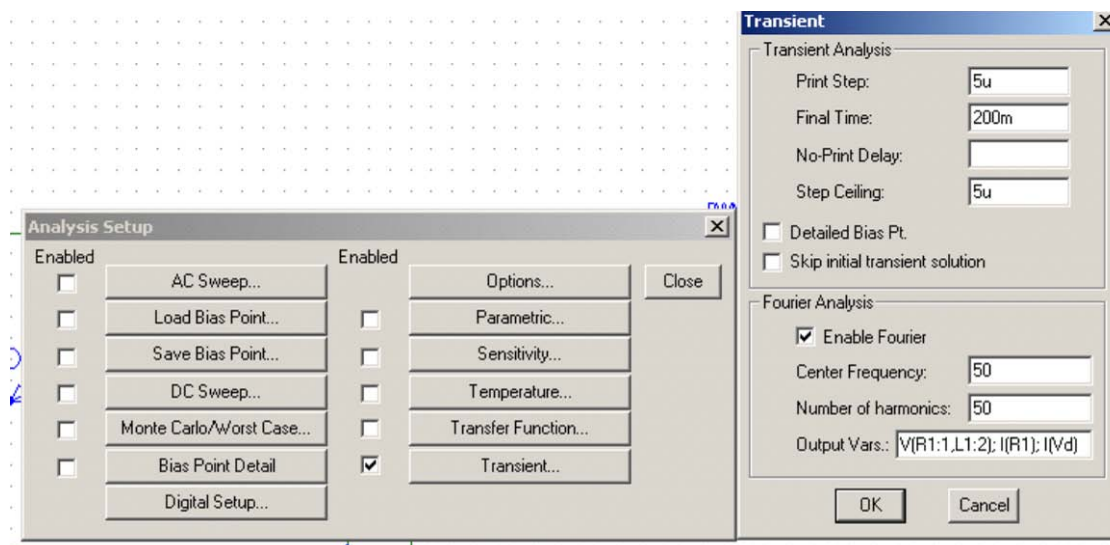


Fig. 2: Configuração da simulação.

6.4. Análise de resultados

- 8) No PROBE, no menu plot/axis settings efectue as alterações convenientes para visualizar as formas de onda durante apenas o último período simulado (Fig. 3).
- 9) Poderá adicionar gráficos no PROBE: menu plot/add plot to window.
- 10) Poderá visualizar outras formas de onda no PROBE: menu trace/add trace.
- 11) Visualize as formas de onda de $v_{control}$, v_{tri} , $v_{comandoTA+}$, $v_{comandoTA-}$, $v_{comandoTB+}$, v_o , i_o , i_d , i_{TA+} e i_{DA+} . **Utilize no máximo, 2 formas de onda em cada gráfico, de forma que sejam todas perceptíveis. Utilize escalas apropriadas.**
- 12) Copie os gráficos para o Word: no menu do PROBE faça "window/copy to clipboard" e depois colar no Word. Comente e justifique as formas de onda obtidas (se assim o entender poderá efectuar os comentários no próprio documento do Word).

6.5. Cálculo de valor médio e valor eficaz

- 13) O PROBE permite calcular o valor médio das grandezas obtidas. Para calcular o valor médio da corrente de entrada faça "add trace", seleccione nas "Functions or Macros" a função "AVG()" e depois seleccione a grandeza em que pretende obter o valor médio (Fig. 4). Obterá uma nova forma de onda que consiste na média dos pontos da forma de onda. Utilizando o "toggle cursor" poderá medir o valor médio, no instante em que a forma de onda finaliza um período.

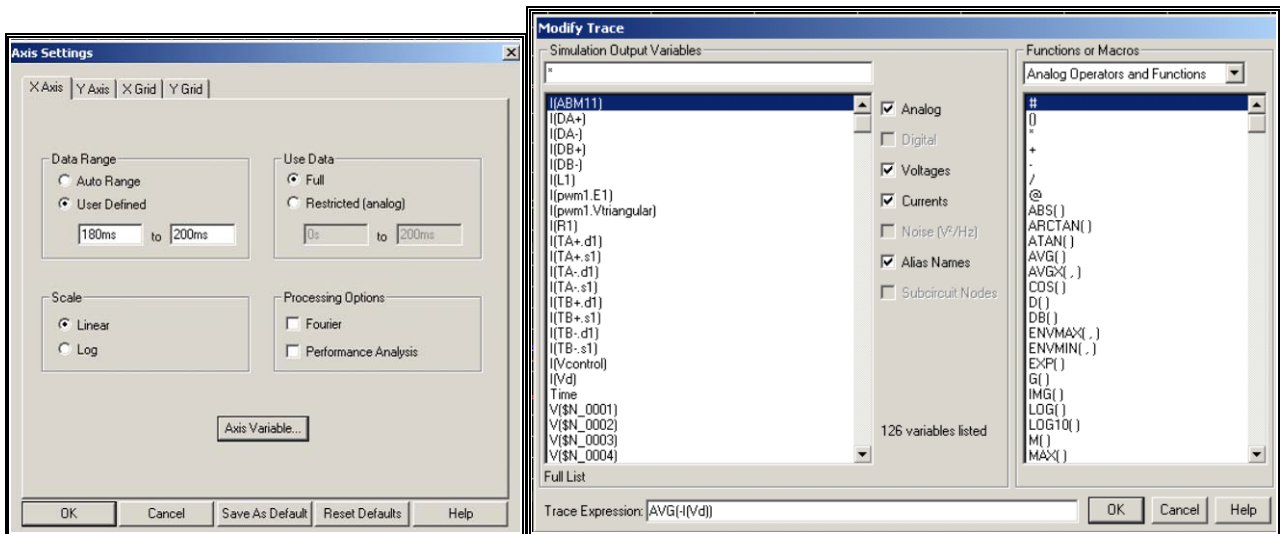


Fig. 3: Configuração dos eixos.

Fig. 4: Calcular o valor médio utilizando AVG().

- 14) Meça e anote (Tabela II) os valores médios da corrente de entrada do inversor e da corrente no semicondutor TA+.
- 15) Utilizando o mesmo princípio, meça e anote (Tabela II) o valor médio da potência fornecida à carga.
- 16) O PROBE permite também calcular o valor eficaz das grandezas obtidas. Utilize um procedimento idêntico ao dos pontos anteriores, mas utilize agora a função "RMS()". Meça e anote (Tabela II) o valor eficaz da tensão e corrente na carga e corrente de entrada.

6.6. Harmônicos

- 17) Os valores dos harmônicos das grandezas seleccionadas no ponto 6) estão disponíveis no "simulation output file". Selecciona os dados e transfira-os para o documento Word com copy/paste. Comente os valores obtidos. Preencha a Tabela I e II.
- 18) Visualize no PROBE o espectrograma de amplitude da tensão na carga, corrente na carga e corrente de entrada (utilizando o "FFT" da barra de ferramentas do PROBE). Ajuste as escalas (visualizar até 5 kHz) e transfira as ondas para o Word. Comente.
- 19) Visualize a evolução temporal do fundamental da corrente na carga. Para visualizar o fundamental faça "add trace" e insira " $I_{1max} \times \sin(2 \times \pi \times f \times \text{time} - \theta_1 \times \pi / 180)$ " onde I_{1max} é o valor máximo do fundamental, f é a sua frequência e θ_1 o seu desfasamento em relação à origem dos tempos (valores disponíveis no "simulation output file"). Ajuste as escalas e transfira as ondas para o Word. Comente.
- 20) Visualize a evolução temporal da distorção da corrente na carga, fazendo a subtracção entre a corrente na carga e o seu fundamental. Ajuste as escalas e transfira as ondas para o Word. Comente.
- 21) Utilizando o "toggle cursor" da barra de ferramentas do PROBE obtenha a máxima ondulação pico-a-pico da distorção da corrente na carga e tensão na carga. Obtenha também o valor da ondulação da corrente de entrada. Anote na Tabela III.

7. Inversor monofásico: PWM sinusoidal Unipolar

- 22) Efectue as alterações no Schematics para modificar o comando para SPWM unipolar. Considere $m_a = \hat{V}_{control} / \hat{V}_{tri} = 0.6$, $m_f = f_{tri} / f_{control} = 20$ e $f_1 = 50$ Hz.
- 23) Obtenhas as formas de onda de $v_{control}$, $-v_{control}$, v_{tri} , $v_{comandoTA+}$, $v_{comandoTA-}$, $v_{comandoTB+}$, v_o , i_o , i_d , i_{TA+} , i_{DA+} . Transfira as imagens para o Word e comente-as. Compare com SPWM bipolar.
- 24) Obtenha o valor dos harmônicos de v_o , i_o e i_d (transfira para o documento Word). Comente e compare com SPWM bipolar.
- 25) Preencha as Tabelas I e II. Comente e compare com SPWM bipolar.
- 26) Visualize no PROBE o espectrograma de amplitude da tensão na carga, corrente na carga e corrente de entrada. Transfira para o documento Word e comente. Comente e compare com SPWM bipolar.
- 27) Visualize a evolução temporal do fundamental e da distorção da corrente na carga. Ajuste as escalas e transfira as ondas para o Word. Obtenha a máxima ondulação pico-a-pico da distorção da corrente na carga e tensão na carga. Obtenha também o valor da ondulação da corrente de entrada. Anote na Tabela III. Comente e compare com SPWM bipolar.

8. Inversor monofásico: SPWM Unipolar na zona de sobremodulação

- 28) Utilizando o ficheiro anterior efectue as alterações no Schematics para simular o funcionamento do inversor na zona de sobremodulação. Considere por exemplo $m_a = 1.5$.
- 29) Obtenhas as formas de onda de $v_{control}$, v_{tri} , v_o e i_o . Transfira as imagens para o Word e comente-as. Compare com SPWM unipolar na zona de modulação linear.
- 30) Obtenha o valor dos harmónicos de v_o , i_o e i_d (transfira para o documento Word). Comente os valores. Compare com SPWM unipolar na zona de modulação linear.
- 31) Preencha as Tabelas I e II. Comente e compare com SPWM unipolar na zona de modulação linear.
- 32) Visualize no PROBE o espectrograma de amplitude da tensão na carga, corrente na carga e corrente de entrada. Transfira para o documento Word e comente. Comente e compare com SPWM unipolar na zona de modulação linear.
- 33) Visualize a evolução temporal do fundamental e da distorção da corrente na carga. Ajuste as escalas e transfira as ondas para o Word. Obtenha a máxima ondulação pico-a-pico da distorção da corrente na carga e tensão na carga. Obtenha também o valor da ondulação da corrente de entrada. Anote na Tabela III. Comente e compare com SPWM unipolar na zona de modulação linear.
- 34) Compacte o ficheiro Word e os ficheiros da simulação e envie por e-mail para o docente (ngago@ualg.pt).

Accionamentos Electromecânicos

Preparação do 1º Trabalho Prático

- Simulação do funcionamento de um inversor de tensão monofásico em PSPICE -

Turma:	N.º	Nome
Grupo:		
Data:		

PREP-1) SPWM bipolar

- 1) Considere o inversor monofásico da Fig. 1 do trabalho, comandado por PWM bipolar. Determine o valor eficaz dos harmónicos da tensão e corrente na carga (fundamental e 6 mais significativos). Anote na Tabela I.
- 2) Preencha as células sombreadas da Tabela II.

PREP-2) SPWM unipolar

- 3) Considere o circuito de potência do inversor monofásico da Fig. 1 do trabalho, mas agora com comando por PWM unipolar, com $m_a = \hat{V}_{control} / \hat{V}_{tri} = 0.6$, $m_f = f_{tri} / f_{control} = 20$ e $f_1 = 50$ Hz. Determine o valor eficaz dos harmónicos da tensão e corrente na carga (fundamental e 6 mais significativos). Anote na Tabela I.
- 4) Preencha as células sombreadas da Tabela II.

Accionamentos Electromecânicos
2.º Trabalho Prático

Estudo de um inversor trifásico em ponte

Estudo de um inversor trifásico em ponte

1. Objectivos

Este trabalho tem como objectivos:

- i) Estudo do inversor trifásico em ponte com comando por plena onda (onda quadrada).
- ii) Estudo do inversor trifásico em ponte com comando por PWM sinusoidal.

2. Material

- 1 Inversor trifásico; Leybold, Ref. 735295
- 1 Módulo de entrada/saída, Leybold; Ref. 735296
- 1 Módulo de comando do inversor; Leybold; Ref. 735291
- 1 Amplificador de isolamento; Leybold; Ref. 735261
- 1 Fonte trifásica;
- 3 Cargas resistivas variáveis; LABVOLT; Ref. 8559-21
- 3 Cargas indutivas variáveis; LABVOLT; Ref. 8560-23
- 1 Ponta de prova de corrente; Tektronix; A622
- 1 Wattímetro Metrix PX120
- 3 Multímetros ISO-TECH IDM106N
- 1 Multímetro ISO-TECH IDM72
- 1 Osciloscópio digital
- Cabos de ligação, shunts e placa de terminais;

3. Esquema de montagem

O esquema de montagem é apresentado na Fig. 1. As referências dos aparelhos de medida a utilizar são também mencionadas.

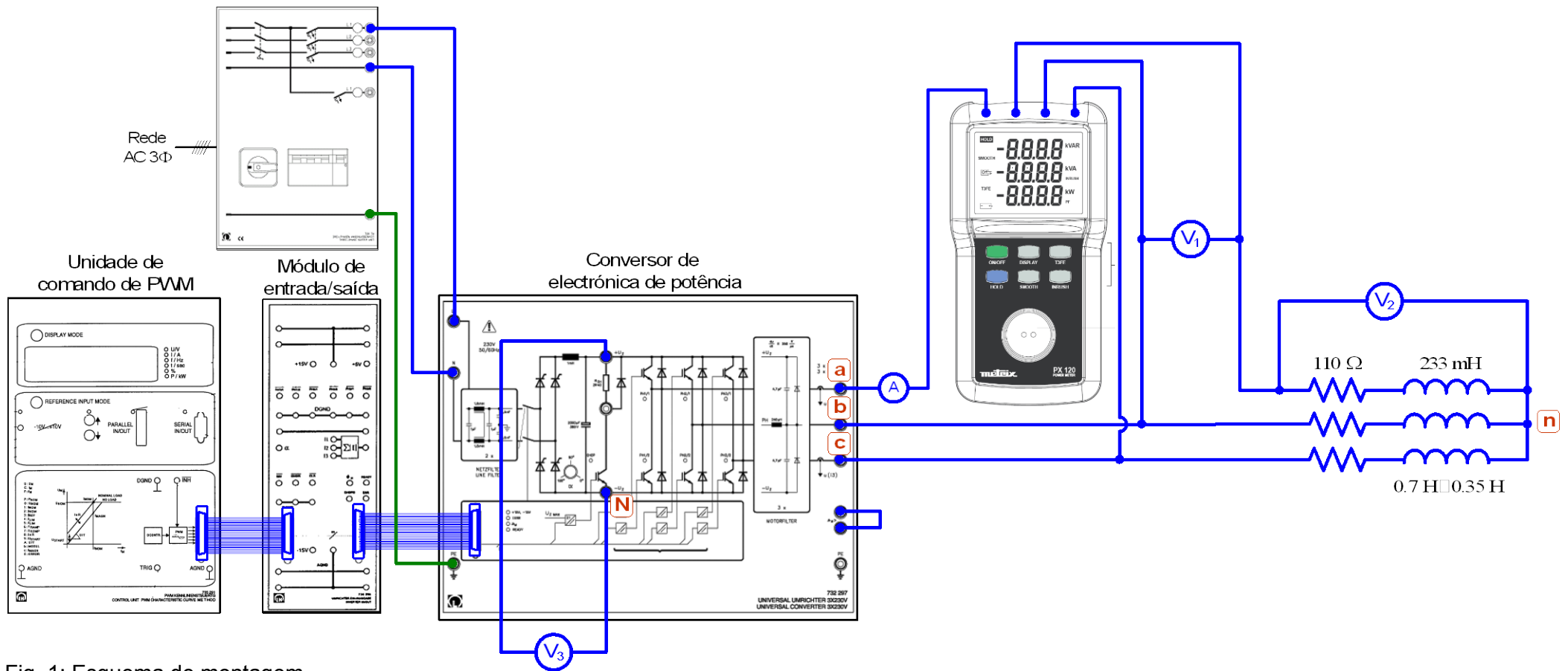


Fig. 1: Esquema de montagem.

Nota sobre os aparelhos de medida a utilizar:

Voltímetro V1: Multímetro ISO-TECH IDM106N (V AC)

Voltímetro V2: Multímetro ISO-TECH IDM106N (V AC)

Voltímetro V3: Multímetro ISO-TECH IDM72 (V DC)

Amperímetro A: Multímetro ISO-TECH IDM106N (A AC)

4. Parte Laboratorial I – Tabela de comando dos semicondutores

- 1) Efectue as ligações da Figura 1.
- 2) Desligue a ficha de 25 pinos da Unidade de Comando por PWM.
- 3) Ajustar α para 180° . **Depois de o Prof. verificar as ligações** ligue a fonte de alimentação.
- 4) Coloque um shunt entre CLR e DGND. Coloque também os shunts referidos abaixo para a **condição (a)**. Ajuste depois α para obter um valor de tensão DC na alimentação do inversor (V_3 , entre $+U_z$ e $-U_z$) de aproximadamente 90 V.
- 5) Com um voltímetro (ligado em DC) meça as tensões: V_{an} , V_{bn} , V_{cn} , V_{ab} , V_{bc} e V_{ca} , de forma a construir as formas de onda indicadas Fig. A-1 do Anexo, para as seguintes condições:
 - **Condição (a):** shunts em PH1/1, PH2/2 e PH3/1, para DGND;
 - **Condição (b):** shunts em PH1/1, PH2/2 e PH3/2, para DGND;
 - **Condição (c):** shunts em PH1/1, PH2/1 e PH3/2, para DGND;
 - **Condição (d):** shunts em PH1/2, PH2/1 e PH3/2, para DGND;
 - **Condição (e):** shunts em PH1/2, PH2/1 e PH3/1, para DGND;
 - **Condição (f):** shunts em PH1/2, PH2/2 e PH3/1, para DGND;
 - **Condição (g):** shunts em PH1/2, PH2/2 e PH3/2, para DGND;
 - **Condição (h):** shunts em PH1/1, PH2/1 e PH3/1, para DGND;

Nota: pretende-se que seja apresentado apenas um esboço das ondas, não sendo necessário utilizar rigor nas escalas utilizadas. Poderá utilizar vários voltímetros para tornar o processo mais rápido, se estes estiverem disponíveis.

- 6) Comente os resultados obtidos. Esboce na Fig. A-1 a tabela de comando.

5. Parte Laboratorial II – Análise do funcionamento do inversor

5.1. Comando por plena onda (onda quadrada)

- 7) Retire todos os shunts do Módulo de entrada/saída.
- 8) Ligue a ficha de 25 pinos da Unidade de comando por PWM ao Módulo de entrada/saída.
- 9) Ajuste α para 180° . **Depois de o Prof. verificar as ligações**, ligue a fonte e ajuste de seguida α para 0° .
- 10) Na unidade de controlo PWM pressione INPUT MODE até seleccionar o modo manual ($\uparrow\downarrow$). Prima DISPLAY MODE até seleccionar a frequência (F) e com o comando manual ($\uparrow\downarrow$) ajuste para o valor de 60 Hz.
- 11) Prima DISPLAY MODE até seleccionar o tipo de modulação (b) e com o comando manual ($\uparrow\downarrow$) ajustar para 41 (modulação por plena onda).

- 12) Registe os valores medidos na Tabela 1.
- 13) Visualize as formas de onda de v_{aN} , v_{bN} , v_{cN} , v_{an} , v_{ab} e i_a (formas de onda fornecidas no anexo). Identifique-as, indique as escalas e comente-as sucintamente. Nas formas de onda de v_{aN} , v_{bN} e v_{cN} identifique os semicondutores de potência que estão ON.

5.2. Comando por PWM sinusoidal

- 14) Prima DISPLAY MODE até seleccionar o tipo de modulação (b) e com o comando manual ($\uparrow\downarrow$) ajuste para 11 (modulação por PWM sinusoidal).
- 15) Registe os valores medidos na Tabela 1.
- 16) Visualize as formas de onda de v_{aN} , v_{an} , v_{ab} e i_a (formas de onda fornecidas no anexo). Identifique-as e comente-as sucintamente. Indique as escalas.
- 17) Visualize também a forma de onda de v_{aN} . Com base nesta forma de onda determine a frequência de comutação e o índice de modulação de frequência.
- 18) Desligue a montagem e arrume a bancada, os cabos e os equipamentos.

Autoavaliação e tópicos a aprofundar

(trabalho para casa - componente não avaliada no trabalho - **não entregar**)

- Casa-1) O inversor utilizado no laboratório utiliza uma variante do comando por PWM sinusoidal, ligeiramente diferente daquele estudado nas aulas T/TP. Na Fig. C-1 são apresentados os espectrogramas das tensões v_{aN} e v_{ab} . Os valores de tensão dos harmónicos apresentados correspondem aos valores máximos. A frequência do fundamental da tensão de saída é de 60 Hz, com $V_d = 318 \text{ V}$. Utilizando os espectrogramas da Fig. C-1:
- i) Comente as diferenças entre os espectrogramas apresentados na Fig. C-1 e os espectrogramas referentes a um comando por PWM sinusoidal síncrona.
 - ii) Determine, aproximadamente, a frequência de comutação, o índice de modulação de frequência e o índice de modulação de amplitude.
 - iii) Compare os espectrogramas das tensões v_{aN} e v_{ab} . Comente o anulamento de alguns harmónicos em v_{ab} , comparativamente a v_{aN} .
 - iv) Determine, aproximadamente, quais os harmónicos mais relevantes presentes em v_{aN} e v_{ab} , justificando detalhadamente. Determine as suas amplitudes.
 - v) Determine, aproximadamente, o valor eficaz do fundamental e dos harmónicos mais relevantes de v_{aN} e v_{ab} .

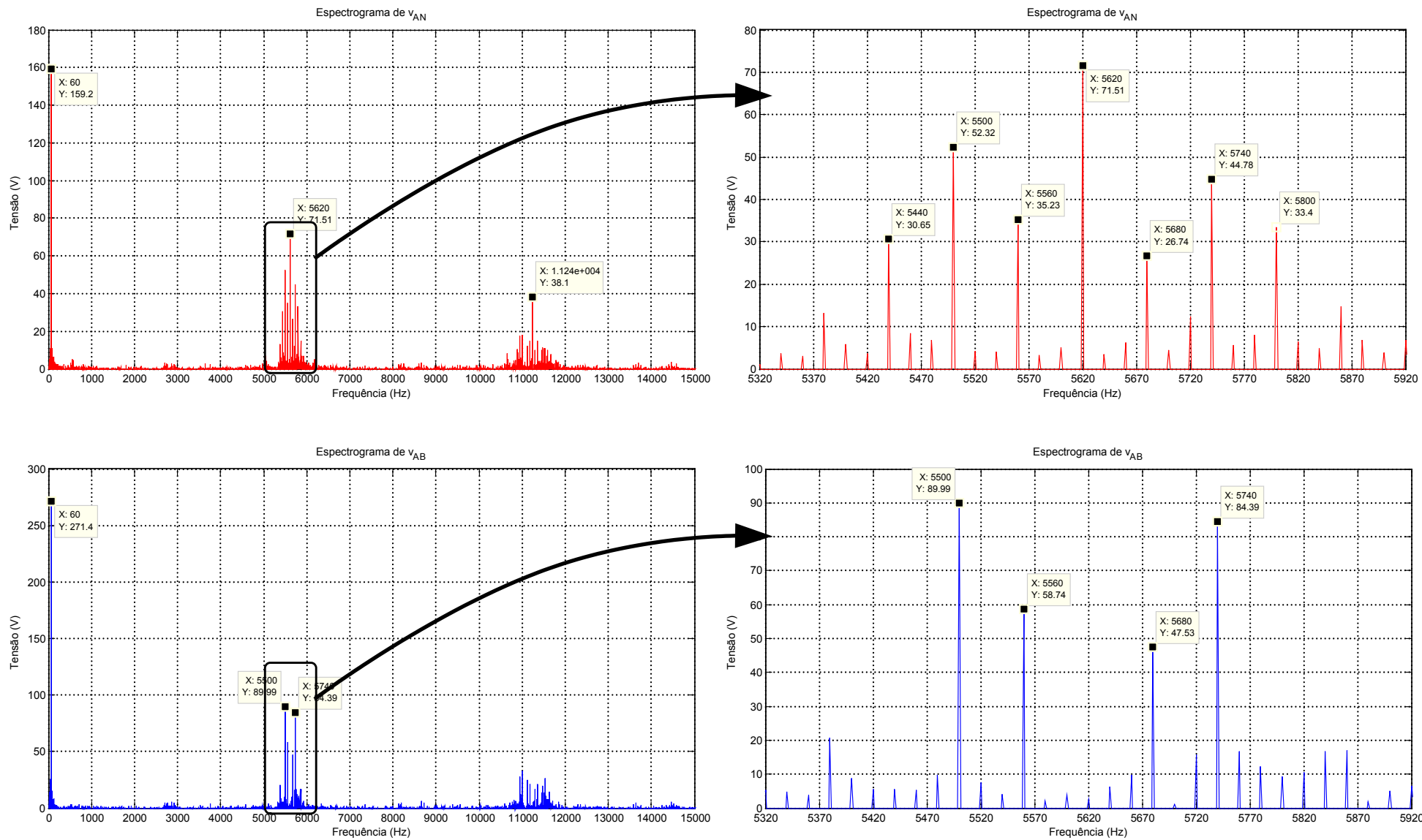
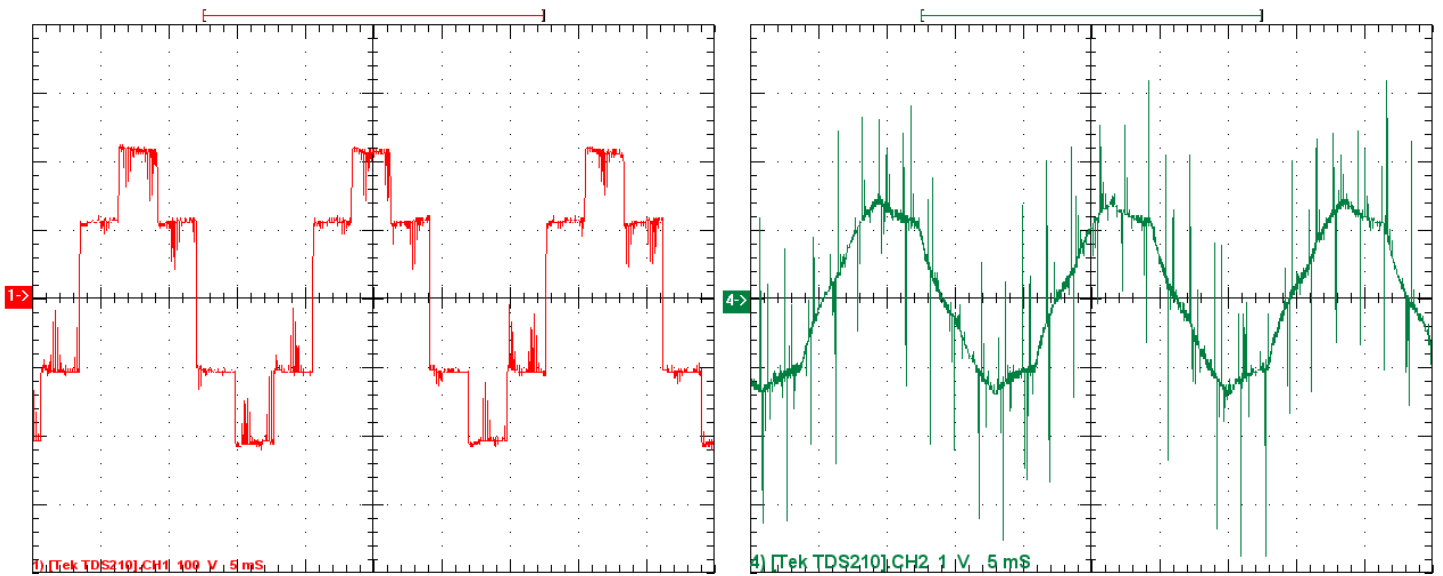
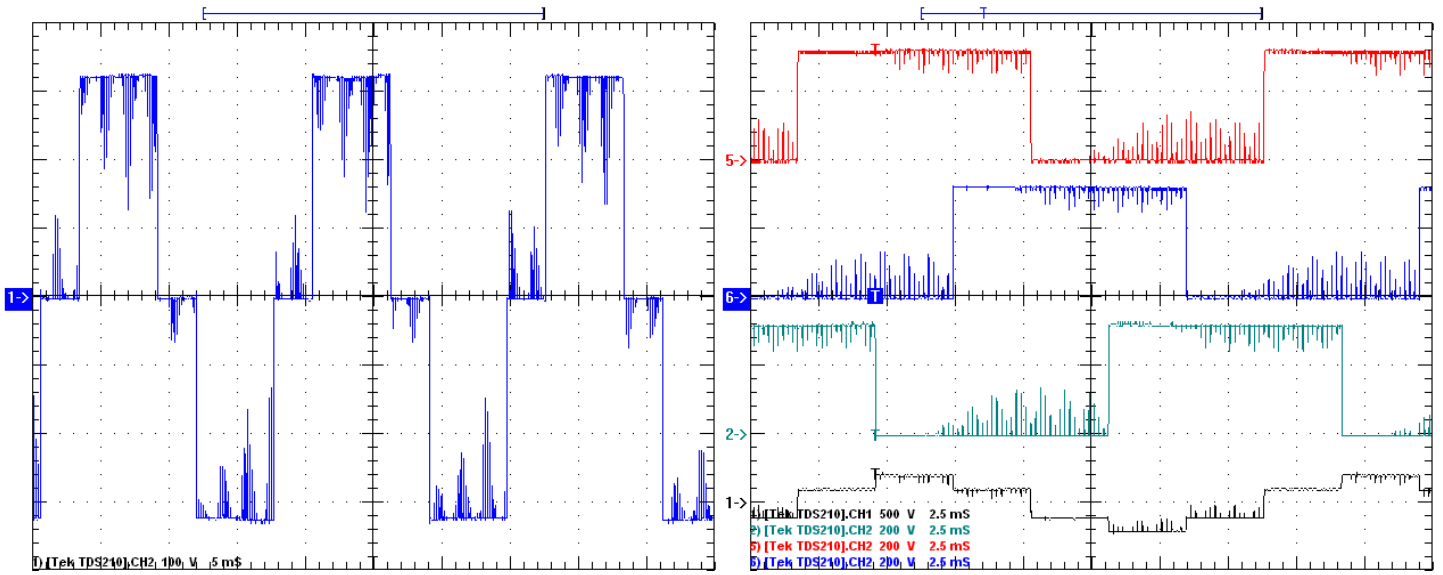
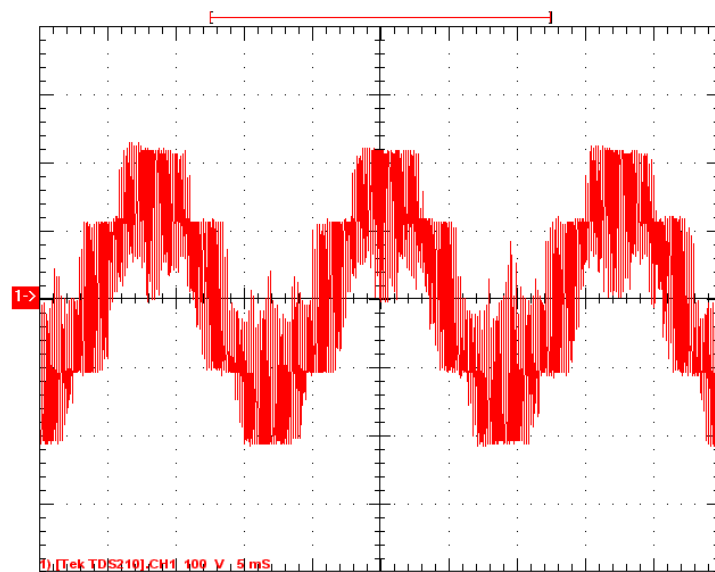
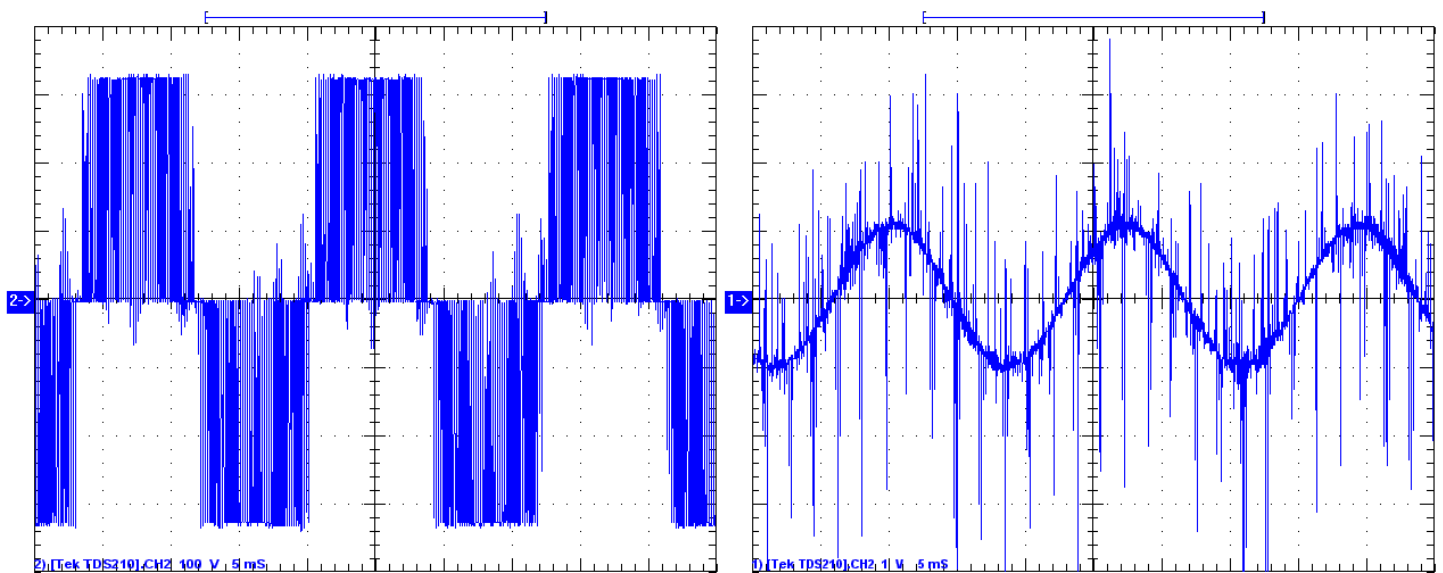
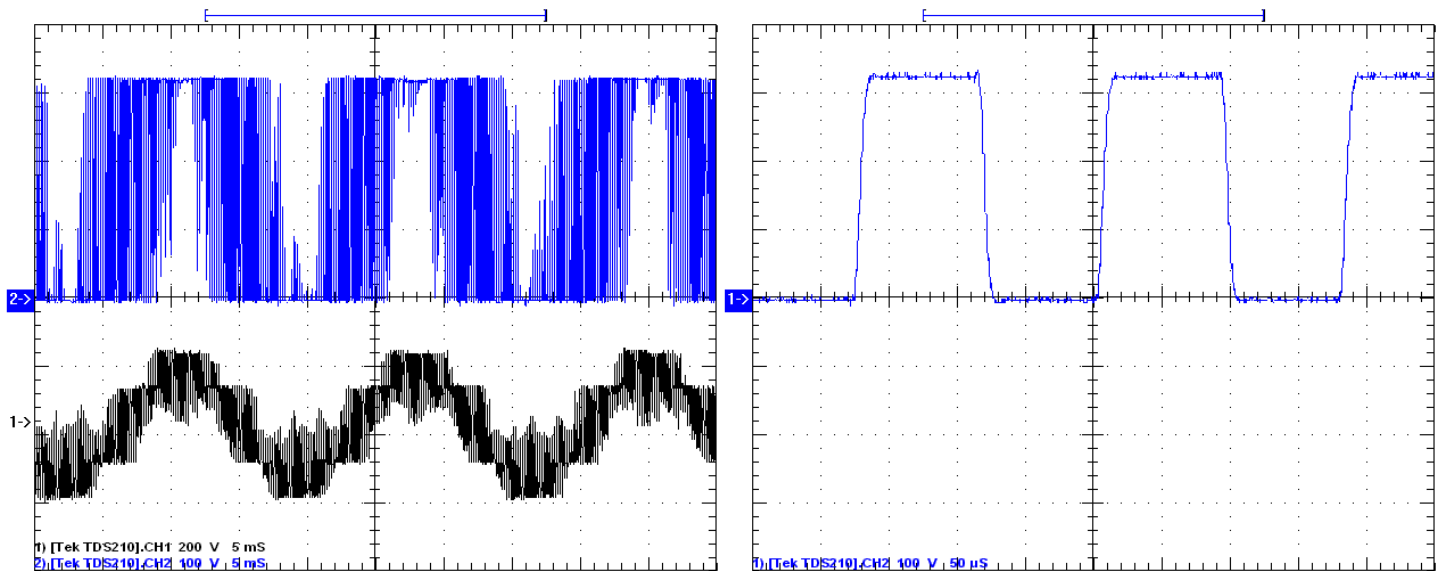


Fig. C-1: Espectrogramas das tensões v_{aN} e v_{ab} (os valores de tensão referem-se aos valores de pico).

Formas de onda referentes ao comando por plena onda (onda quadrada)



Formas de onda referentes ao comando PWM sinusoidal



Accionamentos Electromecânicos
Estudo prévio sobre o 2.º Trabalho Prático
- Estudo de um inversor trifásico em ponte -

Turma:	N.º	Nome
Grupo:		
Data:		

Parte I- Análise da tensão de saída do inversor em função do estado dos IGBT's

P-1) Do inversor trifásico da Fig. EP-1 considere apenas 1 ramo. Identifique as restrições relativas ao estado dos semicondutores desse ramo. Justifique.

Resposta:

P-2) Identifique todas as combinações possíveis para os estados dos semicondutores dos 3 ramos do inversor trifásico.

Resposta:

P-3) Para cada uma dessas combinações:

- a) Esboce o circuito equivalente inversor (representando só os semicondutores ON) + carga.
- b) Obtenha, em função da tensão de entrada, as tensões DC v_{aN} , v_{bN} , v_{cN} , v_{an} , v_{bn} , v_{cn} , v_{ab} , v_{bc} e v_{ca} .

Resposta:

Parte II- Comando por plena onda (onda quadrada)

P-4) Considere o inversor trifásico da Fig. EP-1, que alimenta uma carga RL série, ligada em Y, com $R = 110 \Omega$ e $L = 233.3 \text{ mH}$. A frequência da tensão de saída é de 60 Hz e a tensão de alimentação do inversor é de 318 V. Para o comando por plena onda, esboce as formas das seguintes grandezas: v_{aN} , v_{bN} , v_{cN} , v_{an} , v_{bn} , v_{cn} , v_{ab} , v_{bc} , v_{ca} , v_{TA+} , v_{DB+} , i_a , i_b , i_c , i_{TA+} , i_{DA+} , e i_d . Utilize uma folha quadriculada para efectuar os esboços.

Nota: para o esboço das formas de onda das correntes de linha considere apenas o seu fundamental.

P-5) Preencha as células sombreadas a cinza da Tabela 1, referentes a este tipo de comando.

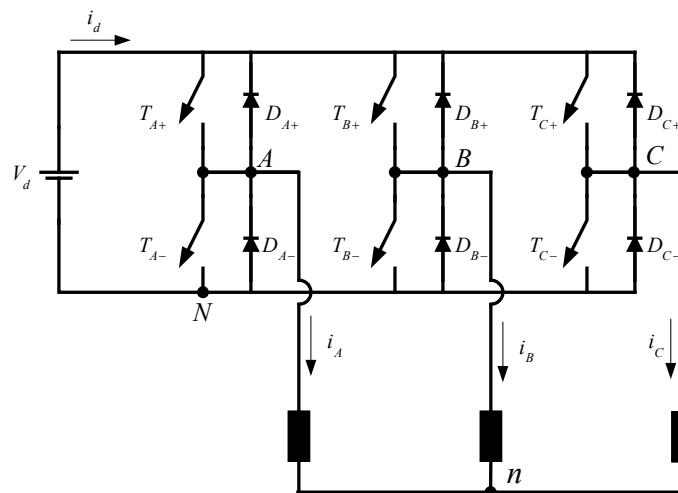


Fig. EP-1: Inversor trifásico.

Resposta:

Parte II- Comando por PWM sinusoidal

P-6) Explique o que entende por modulação PWM sinusoidal síncrona para inversores trifásicos. Indique quais os harmônicos existentes na tensão de saída do inversor trifásico, em função do índice de modulação de frequência.

Resposta:

Anexo: Estudo de um inversor trifásico em ponte

Tabela 1: Grandezas calculadas/medidas.

	V ₃ (V)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	I (A)	Wattímetro		
	DC	AC	AC	AC	P _T (W)	Q _T (var)	S _T (VA)
Plena Onda (medido)							
Plena Onda (Calculado no Estudo Prévio)	318						
PWM sinusoidal (medido)							

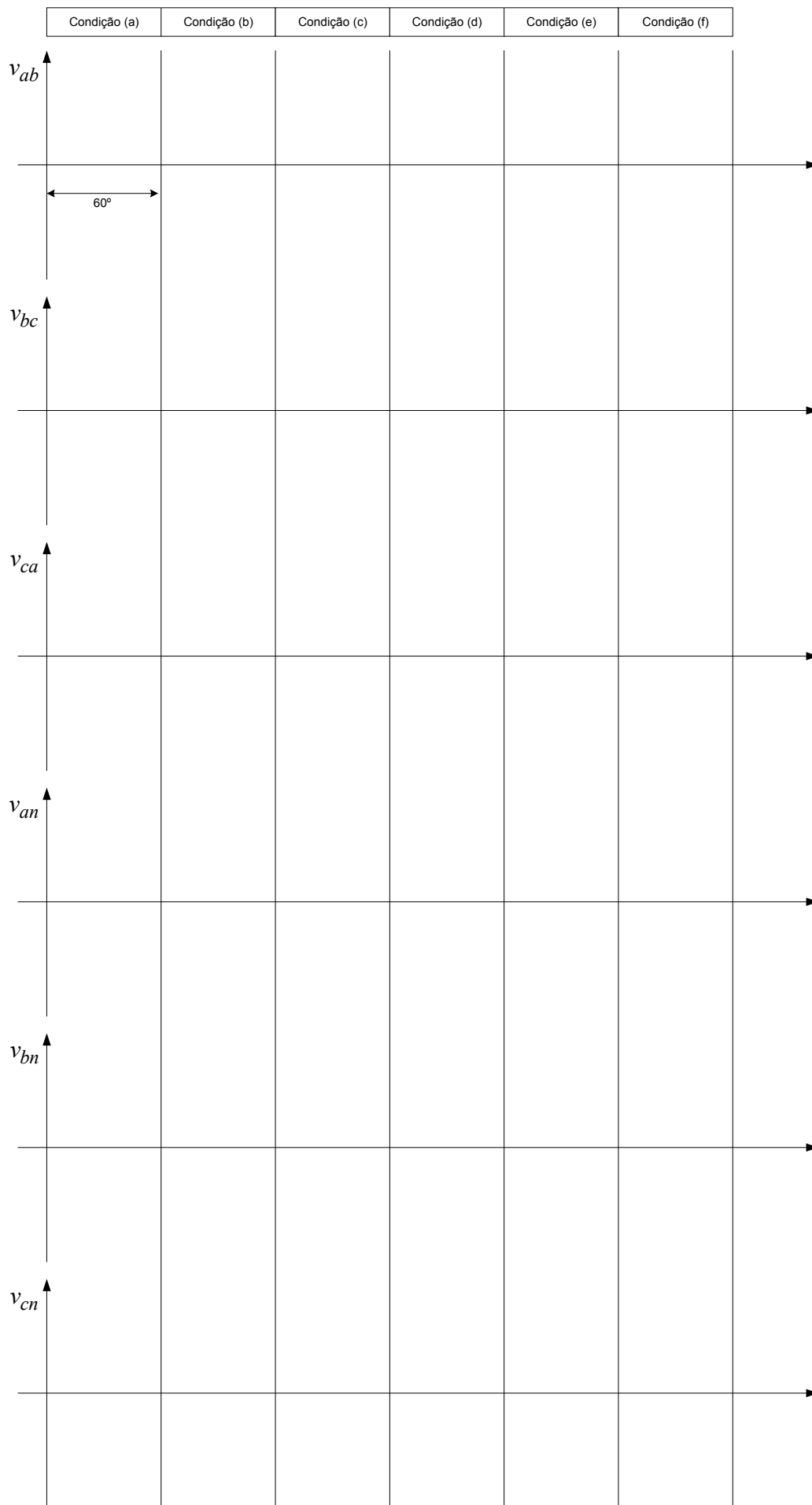


Fig. A-1: Tensões de saída do inversor em função do estado dos semicondutores.

Estudo de um variador electrónico de velocidade

Preparação do 3.º Trabalho Prático

Estudo de um variador electrónico de velocidade

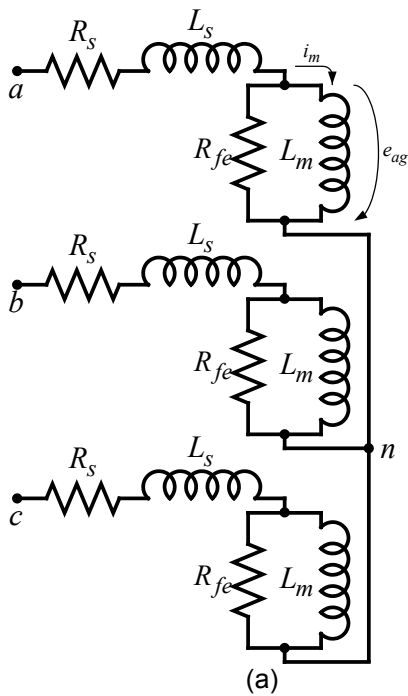
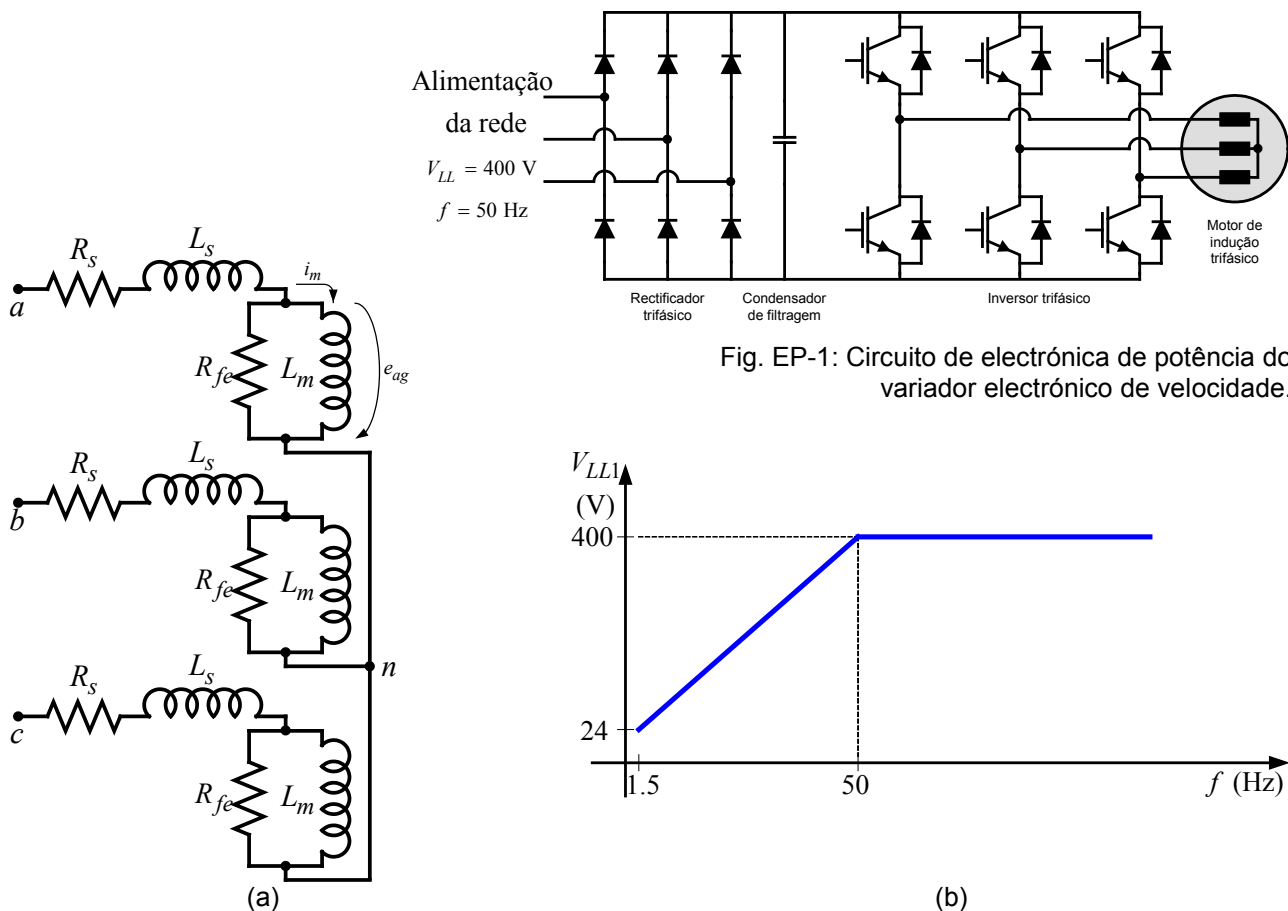
O sistema de electrónica de potência da Fig. EP-1 alimenta um motor de indução trifásico, ligado em estrela. O circuito equivalente do motor de indução, **a rodar em vazio**, pode aproximar-se àquele apresentado na Fig. EP-2(a), com $R_s = 44 \Omega$, $L_s = 99 \text{ mH}$, $R_{fe} = 5234 \Omega$ e $L_m = 0.895 \text{ H}$.

Assuma que o condensador de filtragem possui um valor muito elevado (\cong infinito).

O variador electrónico de velocidade possui a relação $V_{LL1} - f$ (valor eficaz do fundamental da tensão de saída em função da frequência) representada na Fig. EP-2(b). Assuma que o inversor é comandado por PWM sinusoidal síncrona.

P-1) Para $f = 25 \text{ Hz}$, assumo $m_f = 303$. Aproxime o valor de m_a ao valor mais próximo da Tabela do formulário. Para $f = 25 \text{ Hz}$, preencha as células sombreadas a cinza da Tabela 1. Efectue as aproximações que achar convenientes, justificando-as.

P-2) Repita a pergunta anterior, mas agora para $f = 50 \text{ Hz}$ e $m_f = 153$.



P-3) No esquema equivalente do motor de indução da Fig. EP-2(a) a impedância estatórica é constituída por R_s e L_s e a impedância de magnetização é constituída por R_{fe} e L_m . A corrente em L_m é responsável pela produção do fluxo electromagnético que se fecha entre o rotor e o estator pelo entreferro:

$$e_{ag} = L_m di_m/dt = N_s d\phi_{ag}/dt$$

onde N_s representa o número de espiras dos enrolamentos estatóricos e ϕ_{ag} o fluxo no entreferro.

Pretende-se variar a velocidade do motor (de $\cong 0$ rpm até à velocidade nominal) variando a frequência da tensão de alimentação (de $\cong 0$ até até 50 Hz). Nestas condições verifique como varia a corrente de magnetização e o fluxo no entreferro se a relação V_{LL1}/f_1 for mantida constante.

Nesta alínea considere, por simplicidade, $R_s = 0$, $L_s = 0$ e $R_{fe} = \infty$ e despreze os harmónicos da tensão de alimentação do motor. Efectue os cálculos em função de N_s .

P-4) Em relação à alínea anterior considere agora $R_s = 44 \Omega$ e $L_s = 99$ mH (assuma por simplicidade $R_{fe} = \infty$). Obtenha a relação V_{LL1}/f_1 que, além de possibilitar variar a velocidade do motor ($n \leq n_{nominal}$), mantenha o fluxo no entreferro constante e igual ao seu valor nominal. Esboce o respectivo gráfico.

P-5) Para valores acima da velocidade nominal aumenta-se a frequência mas mantém-se a tensão no seu valor nominal (Fig. EP-2(b)). Verifique como varia o fluxo no entreferro e esboce o respectivo gráfico.

Estudo de um variador electrónico de velocidade

1. Objectivos

Com este trabalho pretende-se investigar o funcionamento de um variador de frequência, industrial, que permite efectuar a variação electrónica de velocidade de motores AC trifásicos. Este tipo de conversor de electrónica de potência é, geralmente, composto pela associação de um rectificador e de um inversor, Fig. 1, permitindo controlar a amplitude e frequência das tensões aplicadas ao motor de indução.

A velocidade do campo girante (velocidade síncrona ou de sincronismo), imposto pelas correntes de alimentação do motor, vem expressa por:

$$n_s = \frac{60f}{p_p}$$

onde f representa a frequência da tensão de alimentação do motor e p_p o número de par de pólos do motor. A velocidade do motor, n , é inferior à velocidade de sincronismo, de forma a que as correntes induzidas no rotor sejam suficientemente elevadas para que o binário electromagnético consiga equilibrar o binário resistente da carga. O deslizamento, s , define-se como a diferença entre a velocidade síncrona e a velocidade do motor, diferença essa normalizada em relação à velocidade síncrona:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

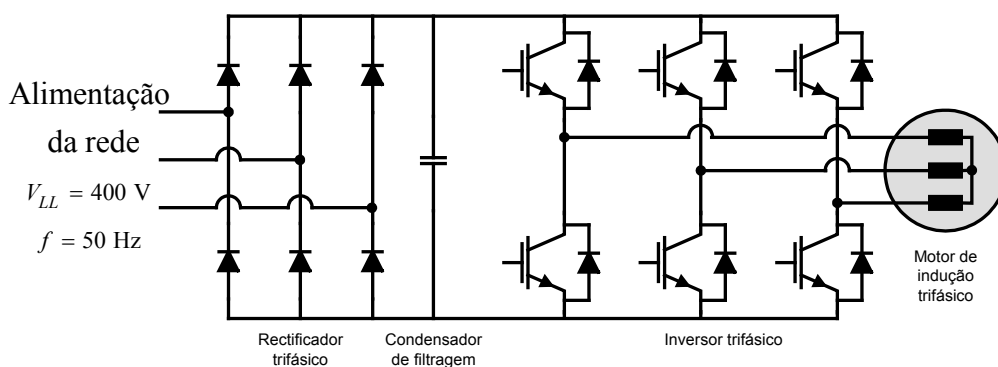


Fig. 1: Circuito de electrónica de potência do variador de frequência.

Quando o rotor roda em vazio a diferença entre a velocidade de sincronismo e a velocidade do rotor é reduzida, usualmente inferior a 0.1% de n_s . Quando o motor roda em carga o deslizamento aumenta, mas possuindo ainda valores relativamente reduzidos (tipicamente na ordem de 1% a 5%). Neste trabalho, pela sua natureza introdutória à temática dos accionamentos, e, também, uma vez que o motor opera em vazio, vai aproximar-se a velocidade do rotor à velocidade de sincronismo. Ou seja, considera-se que a velocidade do rotor é proporcional à frequência da tensão de alimentação do motor.

Basicamente, podem considerar-se duas zonas de funcionamento do variador electrónico de velocidade (VEV):

- i) Velocidade inferior à velocidade nominal (ou frequência abaixo da frequência nominal): nesta zona a tensão e a frequência variam de forma aproximadamente proporcional, para se ajustar a velocidade do motor: designa-se esta técnica por V/f .
- ii) Velocidade superior à velocidade nominal (ou frequência acima da frequência nominal): nesta zona a tensão é mantida constante e a frequência varia de forma a obter o valor desejado de velocidade do motor.

2. Material

- 1 Variador electrónico de velocidade OMRON 3G3MV
- 1 Motor de indução trifásico (250 W ou 120 W)
- 1 Fonte trifásica
- 1 Amplificador de isolamento ou 1 pinça diferencial Tektronix
- 1 Ponta de prova de corrente, Tektronix A622
- 1 Wattímetro METRIX
- 3 Multímetro Fluke (45 ou 179)
- 2 Multímetros ISO-TECH IDM72
- 1 Osciloscópio digital
- Cabos de ligação e placa de terminais;

3. Esquema de montagem

O esquema de montagem é apresentado na Fig. 2. As referências dos aparelhos de medida a utilizar são também mencionadas.

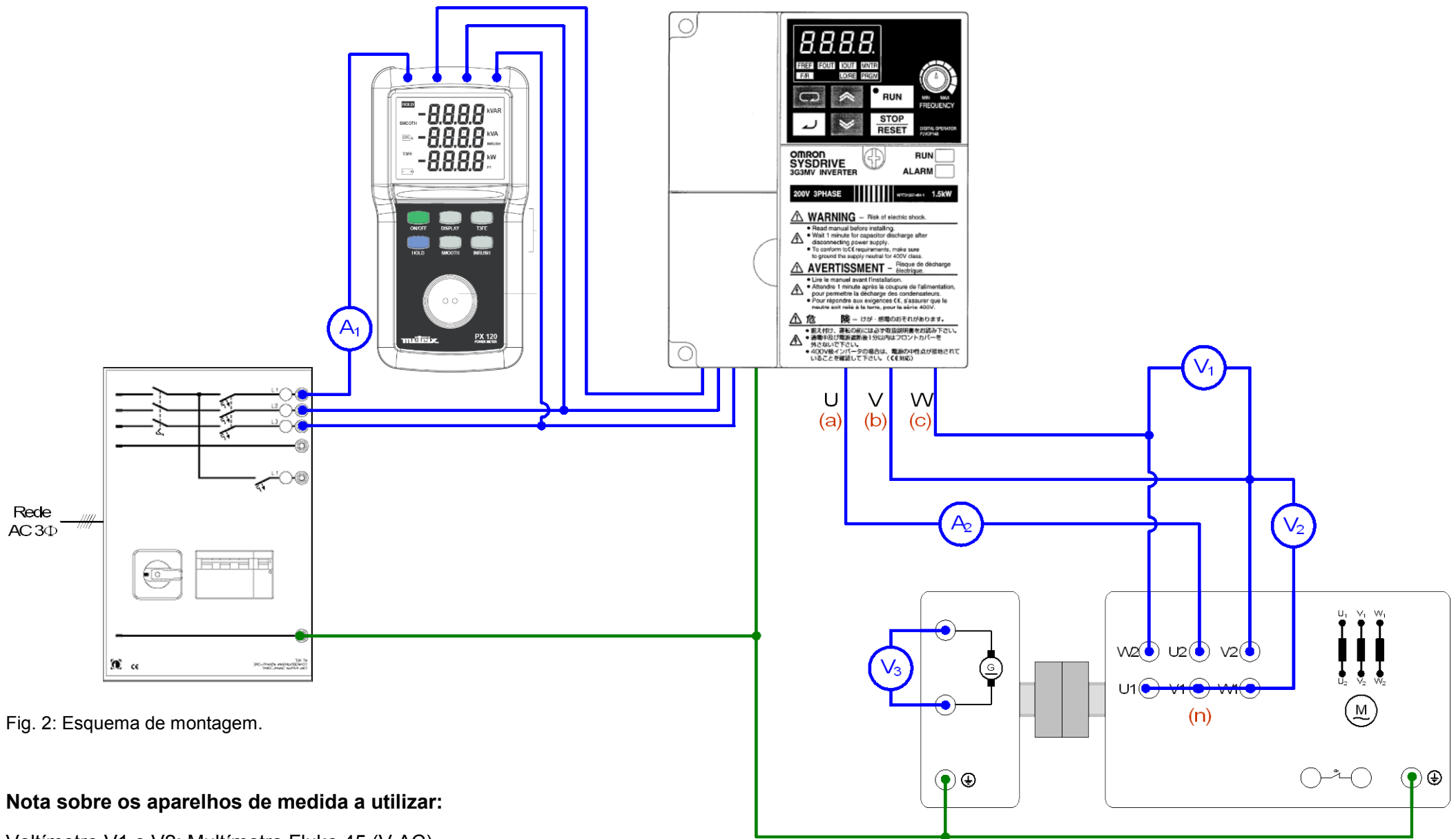


Fig. 2: Esquema de montagem.

Nota sobre os aparelhos de medida a utilizar:


Voltímetro V1 e V2: Multímetro Fluke 45 (V AC)

Voltímetro V3: Multímetro ISO-TECH IDM72 (V DC)









Amperímetro A1: Multímetro ISO-TECH IDM72 (A AC)

Amperímetro A2: Multímetro Fluke 45 ou Fluke 179 (A AC)

4. Programação do VEV

- 1) Efectue as ligações da Figura 2.
- 2) O conversor de frequência vai ser programado através da consola (este modelo permite também a programação remota). A consola é constituída pelos elementos representados na Fig. 3. Com a tecla *Mode Key* () altera-se o *display* da consola digital, conforme ilustrado na Fig. 4.



Appearance	Name	Function
	Data display	Displays relevant data items, such as frequency reference, output frequency, and parameter set values.
	FREQUENCY adjuster	Sets the frequency reference within a range between 0 Hz and the maximum output frequency.
	FREF indicator	The frequency reference can be monitored or set while this indicator is lit.
	FOUT indicator	The output frequency of the inverter can be monitored while this indicator is lit.
	IOUT indicator	The output current of the inverter can be monitored while this indicator is lit.
	MNTR indicator	The values set in U01 through U18 are monitored while this indicator is lit. Depending on the inverter capacity, the quantity of the Uxx will be different.
	F/R indicator	The direction of rotation can be selected while this indicator is lit when operating the inverter with the RUN Key.
	LO/RE indicator	The operation of the inverter through the Digital Operator or according to the set parameters is selectable while this indicator is lit. Note This status of this indicator can be only monitored while the inverter is in operation. Any RUN command input is ignored while this indicator is lit.








Appearance	Name	Function
	PRGM indicator	The parameters in n001 through n179 can be set or monitored while this indicator is lit. Note While the inverter is in operation, the parameters can be only monitored and only some parameters can be changed. Any RUN command input is ignored while this indicator is lit. Unless n001 is 5.
	Mode Key	Switches the simplified-LED (setting and monitor) item indicators in sequence. Parameter being set will be canceled if this key is pressed before entering the setting.
	Increment Key	Increases multi-function monitor numbers, parameter numbers, and parameter set values.
	Decrement Key	Decreases multi-function monitor numbers, parameter numbers, and parameter set values.
	Enter Key	Enters multi-function monitor numbers, parameter numbers, and internal data values after they are set or changed.
	RUN Key	Starts the inverter running when the 3G3MV is in operation with the Digital Operator.
	STOP/RESET Key	Stops the inverter unless parameter n007 is set to disable the STOP Key. Functions as a Reset Key when an inverter error occurs (see note).

Fig. 3: Consola digital e respectivas funções.

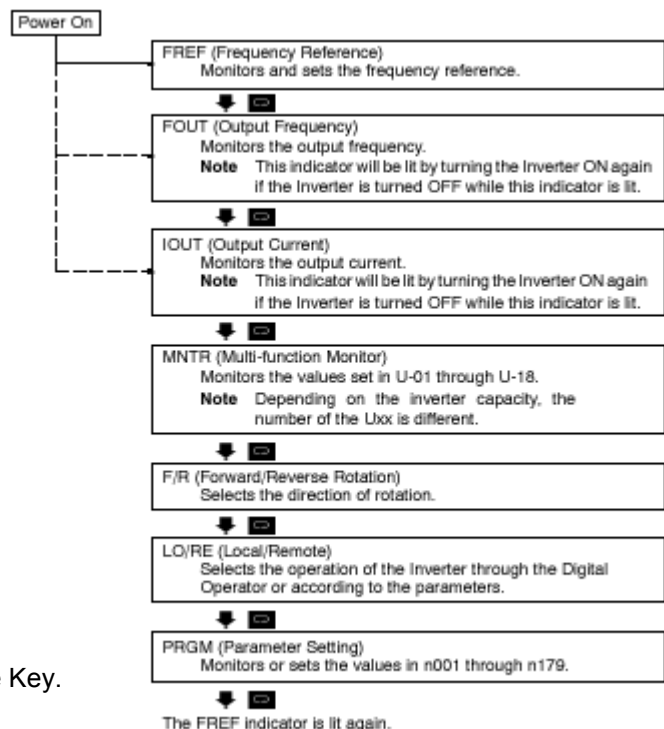









Fig. 4: Função da tecla Mode Key.

3) Siga os seguintes passos para a programação do conversor:

- i) Ligue a fonte de alimentação. O VEV fica ligado, mas o motor ainda não roda.
- ii) Pressione sucessivamente a tecla Mode Key () até acender o led da PGRM (programação). Tem-se assim acesso às variáveis de programação.
- iii) Com as teclas Decrement e Increment ( e ) , seleccione a variável n001. Esta variável determina quais as variáveis que podem ser alteradas na programação do conversor. Pressione então a tecla Enter ().
- iv) Com as teclas  e  seleccione 8. Pressione Enter (). Com esta acção vão carregar-se os parâmetros de fábrica do conversor. Passado, aproximadamente, 1 segundo, a variável n001 fica com o valor de defeito de 1 e visualizará posteriormente n001. As acções efectuadas até ao momento são ilustradas na Fig. 5.










Key sequence	Indicator	Display example	Explanation
	PRGM	000	Power On
	PRGM	n001	Press the Mode Key repeatedly until the PRGM indicator is lit.
	PRGM	0	Press the Enter Key. The data of n001 will be displayed.
 	PRGM	8	Use the Increment or Decrement Key to set n01 to 8. The display will flash.
	PRGM	8	Press the Enter Key so that the set value will be entered and the data display will be lit.
---	PRGM	1	Parameter n001 will be initialized and reset to 1 from 8.
In approximately 1 s.	PRGM	n001	The parameter number will be displayed.

Fig. 5: Inicialização da programação do conversor.

- v) Pressione novamente Enter e coloque o valor de 4 na variável n001. Com esta acção todas as variáveis de programação estarão disponíveis.
- vi) Com as teclas  e  seleccione a variável n002. Esta variável determina qual o tipo de comando a implementar (V/f ou controlo vectorial). Seleccione o controlo V/f inserindo 0 em n002, Fig. 6.
- vii) Com as teclas  e  seleccione a variável n036. Esta variável indica o valor nominal da corrente de saída. Seleccione o valor nominal da corrente do motor utilizado, Fig. 7.

Key sequence	Indicator	Display example	Explanation
	PRSM	n001	The parameter number is displayed.
▲ ▼	PRSM	n002	Use the Increment or Decrement Key to display "n002."
↵	PRSM	0	Press the Enter Key to display the set value in n002.
▲ ▼	PRSM	0	Use the Increment or Decrement key to set n002 to 0 unless the value is already set to 0, during which the display flashes.
↵	PRSM	0	Press the Enter Key so that the set value will be entered and the data display will be lit.
In approximately 1 s.	PRSM	n002	The parameter number will be displayed again in approximately 1 s.

Fig. 6: Selecção do controlo do conversor.

Key sequence	Indicator	Display example	Explanation
	PRSM	n036	The parameter number is displayed.
▲ ▼	PRSM	n036	Use the Increment or Decrement Key to display "n036."
↵	PRSM	19	Press the Enter Key to display the set value in n036.
▲ ▼	PRSM	18	Use the Increment or Decrement Key to set n036 to the rated motor current, during which the display flashes.
↵	PRSM	18	Press the Enter Key so that the set value will be entered and the data display will be lit.
In approximately 1 s.	PRSM	n036	The parameter number will be displayed again in approximately 1 s.

Fig. 7: Selecção da corrente nominal de saída.

viii) As variáveis n011 a n017 regem a característica V/f, conforme ilustrado na Fig. 8. As especificações para este trabalho são as seguintes (ver Fig. 8):

- n011: valor máximo de frequência: 100 (Hz);
- n012: máximo valor eficaz do fundamental da tensão composta de saída (insira a tensão nominal composta do motor);
- n013: valor de frequência para a tensão máxima: (insira a frequência nominal do motor);
- n014: valor intermédio de frequência: 1.5 (Hz);
- n015: tensão composta para o valor intermédio de frequência: 24 (V);
- n016: valor mínimo de frequência: 1.5 (Hz);
- n017: tensão composta para o valor mínimo de frequência: 24 (V);








Parameter	Description	Register	Hex	Changes during operation	No
n011	Maximum Frequency (FMAX)	010B	Hex	Changes during operation	No
Setting range	50.0 to 400.0 (Hz)	Unit of setting	0.1 Hz	Default setting	60.0
n012	Maximum Voltage (VMAX)	010C	Hex	Changes during operation	No
Setting range	0.1 to 255.0 (0.1 to 510.0) (V)	Unit of setting	0.1 V	Default setting	200.0 (400.0)
n013	Maximum Voltage Frequency (FA)	010D	Hex	Changes during operation	No
Setting range	0.2 to 400.0 (Hz)	Unit of setting	0.1 Hz	Default setting	60.0
n014	Middle Output Frequency (FB)	010E	Hex	Changes during operation	No
Setting range	0.1 to 399.9 (Hz)	Unit of setting	0.1 Hz	Default setting	1.5
n015	Middle Output Frequency Voltage (VC)	010F	Hex	Changes during operation	No
Setting range	0.1 to 255.0 (0.1 to 510.0) (V)	Unit of setting	0.1 V	Default setting	11.0 (22.0)
n016	Minimum Output Frequency (FMIN)	0110	Hex	Changes during operation	No
Setting range	0.1 to 10.0 (Hz)	Unit of setting	0.1 Hz	Default setting	1.5
n017	Minimum Output Frequency Voltage (VMIN)	0111	Hex	Changes during operation	No
Setting range	0.1 to 50.0 (0.1 to 100.0) (V)	Unit of setting	0.1 V	Default setting	4.3 (8.6)

Note Figures in brackets are for 400-V Inverter models.

Note 1. Set the parameters so that the following condition will be satisfied. n016 < n014 < n013 < n011

Note 2. The value set in n015 will be ignored if parameters n016 and n014 are the same in value.

Fig. 8: Característica V-f.

- ix) A frequência da tensão de saída do conversor (ou a frequência de referência) pode ser ajustada através das teclas  e , através do botão rotativo FREQ Adjuster ou ainda por controlo remoto. Por simplicidade vai-se utilizar o botão rotativo FREQ Adjuster para variar a frequência, colocando na variável n004 o valor 0.
- x) O conversor monitoriza várias grandezas eléctricas as quais são indicadas no display. A frequência de referência, a frequência de saída e a corrente são indicadas quando é seleccionado, através da tecla , os indicadores FREF; FOUT e IOUT. Adicionalmente, são também fornecidas outras grandezas, acessíveis através do indicador MNTR (Monitoring). Para o efeito é necessário seleccionar este indicador através da tecla . Vão surgir diversos códigos que indicam as grandezas medidas. Pressionando a tecla ENTER () em cada um destes códigos o valor medido é apresentado no display. A passagem de um código para o outro é efectuado através das teclas  e . Como exemplo referem-se descrição de alguns dos códigos (os códigos necessários para a execução do trabalho estão realçados a negrito):
- a) U-01: frequência de referência (a mesma que em FREF);
 - b) U-02: frequência de saída (a mesma que em FOUT);
 - c) **U-03: valor RMS do fundamental da corrente de saída (a mesma que em IOUT);**
 - d) **U-04: valor RMS do fundamental da tensão composta de saída**
 - e) **U-05: valor médio da tensão no circuito intermédio DC**
 - f) **U-11: Potência de saída.**

5. Procedimento experimental

- 4) Para os valores de frequência da Tabela I, registe os valores dos aparelhos de medida e do display do conversor.
- 5) Para as frequências de 25 Hz, 50 Hz e 65 Hz, visualize as formas de onda de v_{an} , v_{ab} e i_a (formas de onda fornecidas no anexo). Identifique-as e comente-as sucintamente. Indique as escalas.
- 6) Desligue a montagem e arrume a bancada, os cabos e os equipamentos.

Autoavaliação e tópicos a aprofundar

(trabalho para casa - componente não avaliada no trabalho - **não entregar**)

- Casa-1) Utilizando os valores da Tabela I, apresente e comente os gráficos das seguintes grandezas: $A_2 - f$, $V_1 - f$, $V_2 - f$, $I_{RMS1} - f$, $V_{LL1} - f$, $P_{out} - f$ e $n - f$.
- Casa-2) O inversor utilizado no laboratório utiliza uma variante do comando PWM sinusoidal, ligeiramente diferente daquele estudado nas aulas T/TP. Na Fig. C-1 é apresentado o espectrograma de v_{an} , onde os valores de tensão dos harmónicos apresentados correspondem aos valores máximos. A frequência do fundamental da tensão de saída é de 50 Hz. Utilizando os espectrogramas da Fig. C-1:
- Determine, aproximadamente, a frequência de comutação, o índice de modulação de frequência e o índice de modulação de amplitude.
 - Determine, aproximadamente, o valor eficaz do fundamental e dos harmónicos mais relevantes de v_{an} .
 - Justifique os valores medidos pelos voltímetros V_1 e V_2 .

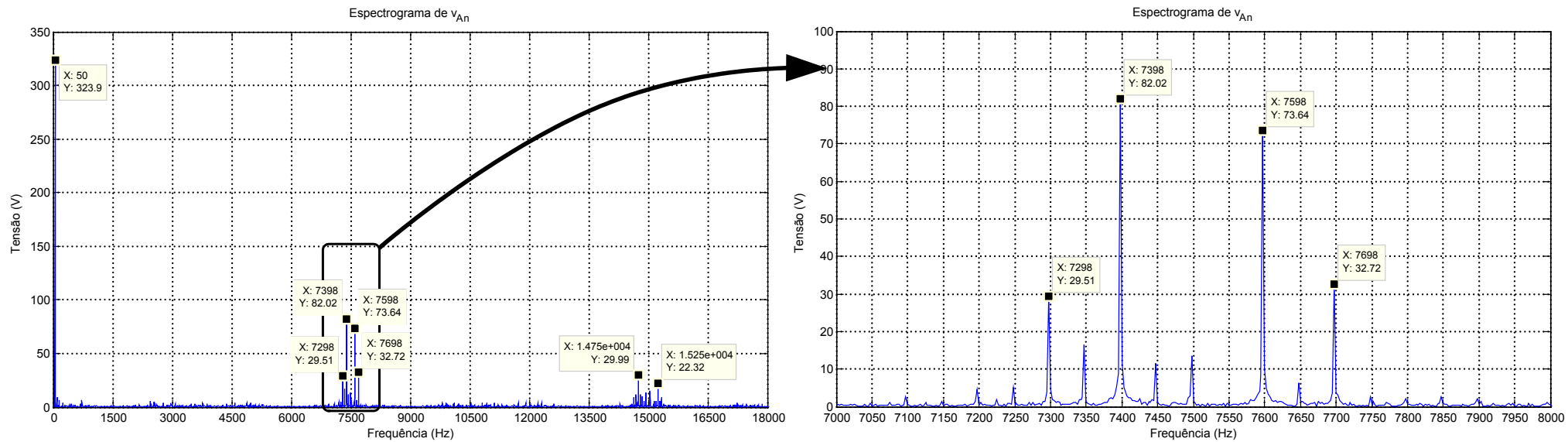


Fig. C-1: Espectrogramas da tensão v_{an} (os valores de tensão referem-se aos valores de pico).

Anexo

Tabela 1: Grandezas medidas no circuito da Fig. 2.

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9	Coluna 10	Coluna 11	Coluna 12
f (Hz)	Wattímetro METRIX		A_1 (A AC)	A_2 (A AC)	V_1 (V AC)	V_2 (V AC)	n (rpm)	Display da consola			
	V_{LL} (V AC)	$P_{T(IN)}$ (W)						I_{RMSI} (A) MNTR U-03	V_{LL1} (V) MNTR U-04	V_{DC} (V) MNTR U-05	P_{out} (W) MNTR U-11
10											
25											
25	400										
50											
50	400										
65											
90											

Nota sobre a medição da velocidade:

- Relação entre a velocidade do motor e a saída do gerador taquimétrico (voltímetro V_3): $n = V_{3(DC)} \times 1000$ (rpm).

Notas sobre o display da consola:

- U-03: valor RMS do fundamental da corrente de saída (a mesma que em IOUT);
- U-04: valor RMS do fundamental da tensão composta de saída
- U-05: valor médio da tensão no circuito intermédio DC
- U-11: Potência de saída.

Máquina assíncrona com variação electrónica de velocidade: curvas características de funcionamento

Máquina assíncrona com variação electrónica de velocidade: curvas características de funcionamento

Preparação do 4.º Trabalho Prático

A chapa de características do motor de indução utilizado no trabalho é apresentada na Tabela P1. O circuito equivalente do motor de indução, Fig. 1(a), possui os seguintes parâmetros (à frequência nominal): $R_s = 55.3 \Omega$, $R_r = 43.5 \Omega$, $X_{\sigma s} = 21.0 \Omega$, $X_{\sigma r} = 49.0 \Omega$ e $X_m = 254.6 \Omega$. O motor encontra-se **ligado em triângulo e despreze os harmónicos**.

Tabela P1: Chapa de características do motor de indução.

Typ. 732104		
Y/Δ 400/230 V		0.76/1.32 A
0.25 kW		cos φ 0.79
1350 rpm		50 Hz
Is: F	IP20	VDE 0530

P-1) Para $f \leq 50$ Hz a curva V/f a implementar no VEV é expressa por:

$$V_{LL} = U_{Start} + K_{UF} \times f \quad (1)$$

com $f \leq 50$ Hz, $K_{UF} = E_{s(n)} / f_{(n)}$ e U_{Start} = tensão de arranque.

- Determine K_{UF} .
- Sabendo que no arranque a tensão $U_{Start} = 42,50V$, determine a frequência de arranque.
- Preencha as células sombreadas da Tabela A1 do Anexo.

O conversor de electrónica de potência utilizado tem uma queda de tensão (em carga) que não é desprezável. **Nos cálculos seguintes assuma que a tensão de saída do conversor é 10 % inferior à expressa por (1), ou seja:**

$$V_{LL(real)} \approx 0.9 \times (U_{Start} + K_{UF} \times f) \quad (2)$$

P-2) Para a frequência de 50 Hz:

- Determine os parâmetros do circuito equivalente de Thévenin (Fig. 1(b)).
- Obtenha no Excel as curvas referentes às características: $T_{em} - n$, $I_{linha} - n$, $P_m - n$, $P_{in} - n$, $\eta - n$, $FP - n$.
- Comente as curvas e relacione-as. Determine o binário máximo (Tabela A2 do Anexo).

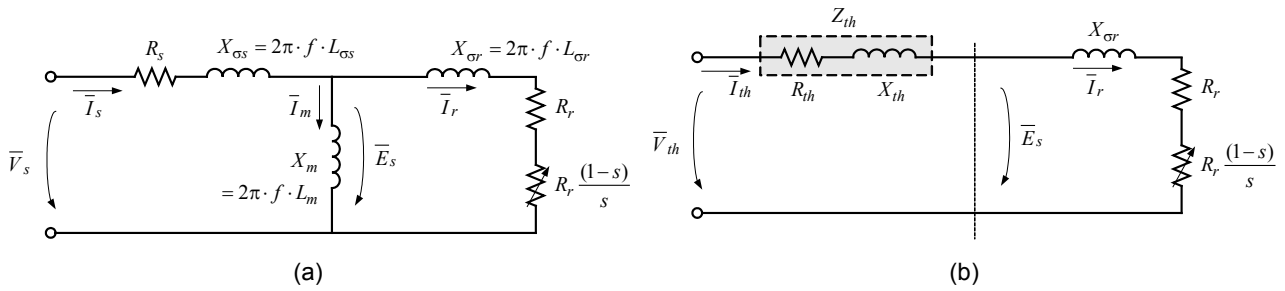


Fig. 1: (a) Circuito equivalente do motor de indução; (b) circuito equivalente de Thévenin.

P-3) Para as frequências de 10 Hz, 30 Hz e 75 Hz:

- i) Determine os parâmetros do circuito equivalente de Thévenin (Fig. 1(b)) e obtenha no Excel as curvas $T_{em} - n$, $I_{linha} - n$, $P_m - n$ e rendimento-velocidade.
- ii) Coloque num único gráfico (Excel) as curvas $T_{em} - n$ obtidas para todas as frequências (incluindo a de 50 Hz). Comente.
- iii) Determine o binário máximo para cada uma das frequências (preencha Tabela A2 do Anexo).
- iv) Coloque num único gráfico (Excel) as curvas $P_m - n$ obtidas para todas as frequências (incluindo a de 50 Hz). Comente.
- v) Coloque num único gráfico (Excel) as curvas $I_{linha} - n$ obtidas para todas as frequências (incluindo a de 50 Hz). Comente.

No final da preparação do trabalho deverá entregar os ficheiros Excel elaborados e as Tabelas do Anexo.

Máquina assíncrona com variação electrónica de velocidade: curvas características de funcionamento

1. Objectivos

Este trabalho tem como objectivos:

- i) Estudo do funcionamento da máquina assíncrona com rotor em gaiola de esquilo.
- ii) Implementação da curva V/f no variador electrónico de velocidade.
- iii) Estudo e obtenção das curvas características de funcionamento da máquina assíncrona:
 $T_{em} - n$, $I_{linha} - n$, $P_m - n$, $P_{in} - n$, $\eta - n$, $FP - n$, em regime de variação de velocidade.

2. Material

- 1 Conversor trifásico; Leybold, Ref. 735295
- 1 Módulo de entrada/saída, Leybold; Ref. 735296
- 1 Módulo de comando do inversor; Leybold; Ref. 735291
- 1 Travão electromagnético
- 1 Gerador taquimétrico
- 1 Fonte de Tensão DC, ± 15 V, 3 A
- 1 Fonte trifásica
- Cabos de ligação e placa de terminais
- 1 Unidade de controlo do travão electromagnético
- 1 Amplificador de isolamento; Leybold; Ref. 735261
- 3 Multímetros ISO-TECH IDM72
- 1 Motor de indução trifásico (250 W)
- 1 Placa de comunicação com PC
- 1 Computador e acessórios
- 1 Multímetro Fluke

3. Esquema de montagem

O esquema de montagem é apresentado na Fig. 2. As referências dos aparelhos de medida a utilizar são também mencionadas.

Notas relativas aos módulos de controlo de binário, medição e comunicação com o PC:

Unidade de controlo do travão (UCT): O binário resistivo aplicado ao motor é controlado pela Unidade de controlo do travão. Esta recebe o sinal de velocidade do motor (entrada "TACHO"). O início da aquisição é controlado pela pelo software (através da placa de comunicação com o PC, entrada "EXTERN"). O valor de binário resistivo aplicado ao motor é fornecido à placa de comunicação com o PC (saída "OUTPUT").

- **Ajuste da Unidade de Controlo do Travão (UCT):**
 - ⇒ Ajuste o selector da escala de velocidade para 3000 rpm;
 - ⇒ Ajuste o selector da velocidade mínima para $n_{min}=0\%$;
 - ⇒ Ajuste o selector da escala de binário de 10 N.m;
 - ⇒ Ajuste o selector de binário máximo para $M_{max}= 100\%$

Amplificador de isolamento: O amplificador de isolamento mede os valores de tensão e corrente no motor e fornece-os à placa de comunicação com o PC. O software assume que o sinal de tensão se refere à tensão simples. Como o motor está ligado em triângulo (e logo não existe neutro) o amplificador de isolamento transforma a tensão composta numa tensão simples fictícia, através do canal D (processo equivalente a fazer uma transformação triângulo-estrela).

- **Ajuste do amplificador de isolamento (AI):**

- ⇒ Canal A (mede a tensão na linha A): ganho 1/100;
- ⇒ Canal B (mede a tensão na linha B): ganho 1/100;
- ⇒ Canal C (mede a tensão na linha C): ganho 1/100;
- ⇒ Canal D: No selector MATH FUNCTION seleccione $L_{IN}(A,B,C)$. No interruptor FILTER seleccione 1 kHz.
- ⇒ Canal E (mede a corrente na linha A): ganho 1 V/A.

Com estes ajustes e ligações o canal D do amplificador de isolamento fornece à placa de comunicação com o PC um sinal referente à tensão simples v_{An} (fictícia) e o canal E fornece a corrente na linha A.

Placa de comunicação com o PC: Esta placa recebe os sinais de corrente, tensão, binário e velocidade (ANALOG INPUTS: C, B, A e D, respectivamente) possibilitando determinar todas as grandezas mecânicas e eléctricas relevantes. Esta placa controla também a unidade a UCT (ANALOG OUTPUT Y).

4. Obtenção das curvas de funcionamento

Numa primeira fase vão analisar-se todas as curvas características do funcionamento do motor de indução para a frequência e tensão nominais. Posteriormente vão estudar-se as alterações nalgumas dessas características para diversos valores de frequência (ou seja, de velocidade) e de tensão

4.1. Frequência e tensão nominais

- 1) Efectue as ligações da Figura 2. O conversor de electrónica de potência vai ser programado através do PC. O binário resistivo aplicado ao motor vai também ser controlado por intermédio do computador.
- 2) Coloque o interruptor da UCT em Ext. (controlo remoto). Coloque também o interruptor da UCT em Man/Ext 2.
- 3) **Depois de o Prof. verificar as ligações**, ligue a alimentação do amplificador de isolamento, da unidade de controlo do travão e da fonte de ± 15 V.

- 4) Ajuste α para 180°. Ligue a fonte trifásica e ajuste de seguida α para 0°. Verifique o valor medido por V_3 .
- 5) Corra no PC o programa CBM-10. Faça *File/load context/trab4aem.dte* (com este procedimento são carregados para a memória os parâmetros do motor e os ajustes do equipamento). Depois do menu de boas-vindas surgirá a janela representada na Fig. 3.
- 6) No menu *Desktop* escolha *Converter control unit*. Surgirá a janela da Fig. 4. Esta aplicação controla o variador de frequência (ou seja, programa a relação V/f). A maioria dos parâmetros é inserida automaticamente (ver Fig. 4). Para completar a programação do conversor:
 - ⇒ Insira em U/f o valor de K_{UF} calculado na preparação do trabalho.
 - ⇒ Insira em U_{St} o valor de U_{Start} calculado na preparação do trabalho.
 - ⇒ Insira os parâmetros nominais da máquina (no valor da corrente nominal inclua uma margem de +20%).
- 7) Insira em f_{Ref} o valor de 50 Hz. Envie os dados para o conversor de potência (Send Data). O motor deverá iniciar a rotação (rodará em vazio).
- 8) Registe o valor da tensão (fundamental) indicado pelo programa (ou pelo display da unidade de comando PWM) e as leituras dos aparelhos de medida (Tabela A1, Anexo).
- 9) No menu *Desktop* escolha *Recording characteristics*. Surgirá novamente a janela da Fig. 3. Esta aplicação controla o travão electromagnético e permite obter as características de funcionamento do motor: T_{em-n} , $I_{linha-n}$, $V_{simples-n}$, P_m-n , P_{in-n} , Q_{in-n} , S_{in-n} , $FP-n$, $s-n$, e $\eta-n$.
- 10) Efectue a aquisição digital das grandezas clicando no botão verde (Fig. 3).
- 11) Durante a aquisição dos dados monitorize a variação do valor eficaz do fundamental da tensão aplicada ao motor (no display da unidade de comando PWM) e as leituras dos aparelhos de medida. Registe os valores na Tabela A1 quando o rotor atingir velocidade nula.
- 12) Quando a aquisição terminar visualize as curvas (se necessário ajuste a escala dos eixos, clicando em cima destes).
- 13) Guarde a característica (*file/save characteristic as*) com um nome apropriado (*nome_fich.dte*). Guarde o gráficos das características T_{em-n} , $I_{linha-n}$, P_m-n , P_{in-n} , S_{in-n} , $FP-n$ e $\eta-n$ em formato de imagem (*file/print/output; screen; nome_fich.pcx*).
- 14) Obtenha o valor máximo do binário e registe na Tabela A2.

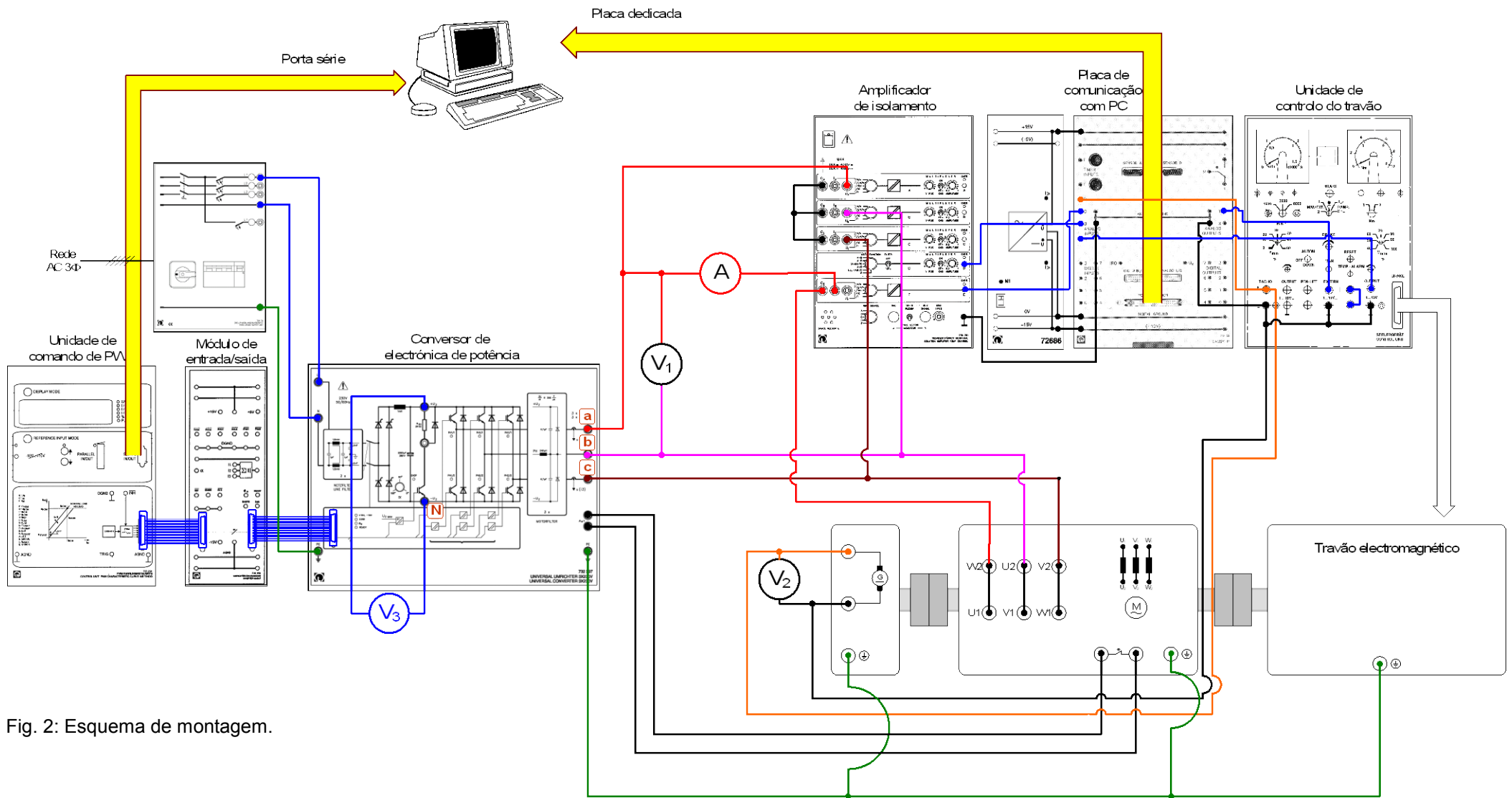


Fig. 2: Esquema de montagem.

Nota sobre os aparelhos de medida a utilizar:

Voltímetro V1: Multímetro Fluke 45 (V AC)

Voltímetros V2 e V3: Multímetro ISO-TECH IDM72 (V DC)

Amperímetro A: Multímetro ISO-TECH IDM72 (A AC)

4.2. Variação electrónica de velocidade

- 15) No menu *Desktop* escolha *Converter control unit*. Insira em f_{Ref} o valor de 10 Hz. Envie os dados para o conversor de potência. Registe o valor da tensão (fundamental) indicado pelo programa.
- 16) No menu *Desktop* escolha *Recording characteristics*. Faça *file/new characteristic*.
- 17) Efectue a aquisição digital das grandezas clicando no botão verde. Quando a aquisição terminar visualize as curvas. Obtenha o valor máximo do binário e registe na Tabela A2.
- 18) Guarde a característica (*file/save characteristic as*) com um nome apropriado (nome_fich.dte).
- 19) Guarde os gráficos das características $T_{em} - n$ e $I_{linha} - n$ em formato de imagem (*file/print/output; screen; nome_fich.pcx*).
- 20) Repita o procedimento anterior para as frequências de 30 Hz e 75 Hz.

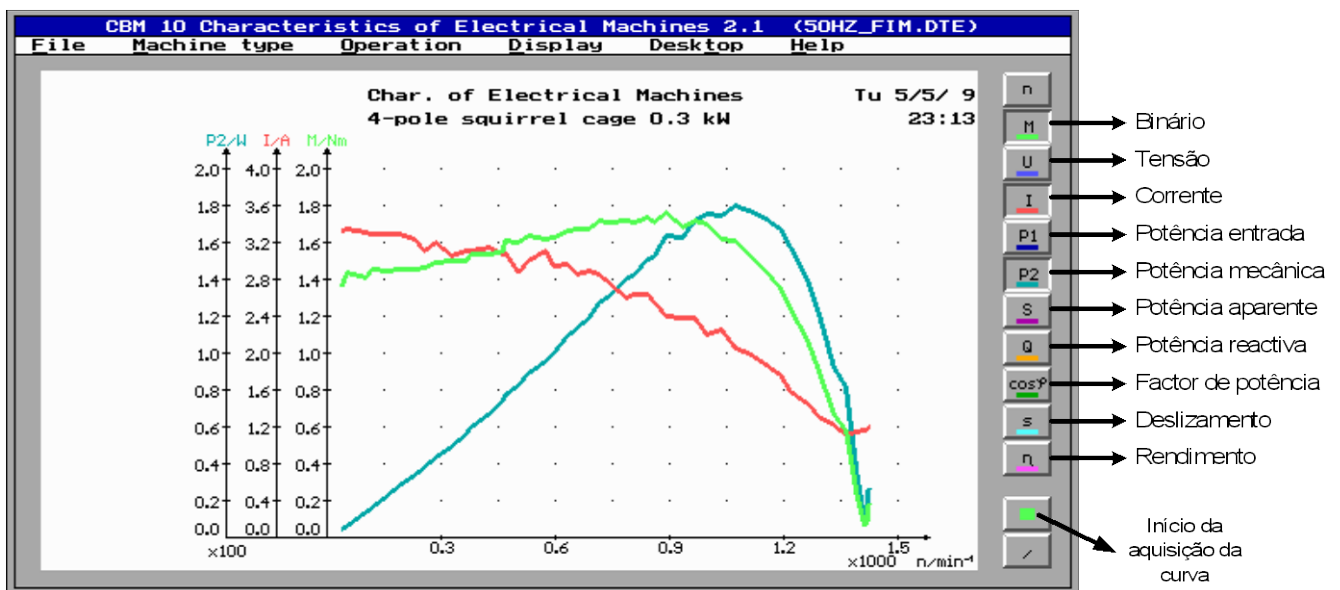


Fig. 3: Janela do programa CBM-10, no ambiente *Recording characteristics*.

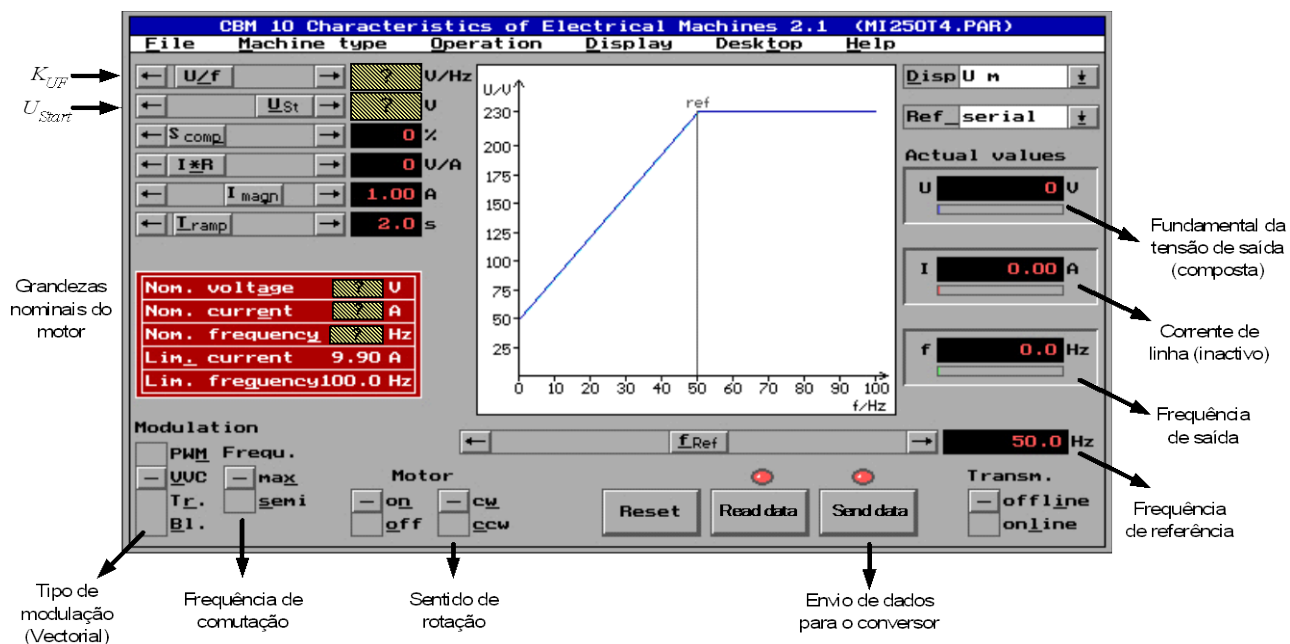


Fig. 4: Janela do programa CBM-10, no ambiente *Converter control unit*.

Anexo do 4.º Trabalho Prático

Máquina assíncrona com variação electrónica de velocidade: curvas características de funcionamento

Turma:	N.º	Nome
Grupo:		
Data:		

Tabela A1: Grandezas calculadas/medidas.

	V ₃ (V)	V ₁ (V)	I (A)	n (rpm)	Display Unidade PWM
	DC	AC	AC		V _{LL1} (V)
<i>f</i> = 50 Hz Motor em vazio (medido)					
<i>f</i> = 50 Hz Rotor bloqueado (medido)					
<i>f</i> = 50 Hz Rotor bloqueado (Calculado)	318				

Nota: $n = V_{2(DC)} \times 1000$ (rpm).

Tabela A2: Binário máximo (medido /calculado).

	T_{MAX} (N.m) (medido)	T_{MAX} (N.m) (calculado)
<i>f</i> = 10 Hz		
<i>f</i> = 30 Hz		
<i>f</i> = 50 Hz		
<i>f</i> = 75 Hz		

Accionamentos Electromecânicos
5.º Trabalho Prático

Accionamento de um Motor de Indução através de um Variador Electrónico de Velocidade Industrial

Accionamento de um Motor de Indução através de um Variador Electrónico de Velocidade Industrial

Preparação do 5.º Trabalho Prático

A chapa de características do motor de indução utilizado no trabalho é apresentada na Tabela P-I.

O circuito equivalente do motor de indução, Fig. 1, possui os seguintes parâmetros (à frequência nominal): $R_s = 9.1 \Omega$, $R_r = 7.58 \Omega$, $X_{\sigma s} = X_{\sigma r} = 11.39 \Omega$ e $X_m = 236.76 \Omega$. O motor encontra-se ligado em estrela e $V_{DC} = V_{LL} \cdot 1.4142$.

Tabela P-I: Chapa de características da máquina assíncrona.

Typ. 73303		
3~ Motor		Nr 200 65 009
Δ/Y 230/400 V		4.32/2.5 A
1.0 kW	S1	$\cos \varphi$ 0.82
1385 rpm		50 Hz
Rotor 100 V		6.4 A
I. KL. B	IP44	
VDE 0530		

P-1) No arranque é requerido ao motor 155 % do binário nominal. Determine a frequência de arranque f_{Start} e a tensão composta de arranque $V_{LL Start}$.

P-2) Para $f = 50$ Hz considere que o inversor, comandado por SPWM, possui $m_f = 153$. Aproxime o valor de m_a ao valor mais próximo da Tabela do formulário. Efectue as aproximações que achar convenientes, justificando-as.

i) Determine os harmónicos da corrente numa fase do motor (fundamental + 2 harmónicos com maior amplitude).

ii) Determine a variação do rendimento do motor em relação ao caso de alimentação puramente sinusoidal.

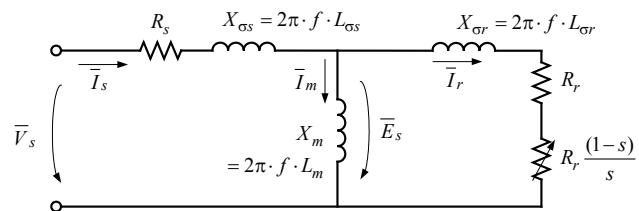


Fig. 1: Circuito equivalente do motor de indução.

P-3) Determine o binário máximo que o motor pode desenvolver para as frequências referidas na Tabela A1 do anexo.

P-4) Preencha as células sombreadas da Tabela A1 do Anexo. Considere que se utiliza uma curva V/f que mantêm o fluxo no entreferro constante e igual ao seu valor nominal.

No final da preparação do trabalho deverá entregar a Tabela A1 (semi)preenchida e a resposta (numérica) das perguntas.

Accionamento de um Motor de Indução através de um Variador Electrónico de Velocidade Industrial

1. Objectivos

Este trabalho tem como objectivos:

- i) Efectuar a programação do variador electrónico de velocidade (VEV).
- ii) Estudo do comportamento da máquina assíncrona quando alimentada pelo variador electrónico de velocidade;
- iii) Obtenção das características binário-velocidade para vários valores de tensão e frequência de alimentação.

2. Material

- 1 Variador electrónico de velocidade OMRON 3G3MV
- 1 Travão electromagnético 1 kW
- 1 Unidade de controlo do travão electromagnético
- 1 Gerador taquimétrico
- 1 Fonte trifásica
- 1 Osciloscópio
- 1 Motor de indução trifásico (1 kW)
- 4 Multímetros ISO-TECH IDM72
- 1 Multímetro Fluke 45
- 1 Wattímetro Metrix PX120
- 1 Ponta de prova de corrente
- Cabos de ligação e placa de terminais

3. Esquema de montagem

O esquema de montagem é apresentado na Fig. 2. As referências dos aparelhos de medida a utilizar são também mencionadas. Os ajustes Unidade de Controlo do Travão (UCT) são os seguintes:

- Ajuste o selector da escala de velocidade para 1500 rpm;
- Ajuste o selector da velocidade mínima para $n_{\min}=0\%$;
- Ajuste o selector da escala de binário de 10 N.m;
- Ajuste o selector de binário máximo para $M_{\max}= 100\%$

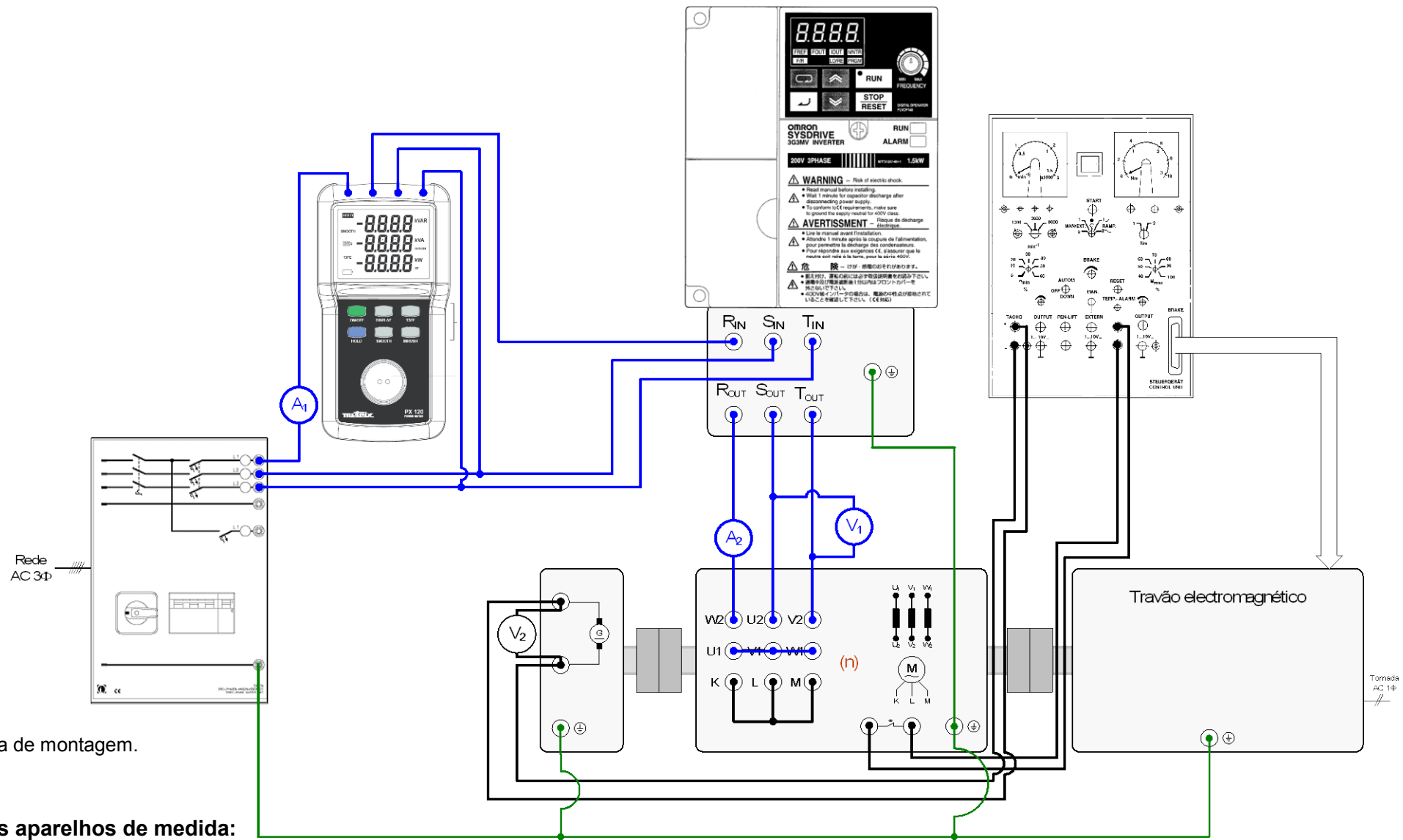


Fig. 2: Esquema de montagem.












Nota sobre os aparelhos de medida:

Voltímetro V1: Multímetro Fluke 45 (V AC)

Voltímetro V2: Multímetro ISO-TECH IDM72 (V DC)

Amperímetros A1 e A2: Multímetro ISO-TECH IDM72 (A AC)

4. Programação do VEV

- 1) Efectue as ligações da Figura 2.
- 2) Siga os seguintes passos para a programação do conversor:
 - i) Ligue a fonte de alimentação. O VEV fica ligado, mas o motor ainda não roda.
 - ii) Pressione sucessivamente a tecla Mode Key () até acender o led da PGRM (programação). Tem-se assim acesso às variáveis de programação.
 - iii) Com as teclas Decrement e Increment ( e ) , seleccione a variável n001. Esta variável determina quais as variáveis que podem ser alteradas na programação do conversor. Pressione então a tecla Enter ().
 - iv) Com as teclas  e  seleccione 8. Pressione Enter (). Com esta acção vão carregar-se os parâmetros de fábrica do conversor. Passado, aproximadamente, 1 segundo, a variável n001 fica com o valor de defeito de 1 e visualizará posteriormente n001.
 - v) Pressione novamente Enter e coloque o valor de 4 na variável n001. Com esta acção todas as variáveis de programação estarão disponíveis.
 - vi) Com as teclas  e  seleccione a variável n002. Esta variável determina qual o tipo de comando a implementar (V/f ou controlo vectorial). Seleccione o controlo V/f inserindo 0 em n002.
 - vii) Com as teclas  e  seleccione a variável n036. Esta variável indica o valor nominal da corrente de saída. Seleccione o valor nominal da corrente do motor utilizado.
 - viii) As variáveis n011 a n017 regem a característica V/f, conforme ilustrado na Fig. 3. As especificações para este trabalho são as seguintes (ver Fig. 3):
 - a) n011: valor máximo de frequência: 100 (Hz)
 - b) n012: máximo valor eficaz do fundamental da tensão composta de saída (insira a tensão nominal composta do motor)
 - c) n013: valor de frequência para a tensão máxima: (insira a frequência nominal do motor)
 - d) n014: valor intermédio de frequência: 10 (Hz)

- e) n015: tensão composta para o valor intermédio de frequência (calculada na preparação do trabalho)
- f) n016: valor mínimo de frequência: frequência de arranque (calculada na preparação do trabalho, f_{Start})
- g) n017: tensão composta para o valor mínimo de frequência: (calculada na preparação do trabalho, $V_{LL Start}$)

n011	Maximum Frequency (FMAX)	Register	010B Hex	Changes during operation	No
Setting range	50.0 to 400.0 (Hz)	Unit of setting	0.1 Hz	Default setting	60.0
n012	Maximum Voltage (VMAX)	Register	010C Hex	Changes during operation	No
Setting range	0.1 to 255.0 (0.1 to 510.0) (V)	Unit of setting	0.1 V	Default setting	200.0 (400.0)
n013	Maximum Voltage Frequency (FA)	Register	010D Hex	Changes during operation	No
Setting range	0.2 to 400.0 (Hz)	Unit of setting	0.1 Hz	Default setting	60.0
n014	Middle Output Frequency (FB)	Register	010E Hex	Changes during operation	No
Setting range	0.1 to 399.9 (Hz)	Unit of setting	0.1 Hz	Default setting	1.5
n015	Middle Output Frequency Voltage (VC)	Register	010F Hex	Changes during operation	No
Setting range	0.1 to 255.0 (0.1 to 510.0) (V)	Unit of setting	0.1 V	Default setting	11.0 (22.0)
n016	Minimum Output Frequency (FMIN)	Register	0110 Hex	Changes during operation	No
Setting range	0.1 to 10.0 (Hz)	Unit of setting	0.1 Hz	Default setting	1.5
n017	Minimum Output Frequency Voltage (VMIN)	Register	0111 Hex	Changes during operation	No
Setting range	0.1 to 50.0 (0.1 to 100.0) (V)	Unit of setting	0.1 V	Default setting	4.3 (8.6)

Note Figures in brackets are for 400-V Inverter models.

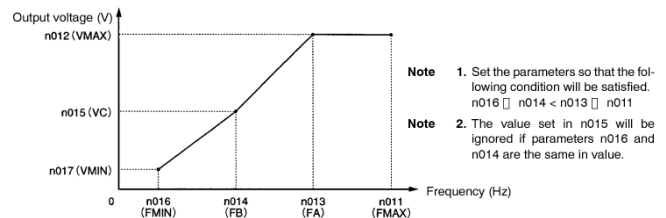




Fig. 3: Característica V-f.

- ix) A frequência da tensão de saída do conversor (ou a frequência de referência) pode ser ajustada através das teclas  e , através do botão rotativo FREQ Adjuster ou ainda por controlo remoto. Por simplicidade vai-se utilizar o botão rotativo FREQ Adjuster para variar a frequência, colocando na variável n004 o valor 0.

5. Procedimento experimental

5.1. Variação da velocidade abaixo da velocidade nominal

- Coloque o interruptor da UCT em Man. (controlo manual) e coloque o interruptor rotativo da UCT em 0 (binário resistivo igual a zero).
- Através do botão rotativo FREQ Adjuster ajuste a frequência para 50 Hz. Pressione na tecla RUN.
- Registe na Tabela I os valores dos aparelhos de medida e do display do conversor.
- Visualize e registe, através da pinça de corrente, as formas de onda da corrente numa fase do estator e do rotor. Determine as frequências de cada uma das formas de onda. Através da pinça de corrente e de um multímetro obtenha o valor eficaz da corrente no rotor (Tabela I).
- Coloque o interruptor rotativo da UCT em Man/Ext 1 e ajuste **suavemente** o binário de carga para o binário nominal.

- 8) Visualize e registre, através da pinça de corrente, as formas de onda da corrente numa fase do estator e do rotor. Determine as frequências de cada uma das formas de onda e o valor eficaz da corrente no rotor (Tabela I).
- 9) Coloque o interruptor rotativo da UCT em 0 (binário resistivo igual a zero).
- 10) Através do botão rotativo FREQ Adjuster ajuste a frequência para 30 Hz. Registre na Tabela I os valores dos aparelhos de medida e do display do conversor, para as condições de vazio e de binário resistivo nominal.
- 11) Coloque o interruptor rotativo da UCT em 0 (binário resistivo igual a zero).
- 12) Através do botão rotativo FREQ Adjuster ajuste a frequência para 10 Hz. Registre na Tabela I os valores dos aparelhos de medida e do display do conversor, para as condições de vazio e de binário resistivo nominal.

5.2. Variação da velocidade acima da velocidade nominal

- 13) Coloque o interruptor rotativo da UCT em 0 (binário resistivo igual a zero).
- 14) Através do botão rotativo FREQ Adjuster ajuste a frequência para 70 Hz.
- 15) Coloque o interruptor rotativo da UCT em Man/Ext 1 e aumente **suavemente** o binário de carga até atingir a corrente nominal. Registre na Tabela I os valores dos aparelhos de medida e do display do conversor.
- 16) Coloque o interruptor rotativo da UCT em 0 (binário resistivo igual a zero).
- 17) Através do botão rotativo FREQ Adjuster ajuste a frequência para 90 Hz.
- 18) Coloque o interruptor rotativo da UCT em Man/Ext 1 e aumente **suavemente** o binário de carga até atingir a corrente nominal. Registre na Tabela I os valores dos aparelhos de medida e do display do conversor.
- 19) Desligue a montagem e arrume a bancada, os cabos e os equipamentos.

Anexo do 5.º Trabalho Prático

Accionamento de um Motor de Indução através de um Variador Electrónico de Velocidade Industrial

Tabela A1: Grandezas medidas no circuito da Fig. 2.

Condições	Wattímetro		A ₁ (A AC)	A ₂ (A AC)	V ₁ (V AC)	n (rpm)	Display da consola				f _{I_{estator}} (Hz)	I _{rotor} (A)	f _{I_{rotor}} (Hz)	Tem (V)
	V _{LL} (V AC)	P _{T(IN)} (W)					I _{efl} (A) U-03	V _{LL1} (V) U-04	V _{DC} (V) U-05	P _{out} (W) U-11				
$f = 50 \text{ Hz} \ \& \ T_{em} \approx 0 \text{ N.m}$														
$f = 50 \text{ Hz} \ \& \ T_{em} \approx T_{em(n)}$														
$f = 50 \text{ Hz} \ \& \ T_{em} \approx T_{em(n)}$	400		X		X									
$f = 30 \text{ Hz} \ \& \ T_{em} \approx 0 \text{ N.m}$											X			
$f = 30 \text{ Hz} \ \& \ T_{em} \approx T_{em(n)}$														
$f = 30 \text{ Hz} \ \& \ T_{em} \approx T_{em(n)} \ (*)$	400		X		X									
$f = 10 \text{ Hz} \ \& \ T_{em} \approx 0 \text{ N.m}$														
$f = 10 \text{ Hz} \ \& \ T_{em} \approx T_{em(n)}$														
$f = 10 \text{ Hz} \ \& \ T_{em} \approx T_{em(n)} \ (*)$	400		X		X									
$f = 70 \text{ Hz} \ \& \ I_S \approx I_{S(n)}$														
$f = 90 \text{ Hz} \ \& \ I_S \approx I_{S(n)}$														

(*) Despreze harmónicos.

Autoavaliação e tópicos a aprofundar

(trabalho para casa - componente não avaliada no trabalho - **não entregar**)

- Casa-1) Para a frequência de $f = 70$ Hz assuma que o motor desenvolve a potência mecânica nominal. Determine a corrente de alimentação e o rendimento do motor. (considere apenas o fundamental da corrente no motor).
- Casa-2) Obtenha o circuito equivalente de Thévenin do motor para as frequências de 10 Hz, 30 Hz e 50 Hz. Obtenha as características binário-velocidade. Compare com as curvas referentes ao motor de 250 W utilizado no trabalho 4.



15/Jun/2011
50 min.+0 min. tol.

1

Esboce o diagrama de blocos de um accionamento de corrente contínua em malha fechada, incluindo o sistema motor/carga, o conversor de electrónica de potência e as realimentações dos sinais referentes à velocidade e à corrente de armadura. Comente-o sucintamente.

2

- a) Considere o controlo de velocidade de um motor de indução através da variação da tensão estatórica e frequência fixa. Esboce as características $T_{em} - n$ para vários valores da tensão de alimentação. Enumere, justificando, as principais desvantagens deste tipo de comando. Esboce o esquema de um conversor de que satisfaça os requisitos desta técnica de controlo de velocidade.
- b) Considere o controlo de velocidade de um motor de indução através da variação simultânea da tensão e frequência de alimentação.
- Explique detalhadamente os méritos desta técnica. Explique porque razão a tensão e a frequência não variam de forma exactamente proporcional;
 - Esboce as características binário-velocidade de um motor de indução para diversos valores de frequência (considere um deslizamento reduzido), mantendo o fluxo no entreferro constante e binário de carga constante. Justifique detalhadamente, indicando as expressões que permitem o referido esboço;
 - Explique a operação do accionamento de um motor de indução quando este opera nas zonas de Binário Constante e Enfraquecimento de Campo. Justifique o seu raciocínio esboçando as curvas limites de funcionamento, para diversos valores da velocidade, das seguintes grandezas: T_{em} , f , V_s , I_r , I_m , f_{sl} e s , para as zonas de funcionamento citadas, explicando o significado e interacção destas curvas, utilizando para o efeito as relações entre as referidas grandezas que achar apropriadas.

Cotações:

1	2a)	2b)
1.5	1	3

3

Um inversor trifásico, Figura 1, alimenta uma carga RL série, trifásica, acoplada em triângulo, com $R = 5 \Omega$ e $L = 5.47 \text{ mH}$. A carga possui uma tensão nominal de 220 V a 400 Hz.

a) As amplitudes da tensão de saída de um inversor monofásico em semiponte, comandado por PWM sinusoidal síncrona, podem ser calculadas a partir da Tabela I. Assumindo que o inversor trifásico é comandado de forma análoga, determine o valor eficaz dos harmónicos da tensão composta de saída (fundamental + 6 harmónicos de amplitude mais relevante). A frequência de comutação é de 6 kHz. A tensão de entrada do inversor, com o comando por PWM, é de 600 V. Esboce o respectivo espectrograma.

b) Considere que o inversor trifásico é agora comandado por onda quadrada. Determine o valor da tensão de entrada para que a carga opere nas suas condições nominais. Expresse em série de Fourier a tensão $v_{AB}(t)$ e a corrente $i_{AB}(t)$. Considere apenas os 5 harmónicos mais significativos em amplitude

c) Esboce a evolução temporal, de forma razoavelmente precisa, das seguintes grandezas:

Tensões: $v_{AN}; v_{BN}; v_{CN}; v_{AB}; v_{BC}; v_{CA}; (v_{AB})_1; (v_{BC})_1; (v_{CA})_1; v_{TA+}; v_{DA+}$

Correntes: Esboce as formas de onda considerando apenas os fundamentais das correntes na carga, desprezando os harmónicos: $i_A; i_B; i_C; i_{AB}; i_{BC}; i_{CA}; i_d; i_{TA+}; i_{DA+}$.

Justifique as formas de onda utilizando as 4 primeiras topologias a partir do instante em que o fundamental da corrente $i_A(t)$ inicia o seu semiciclo positivo. Construa as respectivas tabelas de comando e condução para as topologias indicadas.

d) Calcule as potências: activa; reactiva; aparente e deformante, trocadas entre o conversor e a carga. Determine o valor médio da corrente de entrada do inversor (I_d). Considere apenas o fundamental da corrente na carga, desprezando os seus harmónicos.

Tabela I: Harmónicos de v_{Ao} para m_f elevado.

h	m_a				
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
Fundamental					
m_f	1.242	1.15	1.006	0.818	0.601
$m_f \pm 2$	0.016	0.061	0.131	0.220	0.318
$m_f \pm 4$					0.018
$2m_f \pm 1$	0.190	0.326	0.370	0.314	0.181
$2m_f \pm 3$		0.024	0.071	0.139	0.212
$2m_f \pm 5$				0.013	0.033
$3m_f$	0.335	0.123	0.083	0.171	0.113
$3m_f \pm 2$	0.044	0.139	0.203	0.176	0.062
$3m_f \pm 4$		0.012	0.047	0.104	0.157
$3m_f \pm 6$				0.016	0.044
$4m_f \pm 1$	0.163	0.157	0.008	0.105	0.068
$4m_f \pm 3$	0.012	0.070	0.132	0.115	0.009
$4m_f \pm 5$			0.034	0.084	0.119
$4m_f \pm 7$				0.017	0.050

Note: $(\hat{V}_{Ao})_{h/2} V_d [= (\hat{V}_{Ao})_{h/2} V_d]$ is tabulated as a function of m_a .

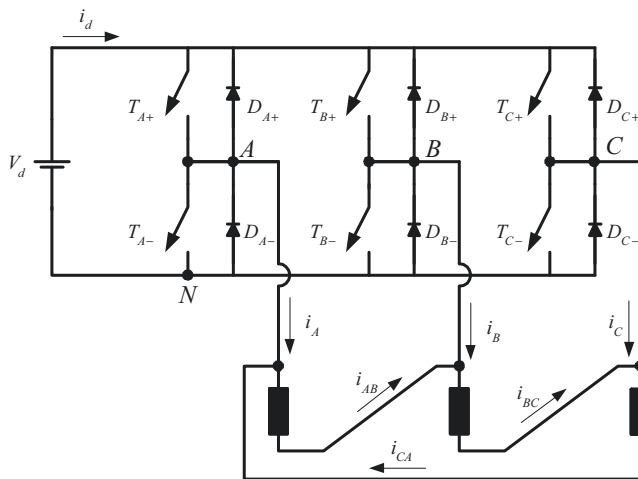


Figura 1: Circuito referente à Questão 3.

4

Um motor de indução trifásico, 9 kW, 400 V, 50 Hz, tetrapolar, 1470 rpm, Y, possui os seguintes parâmetros do circuito equivalente, Figura 2, para a frequência nominal: $R_s=0,641 \Omega$; $X_{\sigma s}=0,63 \Omega$; $X_m=22 \Omega$; $R_r=0,3 \Omega$ e $X_{\sigma r}=0,42 \Omega$.

A característica $T_{em} - n$ pode assumir-se linear, para valores de deslizamento reduzidos, numa gama de 0 a 150% do binário nominal.

a) Variando simultaneamente a tensão e frequência de alimentação de forma a manter o fluxo no entreferro constante, determine:

- i) A tensão de alimentação e respectiva frequência;
- ii) As correntes no estator, no rotor e de magnetização;
- iii) O rendimento.

Quando o motor desenvolve o binário nominal a 120 rpm. Assuma grandezas sinusoidais. Esboce a característica $T_{em} - n$ para a velocidade nominal e para 120 rpm.

b) Considere que motor é alimentado através do sistema da Figura 3. Para a condição de funcionamento de a), determine os harmónicos da corrente de alimentação, a potência de entrada e o rendimento. Determine o ângulo de disparo dos tiristores do rectificador controlado.

c) O accionamento do motor de indução funciona na zona de enfraquecimento de campo, fornecendo a potência nominal a 2500 rpm. A corrente de alimentação do motor é igual à corrente nominal. Despreze a influência da reactância de magnetização ($X_m \approx \infty$). Determine a frequência de alimentação do motor, o deslizamento, a velocidade de deslizamento e o binário desenvolvido. Determine o ângulo de disparo dos tiristores do rectificador controlado. Determine o binário máximo para esta condição de funcionamento e a sua relação com o binário máximo nominal.

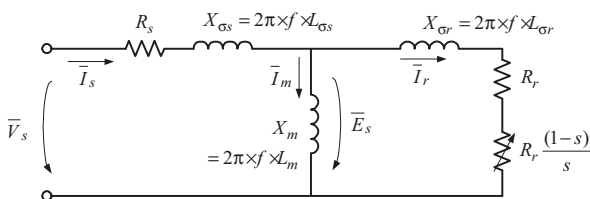


Figura 2: Esquema equivalente do motor de indução.

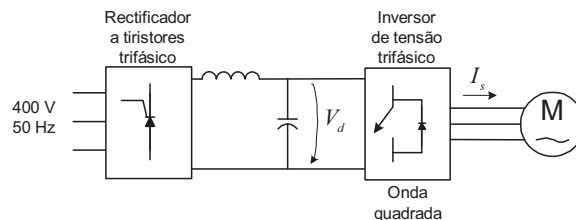


Figura 3: Sistema de electrónica de potência.

Cotações:

3a)	3b)	3c)	3d)	4a)	4b)	4c)
2	1.5	2	2	3	2	2



29/06/2011
50 min.+0 min. tol.

Componente Teórica

1

- a) Considere um inversor monofásico em ponte comandado por SPWM Unipolar. Assuma SPWM síncrona e modulação linear. Quais as diferenças no conteúdo harmónico da tensão de saída, v_o , em relação ao caso do inversor em semiponte com comando por SPWM. Quais os requisitos para m_f e m_a ? Justifique detalhadamente a sua resposta.
- b) Indique qual o conteúdo harmónico da tensão de saída do inversor trifásico em ponte quando este opera com um comando por modulação por largura de impulso sinusoidal síncrona, com $m_a \leq 1$. Compare com o caso de um inversor em monofásico em semiponte. Justifique detalhadamente.
- c) Explique o funcionamento de um conversor trifásico DC-AC a operar no regime rectificador.

2

Considere o motor síncrono trifásico de ímanes permanentes, bipolar, representado na Figura 1. Os enrolamentos estatóricos, ligados em triângulo, possuem uma distribuição trapezoidal.

Esboce o fluxo encadeado com o enrolamento da fase **ab** e a tensão induzida na fase **ab** à medida que o rotor roda no sentido anti-horário.

Obtenha a sequência do campo magnético imposto pelo estator para que o rotor rode no sentido anti-horário, conforme se indica na Fig. 1, onde, em cada situação, se indica a posição inicial do rotor.

Esboce o esquema de electrónica de potência que alimenta o motor e esboce a forma de onda das correntes i_a e i_{ab} e a respectiva tabela de comando dos semicondutores de potência. Efectue as aproximações que achar adequadas.

Cotações:

1.a)	1.b)	1.c)	2
1	1	1	2.5

N.º: Nome:

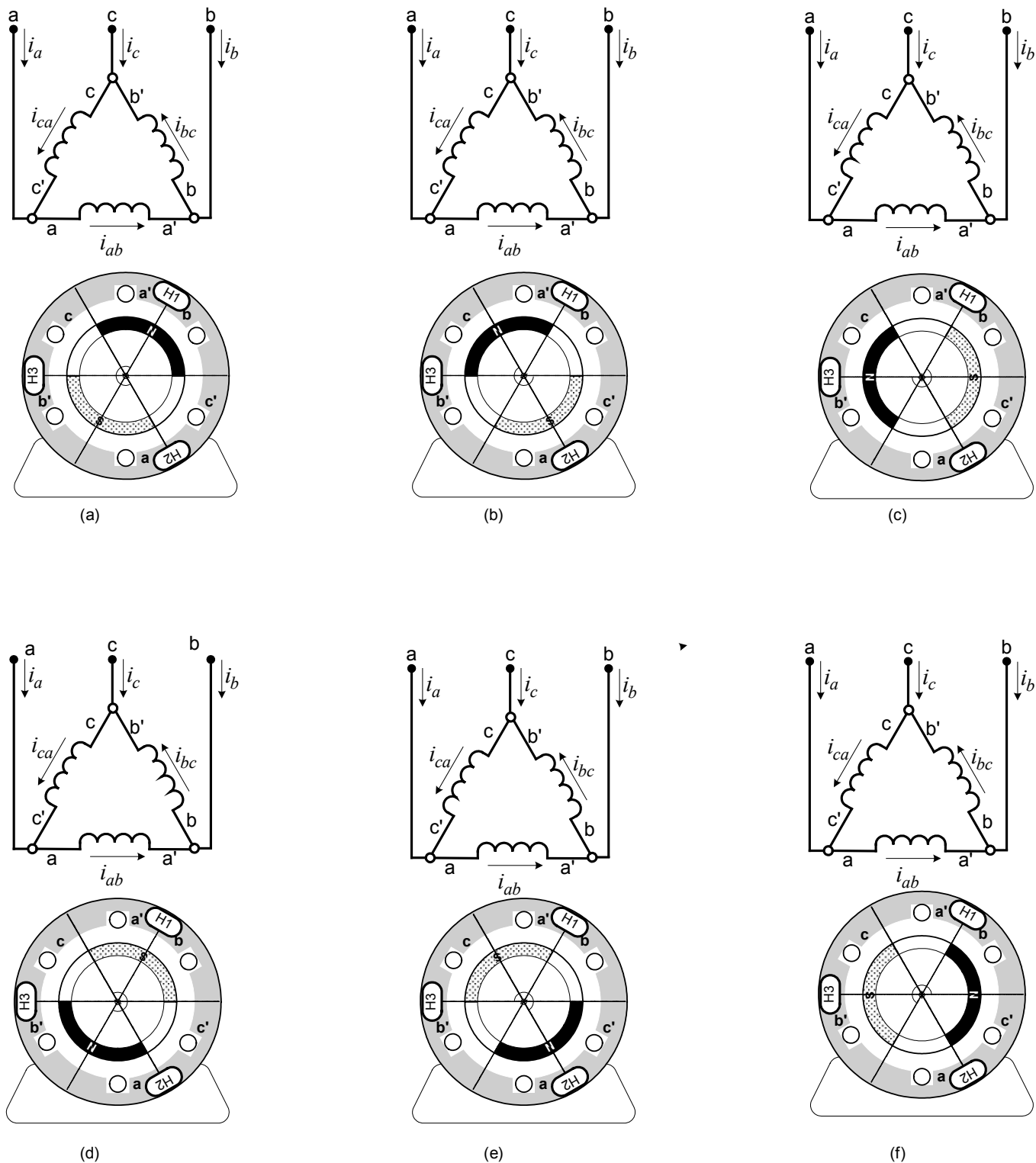


Figura 1: Motor síncrono de ímanes permanentes, bipolar, com os enrolamentos estáticos ligados em triângulo.

3

O circuito de armadura de uma máquina de corrente contínua é alimentado através do sistema de electrónica de potência ilustrado na Figura 2. O motor DC possui os seguintes parâmetros: $V_{t(n)} = 220 \text{ V}$; $I_{a(n)} = 10 \text{ A}$; $n_{(n)} = 2000 \text{ rpm}$; $I_{f(n)} = 1 \text{ A}$ e $R_a = 2 \Omega$.

- Determine os valores dos ciclos de trabalho dos semicondutores do chopper em ponte para os seguintes regimes de funcionamento da máquina:
 - Funcionamento como motor no sentido directo, desenvolvendo 60% do binário nominal a 1500 rpm;
 - Funcionamento em travagem no sentido directo, desenvolvendo 60% do binário nominal a 1500 rpm;
 - Funcionamento como motor no sentido inverso, desenvolvendo 60% do binário nominal a 1500 rpm;
 - Funcionamento em travagem no sentido inverso, desenvolvendo 60% do binário nominal a 1500 rpm;
- Considere agora a máquina a operar no regime de motorização no sentido directo a uma velocidade de 2500 rpm (zona de enfraquecimento de fluxo). Nestas condições o motor desenvolve 80% do binário máximo admissível em regime permanente. Determine o valor médio da tensão de armadura, o valor médio da corrente de armadura e o valor médio da corrente de excitação.

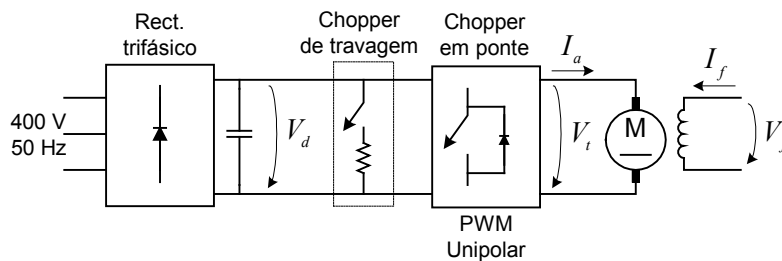


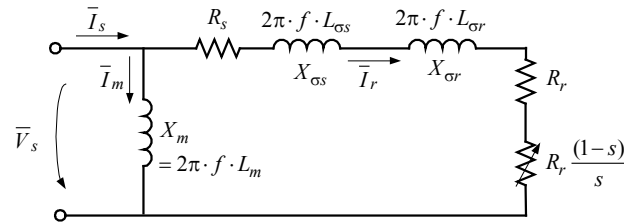
Figura 2: Esquema de um accionamento de um motor de DC.

4

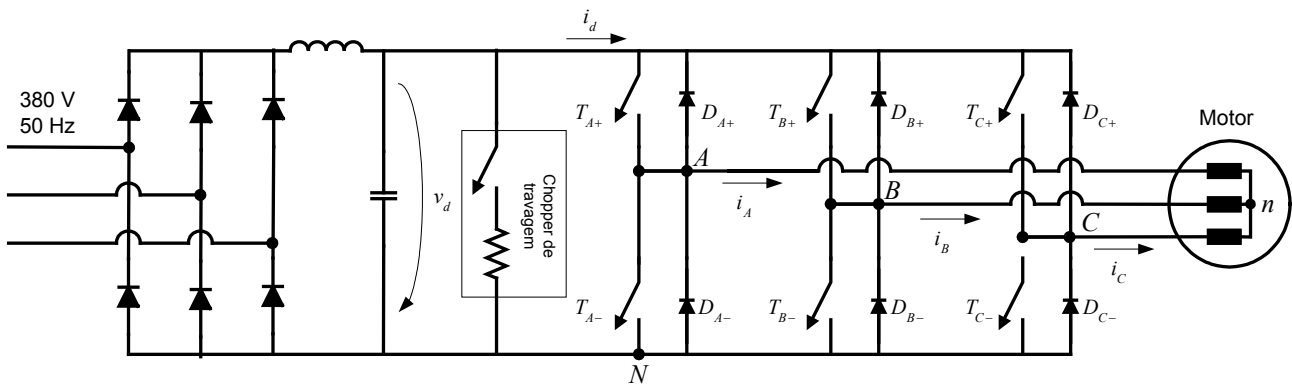
Um motor de indução trifásico, 400 V, 50 Hz, 3 pares de pólos, 975 rpm, ligado em Y, possui os seguintes parâmetros do circuito equivalente simplificado, Figura 3(a), para a frequência nominal: $R_s = 0.294 \Omega$, $X_{cs} = 0.42 \Omega$, $X_m = 11 \Omega$, $R_r = 0.144 \Omega$ e $X_{cr} = 0.18 \Omega$. A característica $T_{em} - n$ pode assumir-se linear, para valores de deslizamento reduzidos, numa gama de 0 a 150% do binário nominal.

- O motor roda a 1500 rpm e fornece 70% da potência mecânica nominal. Indique em que zona de operação se encontra a operar o accionamento. Determine a tensão de alimentação do motor e a sua frequência, a velocidade de sincronismo, o deslizamento, o rendimento do motor e as correntes estatórica, rotórica e de magnetização. Assuma alimentação sinusoidal.
- O motor é alimentado através do sistema de electrónica de potência da Figura 3(b). Para as condições de a), indique qual o modo de funcionamento do inversor: PWM (modulação linear ou sobre-modulação) ou onda quadrada. Justifique detalhadamente.

- c) Para as condições de b), expresse a corrente de alimentação do motor em série de Fourier, considerando os harmônicos até à ordem $h \leq 13$. Determine o rendimento do motor nestas condições e compare com a). Determine o valor eficaz da corrente de alimentação do motor e as perdas por efeito de Joule no motor.
- d) Nas condições de b), mas considerando apenas o fundamental das correntes de alimentação do motor, esboce as formas de onda das seguintes grandezas: v_{AN} ; v_{BN} ; v_{CN} ; v_{AB} ; $(v_{AB})_1$; v_{An} ; v_{Bn} ; v_{Cn} ; $(v_{An})_1$; v_{TA+} ; i_A ; i_B ; i_C ; i_d ; i_{TA+} , i_{DA+} , i_{TA-} , i_{DA-} . Assuma comando por onda quadrada. Justifique as formas de onda esboçadas, incluindo no seu raciocínio as 6 primeiras topologias a partir do instante em que o fundamental da corrente $i_A(t)$ inicia o seu semiciclo positivo, assim como as tabelas de comando e condução.



(a)



(b)

Figura 3: (a) Esquema equivalente do motor de indução; (b) sistema de electrónica de potência.

Cotações:

3a)	3b)	4a)	4b)	4c)	4d)
3	2	3	1.5	2	3

1

Considere o inversor monofásico em semiponte da Fig. 1.

- Indique qual o conteúdo harmónico da tensão de saída, v_{Ao} , do inversor monofásico em semiponte, quando este opera com um comando por PWM. Assuma PWM síncrona e modulação linear. Quais os requisitos para m_f e m_a ? Justifique detalhadamente a sua resposta.
- Exponha o que entende por PWM síncrona e assíncrona. Efectue uma análise comparativa entre estes dois tipos de comando. Explique o que entende por modulação linear e não linear.
- Considere agora um inversor monofásico em ponte comandado por PWM Bipolar. Assuma PWM síncrona e modulação linear. Quais as diferenças no conteúdo harmónico da tensão de saída, v_o , em relação ao caso do inversor em semiponte de a). Quais os requisitos para m_f e m_a ? Justifique detalhadamente a sua resposta.
- Considere agora um inversor monofásico em ponte comandado por PWM Unipolar. Assuma PWM síncrona e modulação linear. Quais as diferenças no conteúdo harmónico da tensão de saída, v_o , em relação ao caso do inversor em ponte com comando por PWM Bipolar. Quais os requisitos para m_f e m_a ? Justifique detalhadamente a sua resposta.

2

- Para se controlar a velocidade de um motor de indução trifásico pode variar-se a tensão e frequência de alimentação do motor. As características binário-velocidade para tal operação são ilustradas na Figura 2. Explique-as sucintamente, utilizando para o efeito o circuito equivalente do motor de indução e as relações mais convenientes.
- Explique a operação do accionamento de um motor de indução quando este está nas zonas de Binário Constante e Potência Constante. Justifique o seu raciocínio através das características $T_{em} - \omega_r$, $f - \omega_r$, $V_s - \omega_r$, $I_r - \omega_r$, $I_m - \omega_r$, $f_{sl} - \omega_r$ e $s - \omega_r$ para as zonas de funcionamento citadas, explicando o significado e interacção destas curvas, utilizando para o efeito as relações entre as referidas grandezas que achar apropriadas.

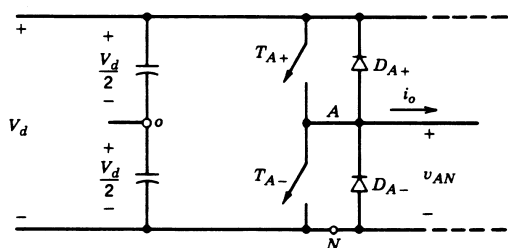


Figura 1 – Inversor em semiponte.

Cotações:

1a)	1b)	1c)	1d)	2a)	2b)
1	0.5	1	1	1	1

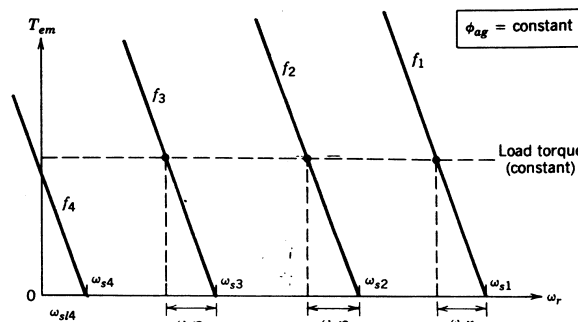


Figura 2: Característica binário – velocidade para um deslizamento reduzido, fluxo no entreferro constante e binário de carga constante.

3

Um motor de indução trifásico, 400 V, 50 Hz, 3 pares de pólos, 985 rpm, ligado em Y, possui os seguintes parâmetros do circuito equivalente, Figura 3(a), para a frequência nominal: $R_s=0,38 \Omega$; $X_{cs}=1.5 \Omega$; $X_m=25 \Omega$; $R_r=0,40 \Omega$ e $X_{cr}=2,2 \Omega$. A característica $T_{em} - n$ pode assumir-se linear, para valores de deslizamento reduzidos, numa gama de 0 a 150% do binário nominal. A velocidade do motor é controlada variando simultaneamente a tensão e frequência de alimentação de forma a manter o fluxo no entreferro constante.

- Determine a frequência de arranque, a corrente de arranque e a tensão composta de arranque para o motor desenvolver um binário de arranque $T_{start} = 1.1 \times T_{em(n)}$. Assuma alimentação sinusoidal.
- O motor é utilizado para efectuar a travagem em recuperação de uma carga mecânica activa. Quando o motor desenvolve um binário de travagem igual a 80% do binário nominal a uma velocidade de 500 rpm determine a tensão de alimentação do motor e a sua frequência, o rendimento do motor e as correntes estatórica, rotórica e de magnetização. Assuma alimentação sinusoidal.
- O motor é alimentado através do sistema de electrónica de potência da Figura 3(b). A tabela de comando dos semicondutores de potência encontra-se em anexo. Esboce as formas de onda de v_{AN} ; v_{BN} ; v_{CN} ; v_{AB} ; $(v_{AB})_1$; v_{An} e $(v_{An})_1$.
- Para as condições de funcionamento de b), determine o valor eficaz dos harmónicos $h=1, 7, 11, 19$ e 23 da corrente de alimentação do motor, o valor da tensão DC, V_d e a potência activa fornecida ao motor.
- Assuma que, por fase, o fundamental da corrente de alimentação do motor se encontra atrasado de 145° em relação ao fundamental da tensão simples. Considerando apenas o fundamental das correntes de fase, esboce as formas de onda de i_A ; i_B ; i_C ; i_d ; i_{TA+} e i_{DA+} .

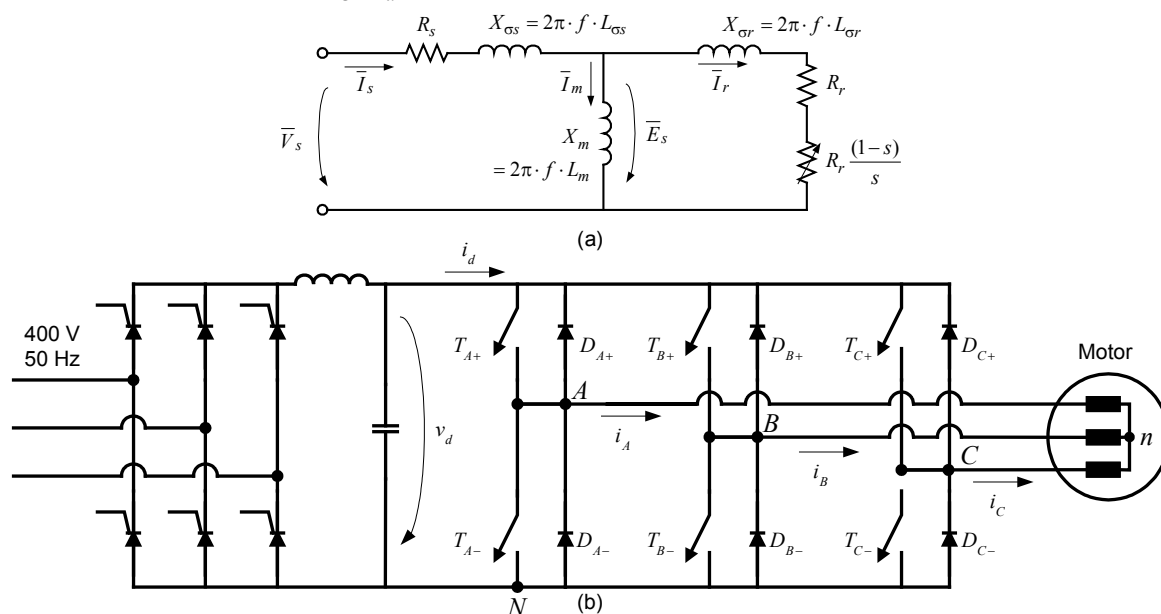


Figura 3: (a) Esquema equivalente do motor de indução; (b) sistema de electrónica de potência.

Um motor síncrono de ímãs permanentes, trifásico, bipolar, com enrolamentos com distribuição trapezoidal, ligados em Y, possui as seguintes características: $R_{fase} = 0,85 \Omega$, $n_{(n)} = 3000 \text{ rpm}$; $K_E = 0,9 \text{ V}/(\text{rad/s})$ e $I_{s(n)} = 12,4 \text{ A}$.

- a) Determine a tensão nominal linha-a-linha do motor ($\hat{V}_{LL(n)}$), a velocidade em vazio e o binário com rotor bloqueado. Esboce a característica $T_{em} - n$ nominal do motor.
- b) O motor é alimentado pelo sistema de electrónica de potência da Figura 4, encontrando-se a operar nas suas condições nominais de velocidade e binário. Assuma que $V_d = \hat{V}_{LL(n)}$, onde $\hat{V}_{LL(n)}$ foi obtido na alínea a). Obtenha a sequência do campo magnético imposto pelas correntes estatóricas para que o rotor rode no sentido anti-horário, conforme se indica na Figura 5, em anexo, onde, em cada situação, se indica a posição inicial do rotor. Esboce as formas de onda das seguintes grandezas: fluxo encadeado com o enrolamento da fase a, $\lambda_a(t)$; $e_a(t)$, $e_b(t)$, $e_c(t)$, $i_a(t)$, $v_{An}(t)$ e $v_{AC}(t)$. Indique as escalas para tensões e correntes. Apresente a tabela de comando do conversor.
- c) O motor desenvolve 7 N.m a 1500 rpm. **Para a situação (a) da Figura 5**, determine a tensão de alimentação do motor e os ciclos de trabalho do conversor de electrónica de potência. Assumindo que a frequência de comutação dos semicondutores é igual a 900 Hz, esboce a correspondente forma de onda da tensão de alimentação do motor (apenas para a situação (a) da Figura 5). Efectue as aproximações que achar convenientes, justificando-as. Assuma que $V_d = \hat{V}_{LL(n)}$, onde $\hat{V}_{LL(n)}$ foi obtido na alínea a).

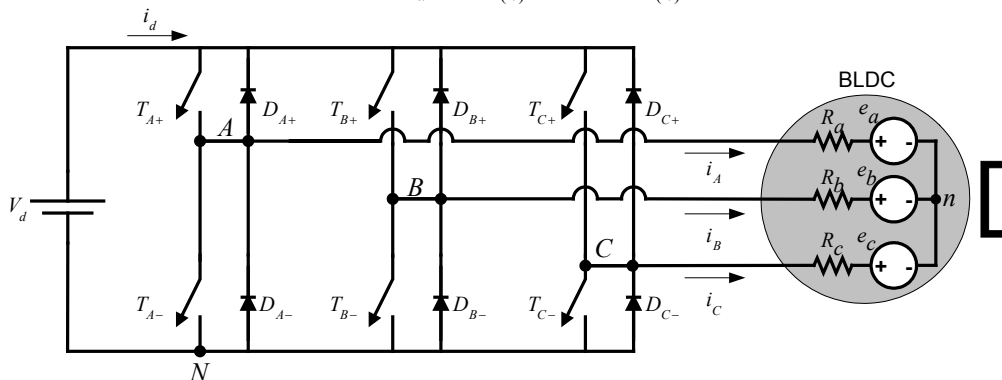


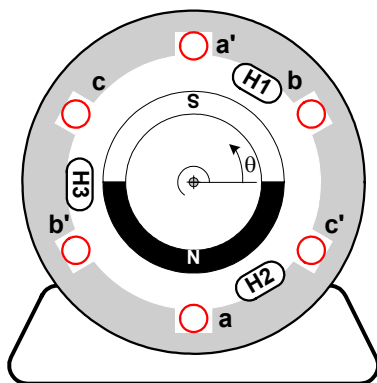
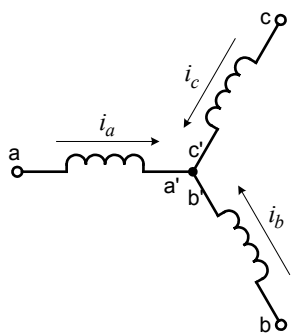
Figura 4: Esquema do accionamento do motor síncrono de ímãs permanentes.

Cotações:

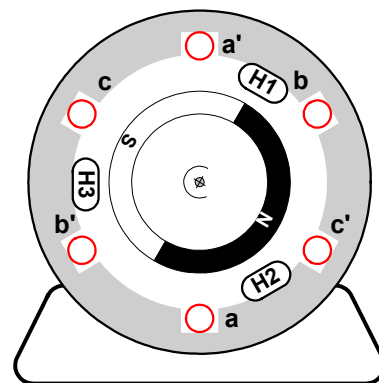
3a)	3b)	3c)	3d)	3e)	4a)	4b)	4c)
2	3	1.5	2	1.5	1	2	1.5

0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400

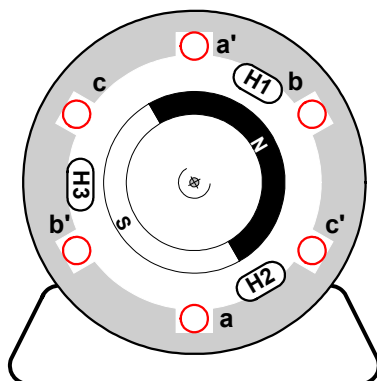
TA+	TA-	TA+			TA-	TA+	TA-	TA+	TA-			TA+	TA-	TA+	TA-	TA+
TB-				TB+	TB-	TB+	TB-	TB+			TB-	TB+	TB-	TB+	TB-	
TC+	TC-	TC+	TC-	TC+	TC-			TC+	TC-	TC+	TC-	TC+			TC-	TC+



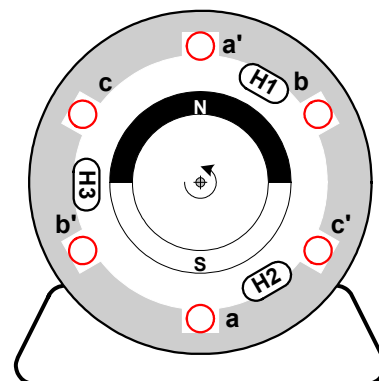
(a)



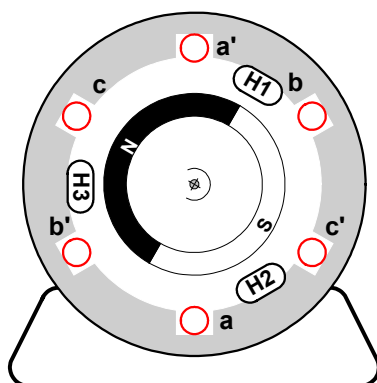
(b)



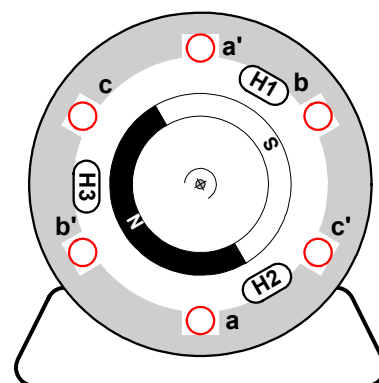
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 5: Motor síncrono trifásico de ímãs permanentes, bipolar.



30/04/2011
50 min.+0 min. tol.

Componente Teórica

1

Esboce o esquema de um inversor de tensão trifásico, em ponte, a alimentar uma carga indutiva ligada em estrela. De seguida:

- i) Identifique as restrições relativas ao estado dos semicondutores controláveis de cada ramo. Justifique.
- ii) Identifique todas as combinações possíveis para os estados dos semicondutores dos 3 ramos do inversor trifásico. Para cada uma dessas combinações esboce o circuito equivalente do inversor (representando só os semicondutores ON) + carga e determine o valor DC das tensões de simples e compostas de saída (em função da tensão de entrada).
- iii) Esboce os sinais de comando para o caso da modulação por SPWM e exemplifique situações onde as combinações anteriormente referidas são utilizadas. Das combinações possíveis identifique quais as utilizadas no comando por onda quadrada.

2

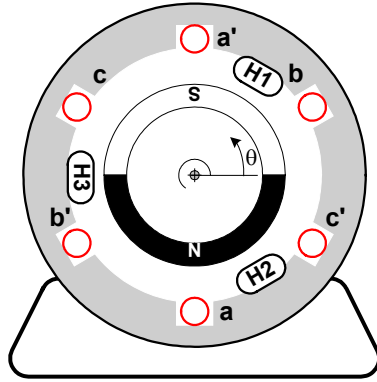
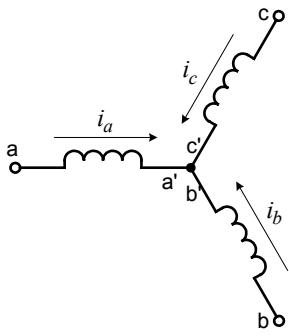
Esboce as características binário-velocidade das seguintes cargas: grua, bobinadora, ventilador, tracção de veículo em plano horizontal. Justifique sucintamente.

3

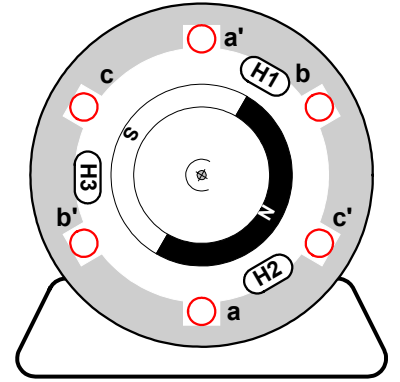
Considere o motor síncrono trifásico de ímanes permanentes, bipolar, da Fig. 1. Os enrolamentos estatóricos, ligados em estrela, possuem uma distribuição trapezoidal. Esboce a distribuição da indução magnética ao longo da periferia do estator, o fluxo encadeado com o enrolamento da fase **a**, $\lambda_a(\theta)$ e a tensão induzida no enrolamento da fase **a** $e_a(\theta)$. Obtenha a sequência do campo magnético imposto pelo estator para que o rotor rode no sentido anti-horário, conforme indicado na Fig. 1, onde, em cada situação, se indica a posição inicial do rotor. Considerando que o motor é alimentado por um conversor de electrónica de potência, esboce a forma de onda das correntes de alimentação e a respectiva tabela de comando dos semicondutores de potência.

Cotações:

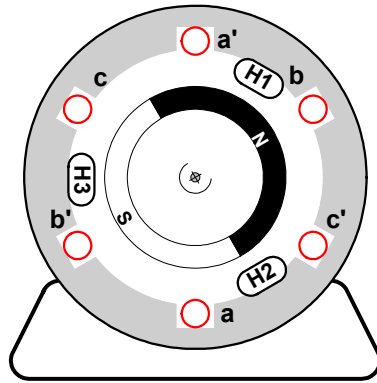
1	2	3
1.5	1.5	2.5



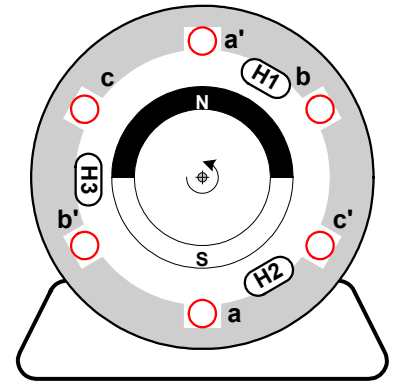
(a)



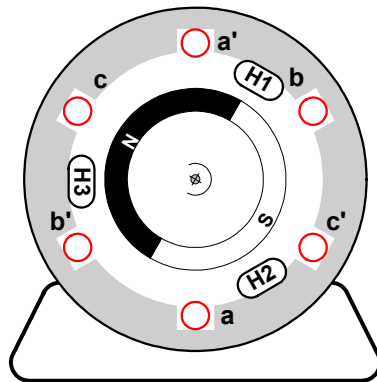
(b)



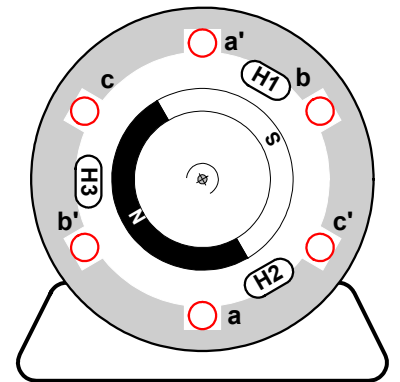
(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 1: Motor síncrono trifásico de ímanes permanentes, bipolar.

4

Na Fig. 2(a) encontra-se representado um sistema de accionamento electromecânico. A evolução temporal da velocidade angular da carga encontra-se ilustrada na Fig. 2(b). São conhecidos os seguintes momentos de inércia (referidos à velocidade indicada entre parêntesis):

$$\text{Motor: } J_{m(\omega_m)} = 1.9 \text{ kg} \cdot \text{m}^2; \quad \text{Redutor: } J_{R(\omega_m)} = 0.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2; \quad \text{Carga: } J_{L(\omega_L)} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

O binário de carga, referido à velocidade ω_L , vem expresso por:

$$T_{\text{carga}(\omega_L)} = \begin{cases} 1000 \text{ N.m se } \omega_L > 0 \\ 0 \text{ N.m se } \omega_L = 0 \end{cases}$$

A relação de transmissão do redutor é de 0.05. A potência e velocidade nominal do motor eléctrico são 15 kW e 100 rad/s, respectivamente.

Para a aplicação em causa a desaceleração deve ser efectuada o mais rápido possível. Determine o valor mínimo que pode possuir t_d , sem que ocorra uma sobrecarga do motor.

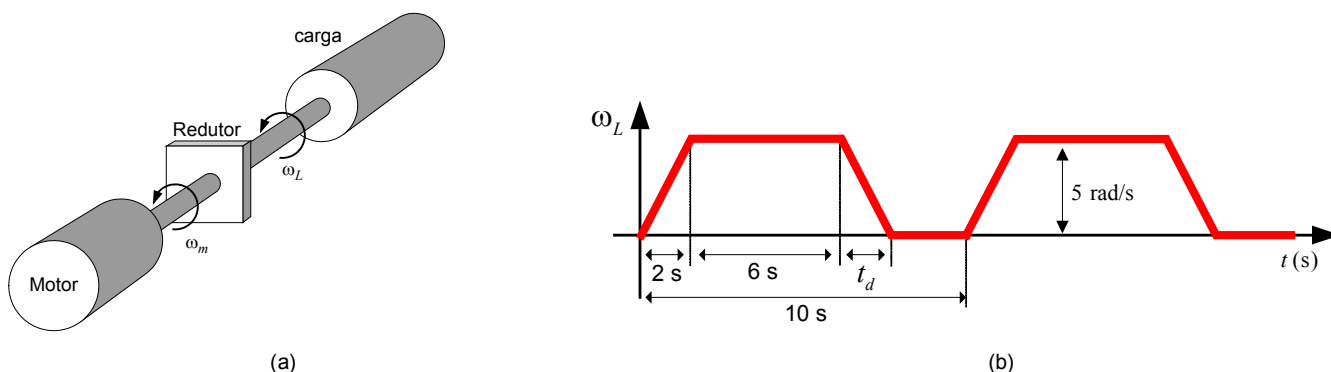


Fig. 2: (a) Esquema de sistema de accionamento electromecânico; (b) evolução da velocidade.

5

Uma máquina assíncrona trifásica, 400 V, 50 Hz, 2 pares de pólos, 1440 rpm, ligada em Y, possui os seguintes parâmetros do circuito equivalente, Fig. 3(a), para a frequência nominal: $R_s = 0.5 \Omega$, $X_{cs} = 4.12 \Omega$, $X_m = 120 \Omega$, $R_r = 1.3 \Omega$ e $X_{cr} = 4.4 \Omega$. A característica $T_{em} - n$ nominal pode assumir-se linear, para valores de deslizamento reduzidos, numa gama de 0 a 150% do binário nominal.

A máquina acciona uma carga mecânica que possui a seguinte relação binário-velocidade:

$$T_{\text{carga}} = 5 \times \left(\frac{n}{1000} \right)^2 + 10 \text{ (N.m)}$$

a) Alimenta-se o motor com um sistema de tensões com frequência de 25 Hz. A velocidade da máquina é controlada variando simultaneamente a tensão e frequência de alimentação de forma a manter o fluxo no entreferro constante.

Determine a tensão de alimentação da máquina, a velocidade, o deslizamento, as correntes estatórica, rotórica e de magnetização e o rendimento. Assuma alimentação sinusoidal.

- b) Para as mesmas condições de funcionamento de a), considere agora que a máquina é alimentada através do sistema de electrónica de potência da Fig. 3(b). O inversor é comandado por SPWM com $m_f = 21$. Assuma que o condensador de filtragem no lado DC tem capacidade infinita. Determine o valor eficaz do fundamental e dos 4 harmónicos mais significativos em amplitude da tensão de alimentação do motor. Determine os harmónicos da corrente estatórica. Efectue as aproximações que achar convenientes, justificando-as.
- c) Nas condições de b), determine as potências activa e aparente trocadas entre a rede e a máquina. Determine a distorção harmónica da tensão composta de saída e o valor médio da corrente de entrada. Determine o rendimento do motor. Compare esta grandeza com o caso de alimentação sinusoidal. Efectue as aproximações que achar convenientes, justificando-as.
- d) Assuma agora que o inversor é comandado por onda quadrada. Considerando apenas o fundamental das correntes no motor, esboce a evolução temporal, de forma razoavelmente precisa, das seguintes grandezas: v_{AN} ; v_{BN} ; v_{AB} ; v_{An} ; v_{AB1} ; v_{An1} ; v_{TA+} ; i_A ; i_B ; i_C ; i_{TB-} ; i_{DB-} ; e i_d . Represente a tabela de condução.
- e) Pretende-se conhecer a velocidade máxima que o motor pode atingir sem se verificar sobrecarga (por simplicidade assumo $X_m \approx \infty$ e alimentação sinusoidal).
- Determine esse valor de velocidade.
 - Determine a tensão e frequência de alimentação do motor, o binário desenvolvido, o deslizamento e a corrente estatórica. Obtenha a relação entre o binário máximo para esta condição de funcionamento e o binário máximo nominal. Relacione este valor com as respectivas frequências de funcionamento. Justifique sucintamente.

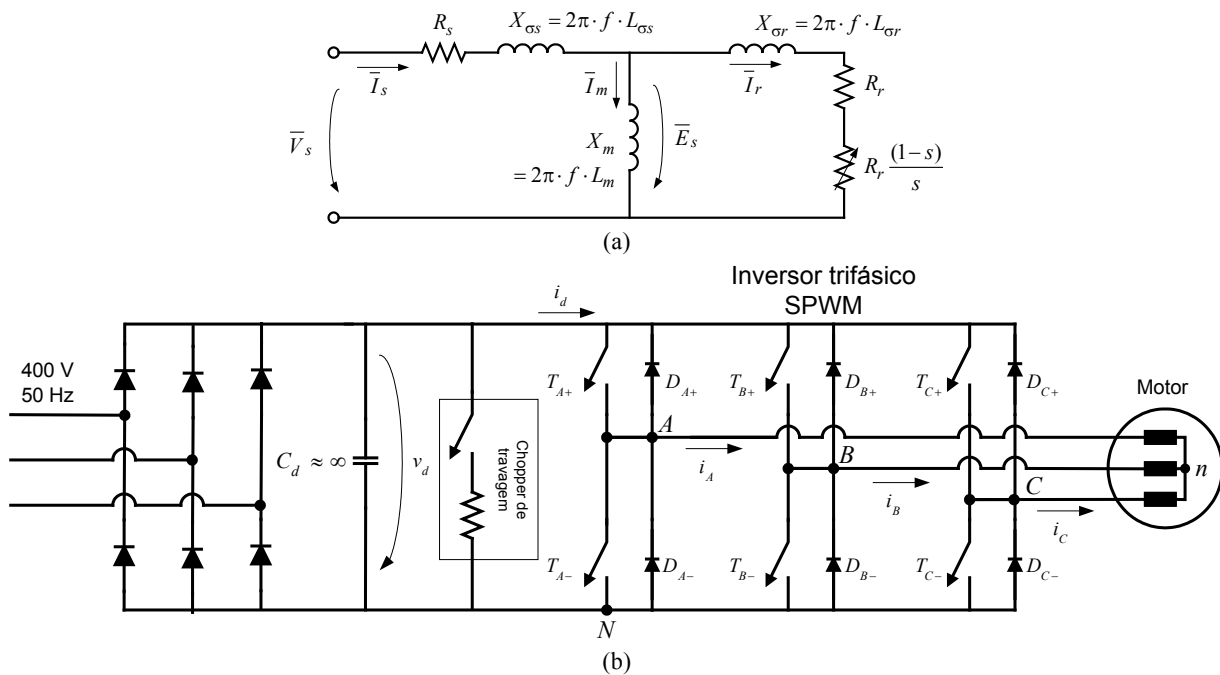


Fig. 3: (a) Esquema equivalente do motor de indução; (b) sistema de electrónica de potência.

Cotações:

4	5a)	5b)	5c)	5d)	5e)
3	3	2	1	2.5	3



Universidade do Algarve
Escola Superior de Tecnologia
Área Departamental de Engenharia Electrotécnica
Engenharia Eléctrica e Electrónica, 2º Ciclo
Electrónica de Regulação e Comando

1º Trabalho Prático

Estudo das Características dos Semicondutores de Potência

Simulação em Ambiente PSPICE®

Ano Lectivo de 2005/2006, 1º Semestre
Elaborado por Nelson Gago

1. Introdução

A simulação computacional de fenómenos físicos representa actualmente uma óptima ferramenta para estudar de forma eficiente e económica inúmeros projectos em todas as áreas. O PSPICE é uma ferramenta extremamente poderosa em todos os campos da simulação de circuitos eléctricos e electrónicos, sendo de fácil implementação e utilização. No que diz respeito à utilização de PSPICE em circuitos de *Electrónica de Potência*, este revela-se extremamente útil, pois os fabricantes de componentes electrónicos fornecem, em alguns casos, os respectivos modelos nesta linguagem.

Para os trabalhos a efectuar nesta disciplina vai utilizar-se a versão-estudante do PSPICE (download: <http://www.orcad.com/Product/Simulation/PSpice/eval.asp>), a qual, apesar de possuir algumas limitações, permite estudar de forma detalhada o funcionamento dos conversores utilizados em *Electrónica de Potência*. A versão completa (que requer uma chave de hardware) encontra-se disponível na ADEE.

2. Conceitos Básicos sobre o PSPICE

Existem duas formas de inserir o circuito a simular. A primeira consiste na elaboração, em linguagem própria (netlist), de um ficheiro de texto (nome.cir) onde são designados todos os nós e componentes do circuito. A segunda forma consiste na utilização do *Schematics*, onde o circuito é construído (nome.sch) utilizando os componentes das bibliotecas. O *Schematics* constrói depois a netlis e então simula-o utilizando o PSPICE A/D. É nesta ultima forma de introduzir o circuito a simular que irá ser abordada nos trabalhos de *Electrónica de Potência*, pois é bastante mais prática.

O pacote PSPICE é composto por vários módulos de software em que o PSPICE A/D constitui o núcleo do programa, pois é o módulo que efectua a simulação do circuito a estudar. Os resultados da simulação são depois analisados utilizando o *PROBE*. O pacote PSPICE possui ainda:

- Editor de modelos (*Model Editor*), que permite alterar e/ou construir componentes;
- Editor de estímulos (*Stimulus Editor*), que permite construir diversos tipos de fontes e/ou sinais;
- Interface com *PSpice Optimizer* para optimização do desempenho do circuito analógico;
- Interfaces com programas de PCB para obtenção do layout de circuitos impressos;

Todos estes módulos podem ser chamados a partir do *Schematics*. O funcionamento deste módulo será explicado sucintamente no decorrer da aula.

Existem diversas possibilidades para efectuar a simulação dos circuitos. Nestes trabalhos vai utilizar-se unicamente a análise transitória de fenómenos.

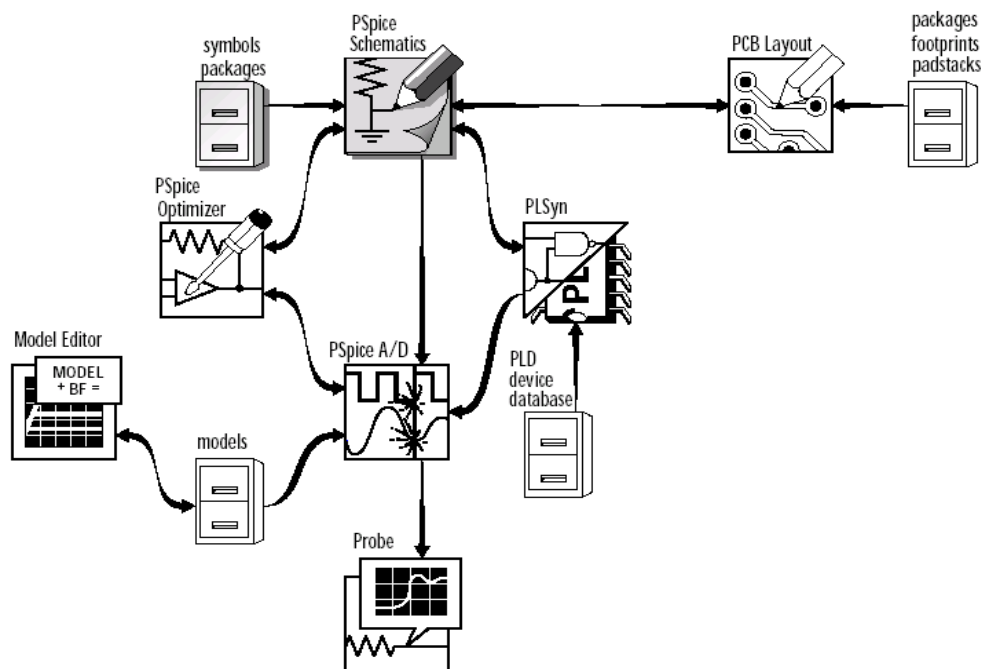


Figura 1 – Componentes do Pspice.

3. Biblioteca de Componentes de Electrónica de Potência

Alguns dos componentes dos circuitos a estudar encontram-se numa biblioteca de Electrónica de Potência não incluída na versão – estudante, pelo que terá de ser introduzida. Para tal execute os seguintes procedimentos:

- Abra o **Schematics**;
- No menu principal, seleccione **Options** e depois **Editor Configuration**;
- Seleccione **Library Settings** e em seguida **Browse**;
- Indique o caminho para a biblioteca **pwr_elec.lib**;
- Seleccione **Add***;
- **Close** e depois **OK**.

3.1. Alteração de alguns parâmetros predefinidos

Alguns parâmetros de defeito conduzem a problemas de convergência na simulação. Para ultrapassar estas dificuldades, efectua-se as seguintes alterações:

- No menu principal, seleccione **Analysis** e depois **Setup**;
- Seleccione **Options**;
- Modifique **ABSTOL** de **1pA** para **0.0001** ou **100uA**;
- Modifique **GMIN** de **1p** para **1u**;
- **OK** e depois **Close**.

Nota: Estes parâmetros têm de ser alterados sempre que se abre uma nova página de desenho. Para evitar repetir este procedimento faça as alterações e guarde o ficheiro como, por exemplo, **pag_branco.sch**. Para construir cada novo circuito abra este ficheiro e depois **save as... .**

4. Circuito com Darlington – Carga Resistiva

1) Construa no Schematics o circuito da Figura 2, com os seguintes parâmetros:

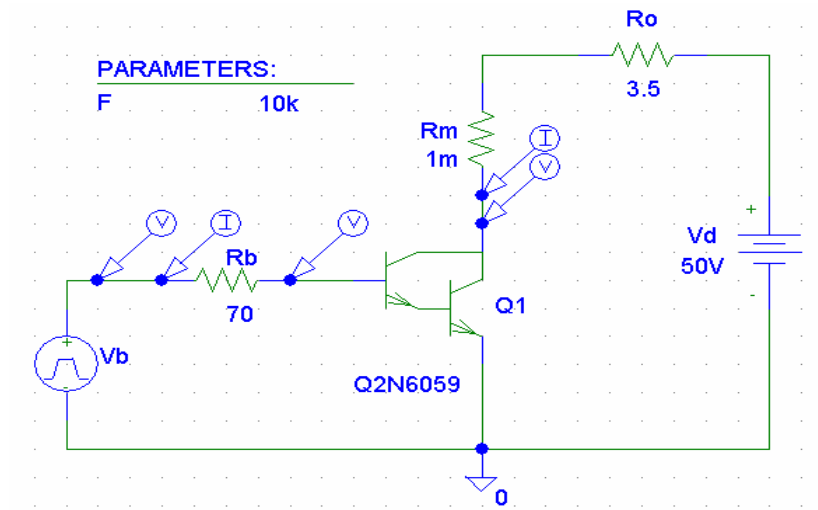

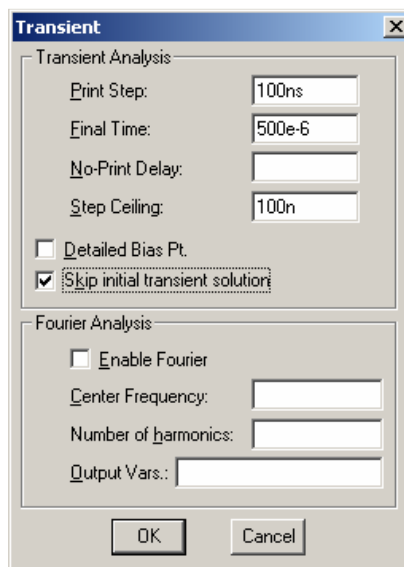



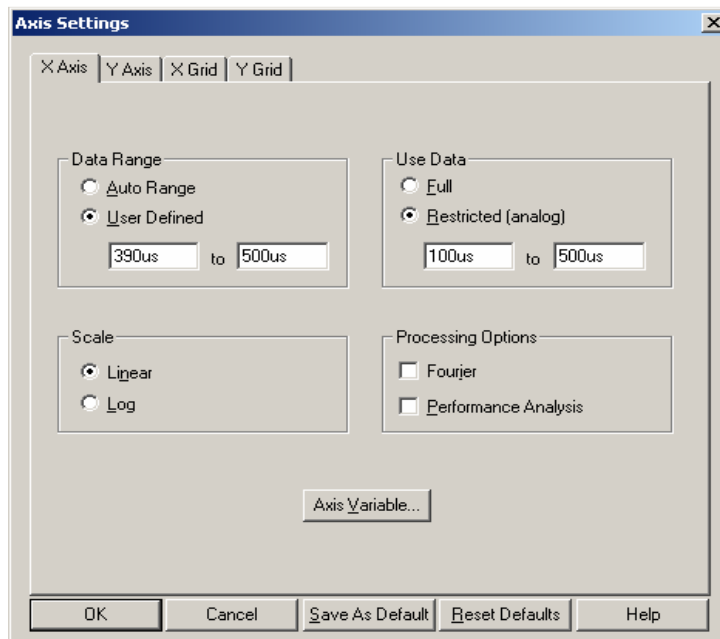
Figura 2 – Circuito a simular.

2) Faça **Analysis Setup**, para inserir os parâmetros de simulação  :

- Retire o item de **Bias Point Detail**;
- Seleccione Transient e insira os seguintes dados:



- 3) Simule o circuito através do ícone  ;
- 4) O **Schematics** abre automaticamente o **Probe** para visualizar os resultados;
- 5) No **Probe** faça **Plot/Axis Settings** e configure de forma a visualizar apenas 1.1 (aprox.) períodos simulados. Adicionalmente, configure também de forma a não seleccionar os dados referentes ao transitório inicial (restringir os dados, retirando o primeiro ciclo da tensão de entrada);



- 6) Visualize num gráfico as formas de i_b , v_{be} e V_b . Num outro gráfico, mas na mesma janela (plot/add plot to window), obtenha as formas de onda de i_c , v_{ce} . Anote os seus comentários na Figura I do anexo;
- 7) Obtenha os diversos intervalos de tempo de comutação ($t_{d(on)}$, t_{ri} , t_{fv} , $t_{c(on)}$, t_s , t_{rv} , t_{fi} e $t_{c(off)}$). Efectue um zoom nas forma de onda e obtenha a sua evolução temporal durante o processo de entrada ao corte e à condução⁽¹⁾. Comente os resultados e as formas de onda, Figura II e III;

⁽¹⁾ As medições dos tempos de comutação serão sempre aproximadas. Na medição dos tempos de comutação inclua a corrente de cauda do Darlington (note-se que grande parte dos data-sheets não incluem este intervalo de tempo, pois, nesta situação, a corrente de colecter é inferior a 10% do seu valor máximo).

- 8) Obtenha o valor da queda de tensão $V_{ce(on)}$. Anote no anexo junto à Figura II;
- 9) Obtenha a forma de onda da potência instantânea dissipada no Darlington (mantenha as formas de onda de i_c e v_{ce} noutra gráfico), Figura IV. Obtenha, de forma aproximada, o seu valor médio;
- 10) A partir do data-sheet do Darlington Q2N6059, em anexo ou em <http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/5061.pdf>, obtenha o valor mínimo da resistência de base a utilizar nesta aplicação. Efectue uma simulação para este caso e obtenha $V_{ce(on)}$ e os tempos de comutação, Figura V. Compare com a simulação anterior;
- 11) Efectue simulação com um valor de resistência de base de 1 k Ω , Figura VI. Meça os tempos de comutação e $V_{ce(on)}$. Compare os vários resultados entre si;

5. Circuito com Darlington e carga RLD

- 12) Desenhe o circuito da figura 3, mantendo os mesmos parâmetros da simulação anterior;

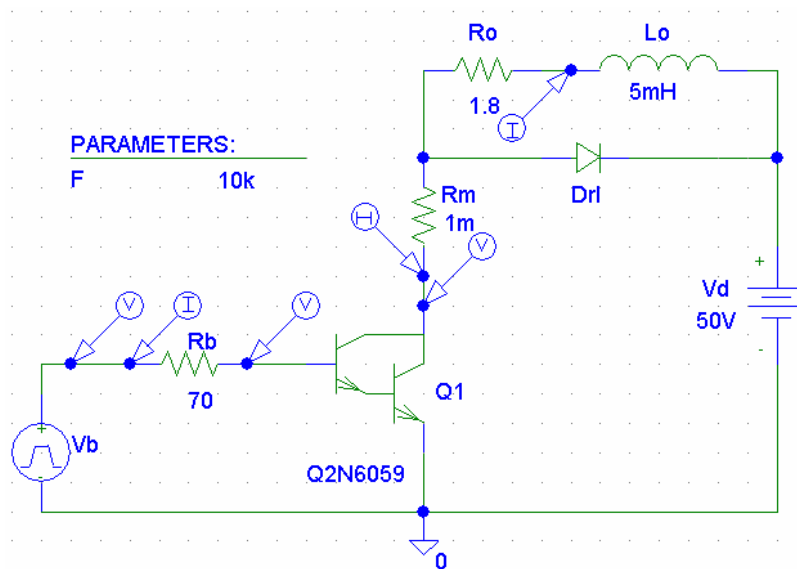


Figura 3 – Circuito a simular.

- 13) Faça **Analysis/Setup**, para simular o circuito;
- 14) Visualize num gráfico as formas de i_b , v_{be} e v_b . Num outro gráfico, mas na mesma janela (plot/add plot to window), obtenha as formas de onda de i_c , v_{ce} e i_o . Anote os seus comentários na Figura VII do anexo, retirando conclusões e comparando com a carga resistiva;
- 15) Obtenha os diversos intervalos de tempo de comutação ($t_{d(on)}$, t_{ri} , t_{fv} , $t_{c(on)}$, t_s , t_{rv} , t_{fi} e $t_{c(off)}$). Efectue um zoom das formas de onda e obtenha a sua evolução temporal durante o processo de entrada ao corte e à condução. Comente os resultados e as formas de onda, Figura VIII e IX, retirando conclusões e comparando com a carga resistiva;
- 16) Obtenha o valor da queda de tensão $V_{ce(on)}$. Anote no anexo junto à Figura VIII;
- 17) Obtenha a forma de onda da potência instantânea dissipada no Darlington (mantenha as formas de onda de i_c e v_{ce} noutra gráfico), Figura X. Obtenha, de forma aproximada, o seu valor médio, retirando conclusões e comparando com a carga resistiva;

6. Circuito com Darlington e carga RLD com circuito de ajuda à entrada ao corte (Turn-off snubber)

- 18) Determine os parâmetros do circuito snubber de entrada ao corte. Insira os respectivos componentes no circuito anterior (utilize os tempos de comutação de terminados no Ponto 15);
- 19) Faça **Analysis/Setup**, para simular o circuito, utilize $R_b = 70 \Omega$;

- 20) Visualize num gráfico as formas de i_b , v_{be} e v_b . Num outro gráfico, mas na mesma janela (plot/add plot to window), obtenha as formas de onda de i_c , v_{ce} e i_o . Anote os seus comentários na Figura XI do anexo, retirando conclusões e comparando com a carga resistiva;
- 21) Visualize formas de onda de $i_{R\gamma}$, $i_{D\gamma}$, $i_{C\gamma}$, $v_{C\gamma}$ e v_b . Num outro gráfico, mas na mesma janela (plot/add plot to window), obtenha as formas de onda de i_c , v_{ce} . Anote os seus comentários na Figura XII do anexo, retirando conclusões e comparando com a carga resistiva;
- 22) Obtenha os diversos intervalos de tempo de comutação ($t_{d(on)}$, t_{ri} , t_{fv} , $t_{c(on)}$, t_s , t_{rv} , t_{fi} e $t_{c(off)}$). Efectue um zoom nas forma de onda e obtenha a sua evolução temporal durante o processo de entrada ao corte e à condução. Comente os resultados e as formas de onda, Figura XIII e XIV, retirando conclusões e comparando com a carga resistiva;
- 23) Obtenha a forma de onda da potência instantânea dissipada no Darlington (mantenha as formas de onda de i_c e v_{ce} noutra gráfico), Figura XV. Obtenha, de forma aproximada, o seu valor médio, retirando conclusões e comparando com a carga resistiva;

7. Circuito com Darlington - carga RLD com circuito de ajuda à entrada à condução (Turn-on snubber)

- 24) Determine os parâmetros do circuito snubber de entrada à condução. Insira os respectivos componentes no circuito anterior (mantenha o turn-off snubber). Faça Analysis/Setup, para simular o circuito;

- 25) Visualize num gráfico as formas de i_b , v_{be} e v_b . Num outro gráfico, mas na mesma janela (plot/add plot to window), obtenha as formas de onda de i_c , v_{ce} e i_o . Anote os seus comentários na Figura XVI do anexo, retirando conclusões e comparando com a carga resistiva;
- 26) Visualize formas de onda de $i_{R\lambda}$, $i_{D\lambda}$ e $i_{L\lambda}$. Num outro gráfico, mas na mesma janela (plot/add plot to window), obtenha as formas de onda de i_C , v_{ce} . Anote os seus comentários na Figura XVII do anexo, retirando conclusões e comparando com a carga resistiva;
- 27) Obtenha os diversos intervalos de tempo de comutação ($t_{d(on)}$, t_{ri} , t_{fv} , $t_{c(on)}$, t_s , t_{rv} , t_{fi} e $t_{c(off)}$). Efectue um zoom das forma de onda e obtenha a sua evolução temporal durante o processo de entrada ao corte e à condução. Comente os resultados e as formas de onda, Figura XVIII e XIX, retirando conclusões e comparando com a carga resistiva;
- 28) Obtenha a forma de onda da potência instantânea dissipada no Darlington (mantenha as formas de onda de i_c e v_{ce} noutra gráfico), Figura XX. Obtenha, de forma aproximada, o seu valor médio, retirando conclusões e comparando com a carga resistiva;

8. Circuito de aceleração com Darlington

- 29) Construa na Schematics o circuito da Figura 4, mantendo os mesmos parâmetros da simulação anterior;

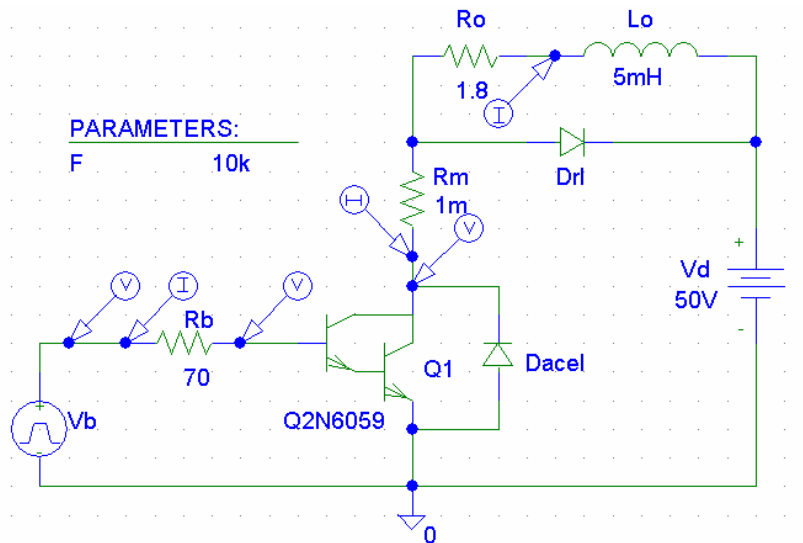


Figura 4 – Circuito a simular.

- 30) Visualize num gráfico as formas de i_b , $i_{D_{acel}}$, v_{be} e v_b . Num outro gráfico, mas na mesma janela (plot/add plot to window), obtenha as formas de onda de i_c , v_{ce} e i_o . Anote os seus comentários na Figura XXI do anexo, retirando conclusões e comparando com os casos anteriores;
- 31) Obtenha os diversos intervalos de tempo de comutação ($t_{d(on)}$, t_{ri} , t_{fv} , $t_{c(on)}$, t_s , t_{rv} , t_{fi} e $t_{c(off)}$). Efectue um zoom das forma de onda e obtenha a sua evolução temporal durante o processo de entrada ao corte e à condução. Comente os resultados e as formas de onda, Figura XXII e XXIII, retirando conclusões e comparando com os casos anteriores;
- 32) Obtenha a forma de onda da potência instantânea dissipada no Darlington (mantenha as formas de onda de i_c e v_{ce} noutra gráfico), Figura XXIV. Obtenha, de forma aproximada, o seu valor médio, retirando conclusões e comparando com os casos anteriores;

9. Circuito de aceleração com Darlington e snubbers

- 33) Insira no circuito de aceleração, Figura 4, os circuitos de ajuda às comutações (turn-on e turn-off) anteriormente calculados;
- 34) Visualize num gráfico as formas de i_b , i_{Dacel} , v_{be} e v_b . Num outro gráfico, mas na mesma janela (plot/add plot to window), obtenha as formas de onda de i_c , v_{ce} e i_o ;
- 35) Obtenha a forma de onda da potência instantânea dissipada no Darlington (mantenha as formas de onda de i_c e v_{ce} noutro gráfico), Figura XXV. Obtenha, de forma aproximada, o seu valor médio, retirando conclusões e comparando com os casos anteriores;

10. Circuito com MOSFET

- 36) Construa no Schematics o circuito da figura 5, os parâmetros de simulação encontram-se na Figura 6. Faça Analysis/Setup, para simular o circuito. O data-sheet do MOSFET IRF 150 encontra-se em anexo ou em <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/jantx2n6764.pdf>;

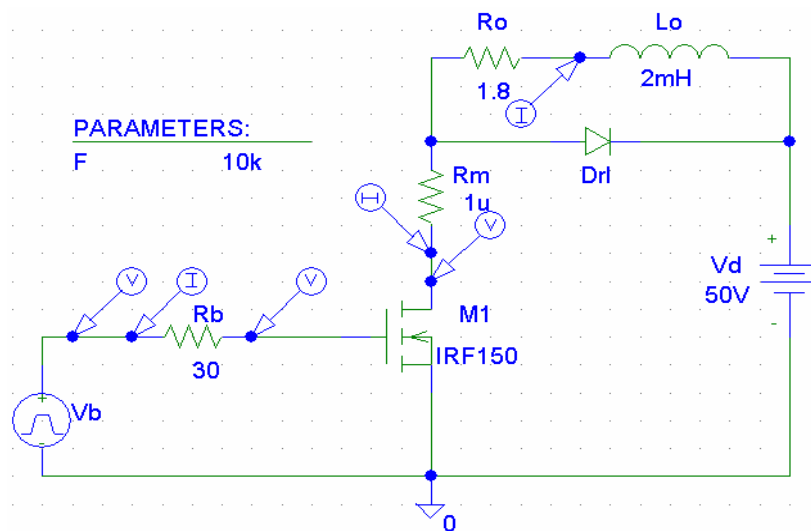


Figura 5 – Circuito a simular.

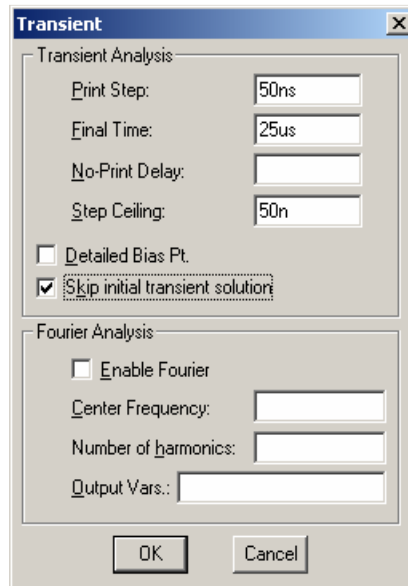


Figura 6 – Parâmetros de simulação.

- 37) Visualize num gráfico as formas de onda de i_G , v_{GS} , e v_G . Num outro gráfico, mas na mesma janela (plot/add plot to window), obtenha as formas de onda de i_D e v_{DS} . Anote os seus comentários na Figura XXVI do anexo;
- 38) Obtenha os diversos intervalos de tempo de comutação ($t_{d(on)}$, t_{ri} , t_{fv} , $t_{c(on)}$, t_s , t_{rv} , t_{fi} e $t_{c(off)}$). Efectue um zoom das formas de onda e obtenha a sua evolução temporal durante o processo de entrada ao corte e à condução. Comente os resultados e as formas de onda, Figura XXVII e XXVIII, retirando conclusões;
- 39) Obtenha a forma de onda da potência instantânea dissipada no MOSFET (mantenha as formas de onda de i_D e v_{DS} noutro gráfico). Obtenha, de forma aproximada, o seu valor médio. Retire conclusões;

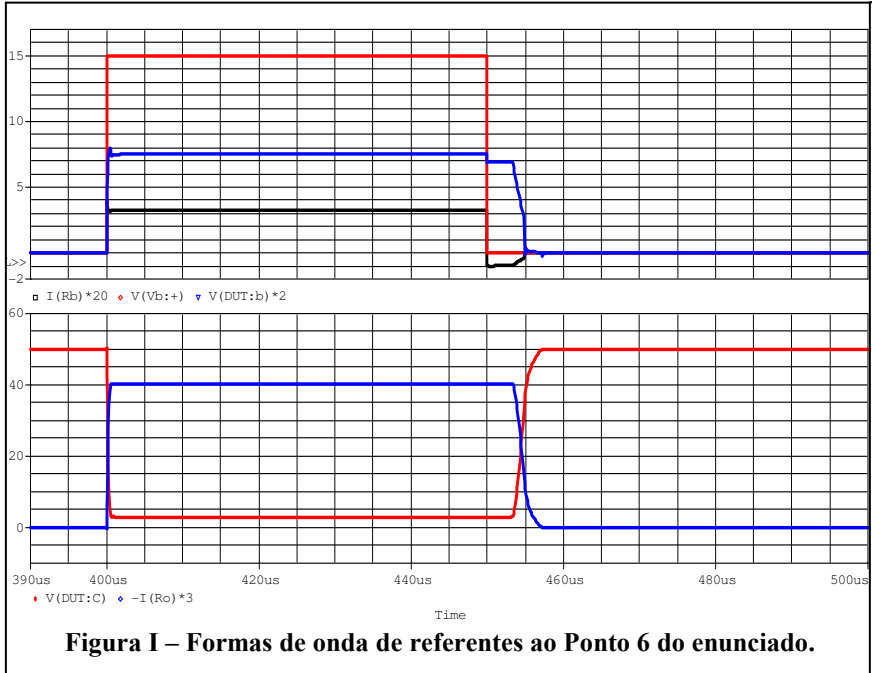
- 40) Obtenha o valor de $R_{DS(on)}$. Determine, de forma aproximada as perdas de condução e as perdas de comutação;

11. Circuito com MOSFET e snubbers

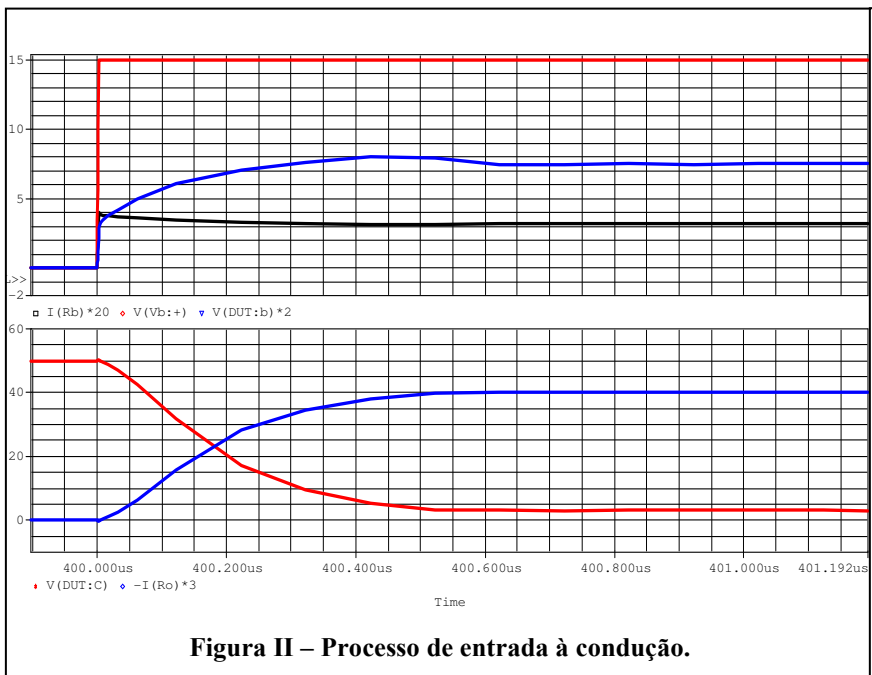
- 41) Determine os parâmetros dos circuitos snubber de entrada à condução e entrada ao corte. Insira os componentes no circuito anterior. Faça Analysis/Simulate para simular o circuito;
- 42) Visualize num gráfico as formas de onda de i_G , v_{GS} , e v_G . Num outro gráfico, mas na mesma janela (plot/add plot to window), obtenha as formas de onda de i_D e v_{DS} . Anote os seus comentários na Figura XXIX do anexo;
- 43) Obtenha os diversos intervalos de tempo de comutação ($t_{d(on)}$; t_{ri} ; t_{fv} ; $t_{c(on)}$; t_s ; t_{rv} ; t_{fi} ; $t_{c(on)}$). Efectue um zoom das formas de onda e obtenha a sua evolução temporal durante o processo de entrada ao corte e à condução. Retirando conclusões;
- 44) Obtenha a forma de onda da potência instantânea dissipada no MOSFET (mantenha as formas de onda de i_D e v_{DS} noutro gráfico), Figura XXX. Obtenha, de forma aproximada, o seu valor médio. Retire conclusões.

Nota: Deverá entregar o anexo, do enunciado, devidamente preenchido.

NOME: _____ N.º _____
 NOME: _____ N.º _____
 NOME: _____ N.º _____
 NOME: _____ N.º _____



Comentários: _____



Comentários: _____

$V_{ce(on)} = \quad V$

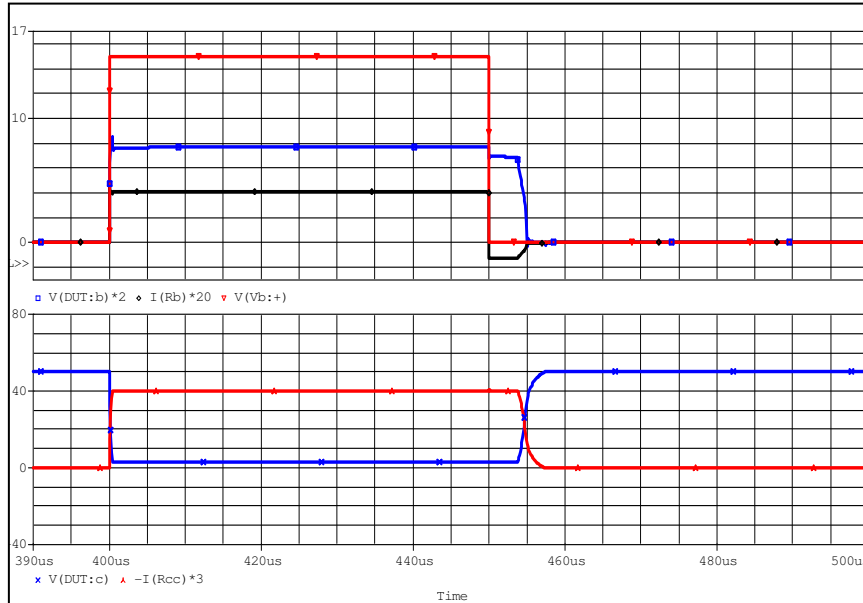


Figura V – Formas de onda referentes ao Ponto 10 do enunciado.

Comentários: _____

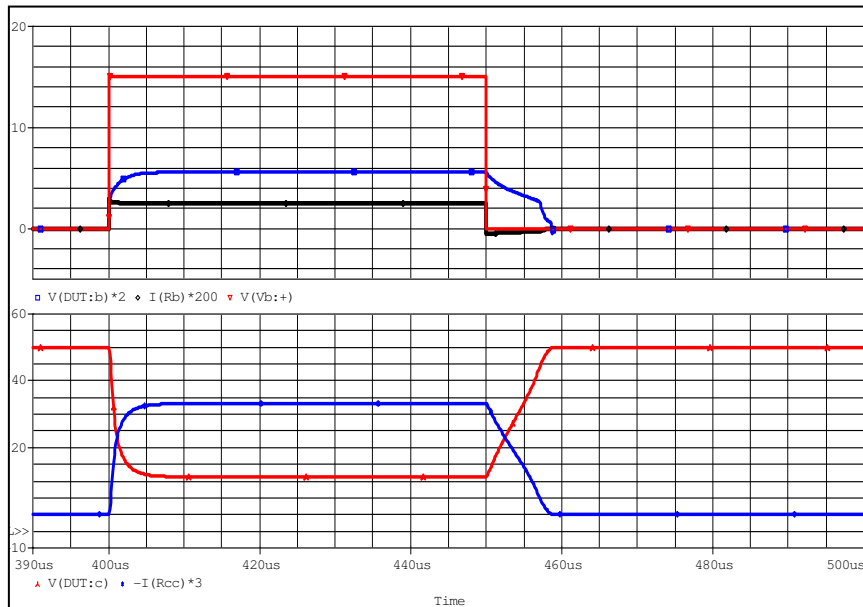


Figura VI – Formas de onda referentes ao Ponto 11 do enunciado.

Comentários: _____

$V_{ce(on)} = \quad V$

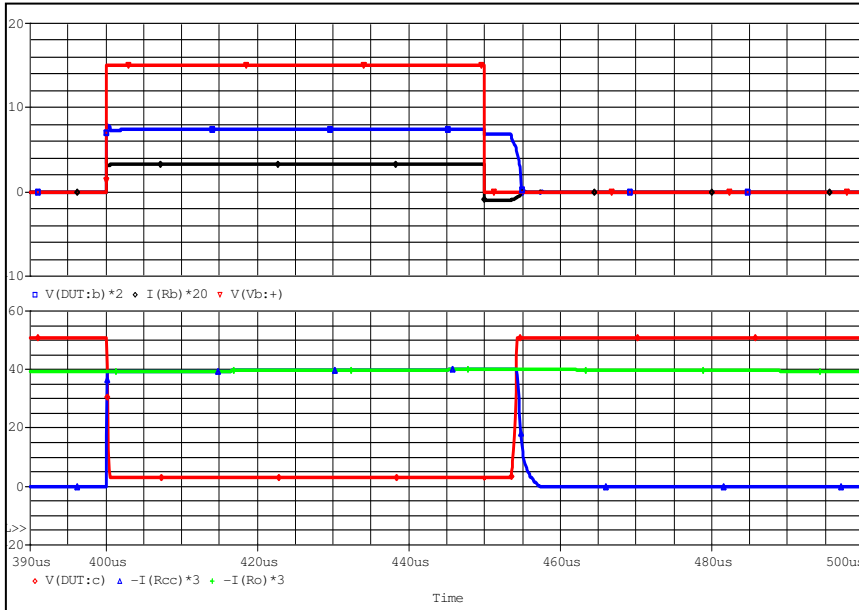


Figura VII – Formas de onda referentes ao Ponto 14 do enunciado.

Comentários: _____

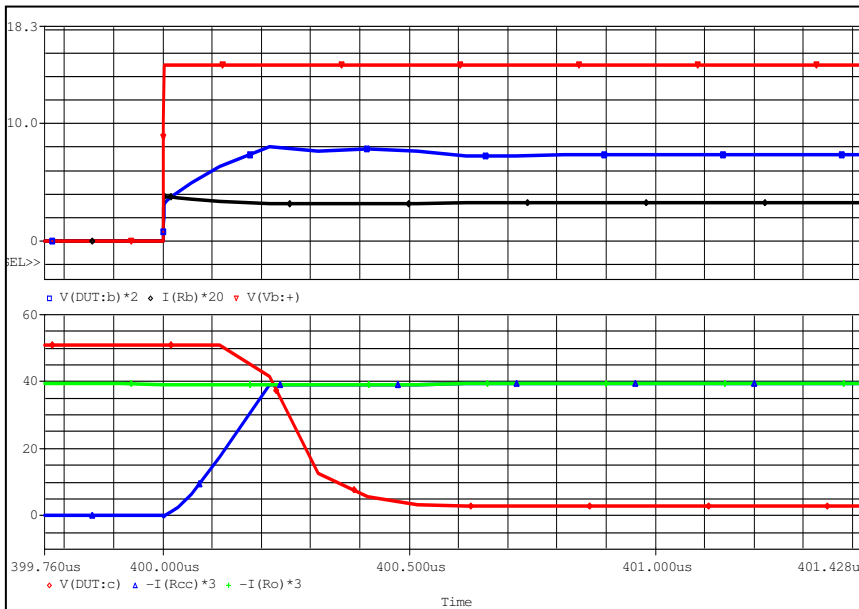


Figura VIII – Processo de entrada à condução.

Comentários: _____

$V_{ce(on)} = V$

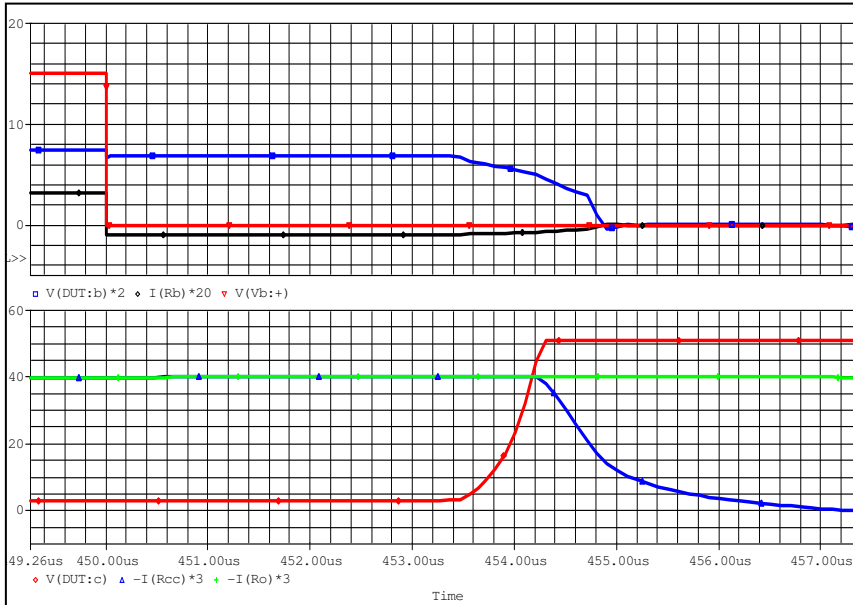


Figura IX – Processo de entrada ao corte.

Comentários: _____

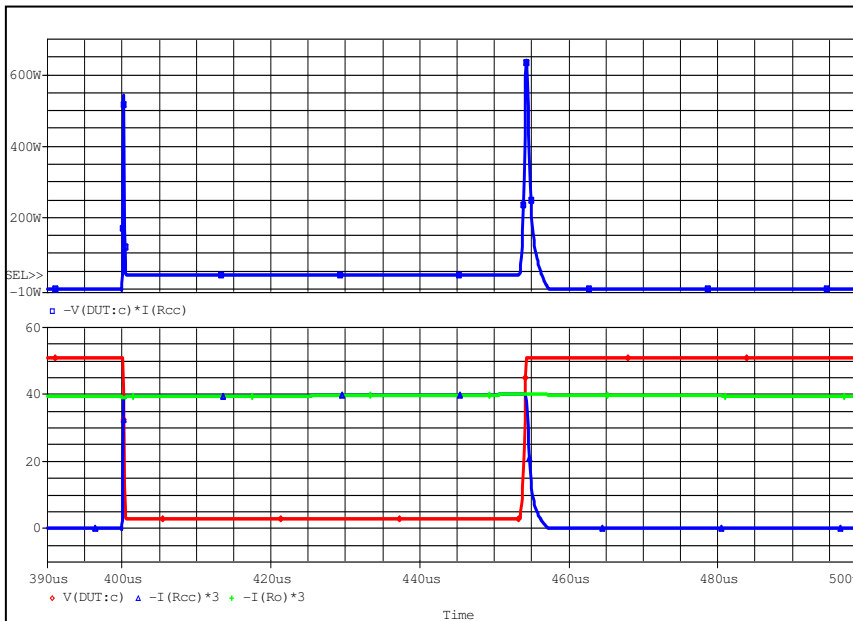


Figura X – Formas de onda referentes ao Ponto 17 do enunciado.

Comentários: _____

$P_{med} = \quad W$

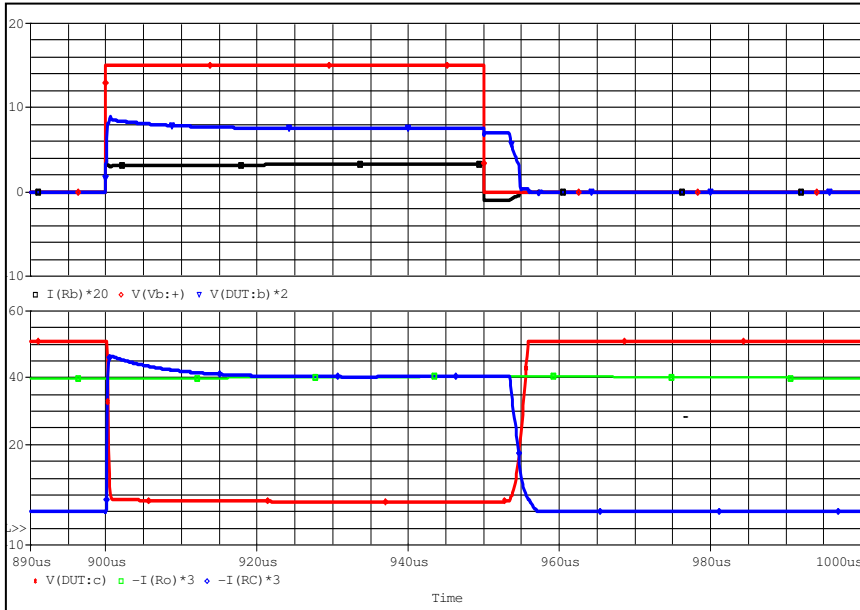


Figura XI – Formas de onda referentes ao Ponto 20 do enunciado.

Comentários: _____

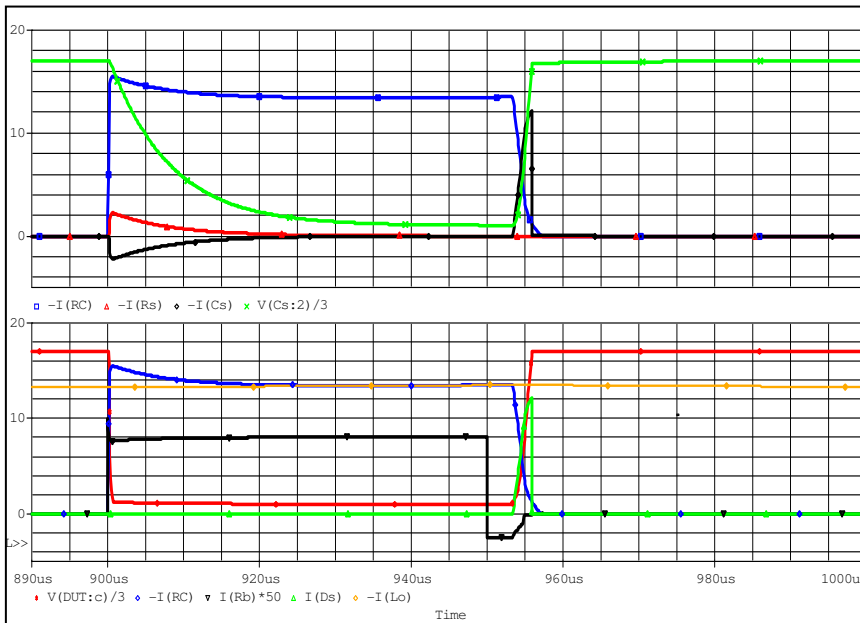


Figura XII – Formas de onda referentes ao Ponto 21 do enunciado.

Comentários: _____

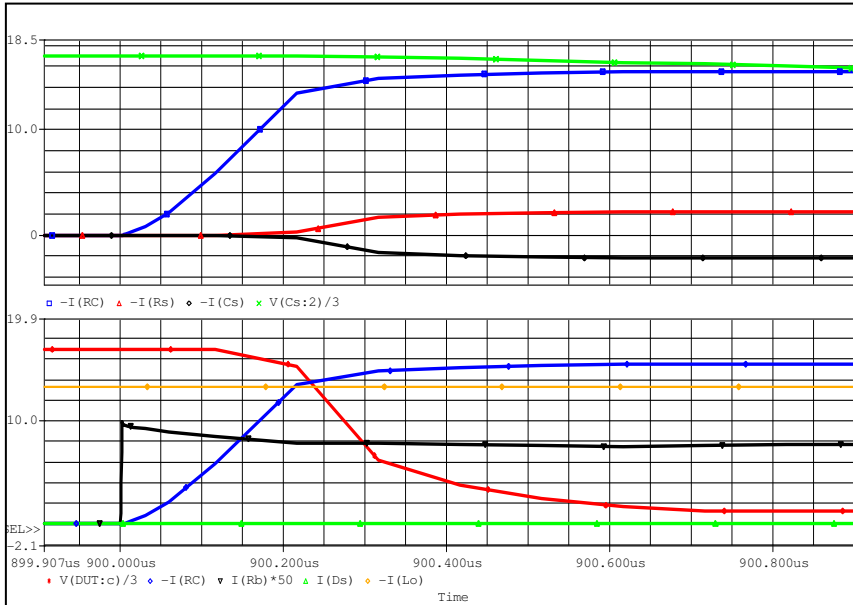


Figura XIII – Processo de entrada à condução.

Comentários: _____

$V_{ce(on)} = V$

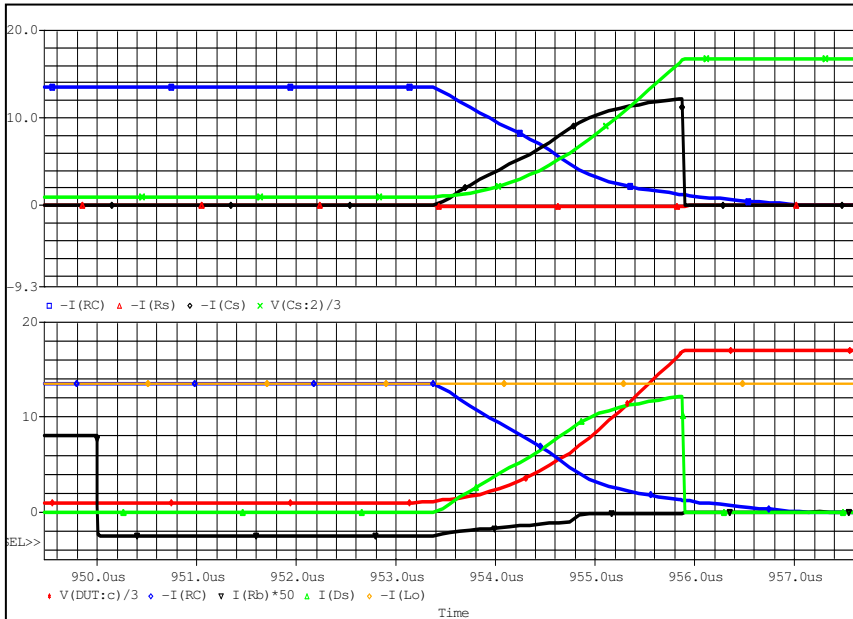
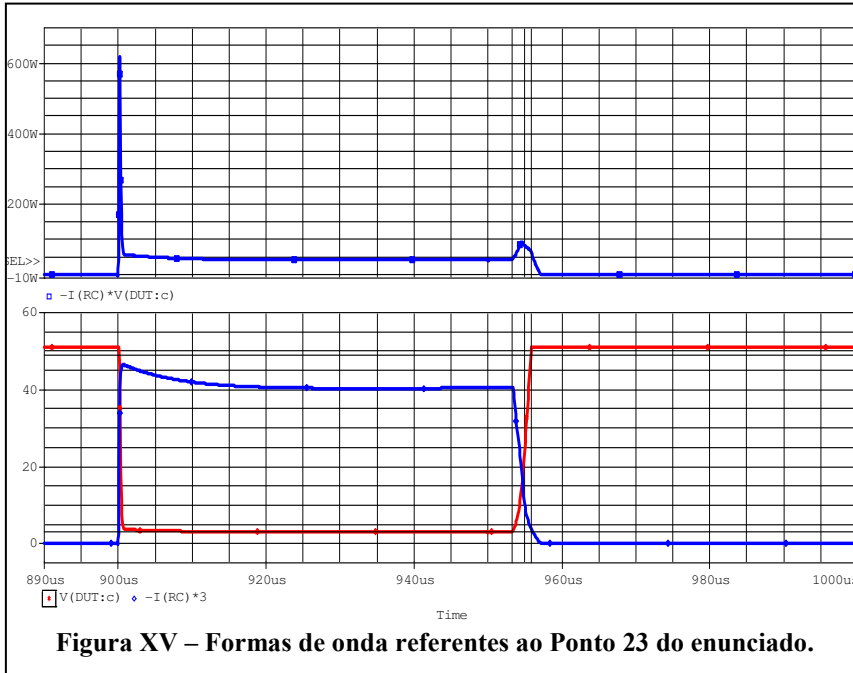


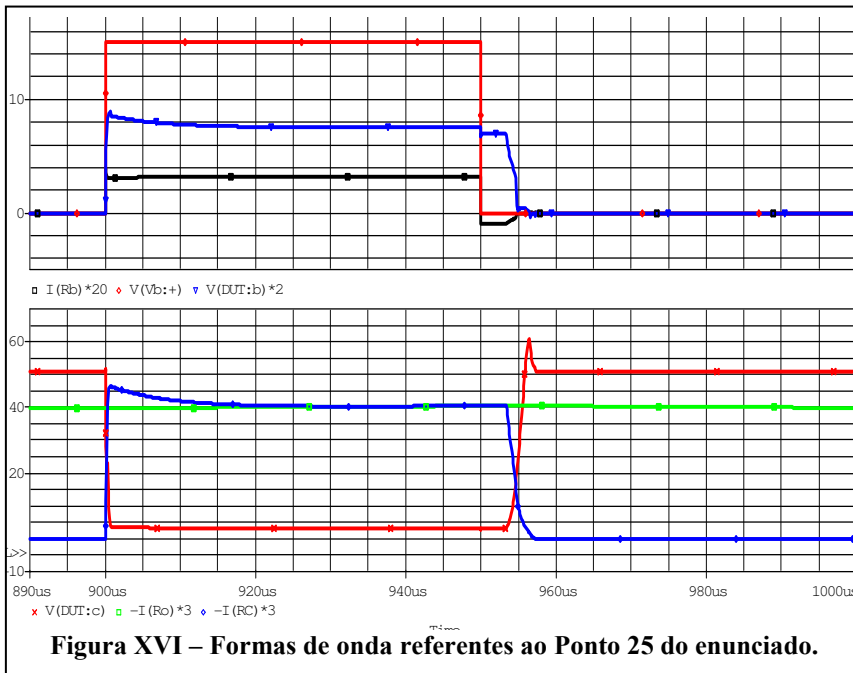
Figura XIV – Processo de entrada ao corte.

Comentários: _____



Comentários: _____

$P_{med} = \quad W$



Comentários: _____

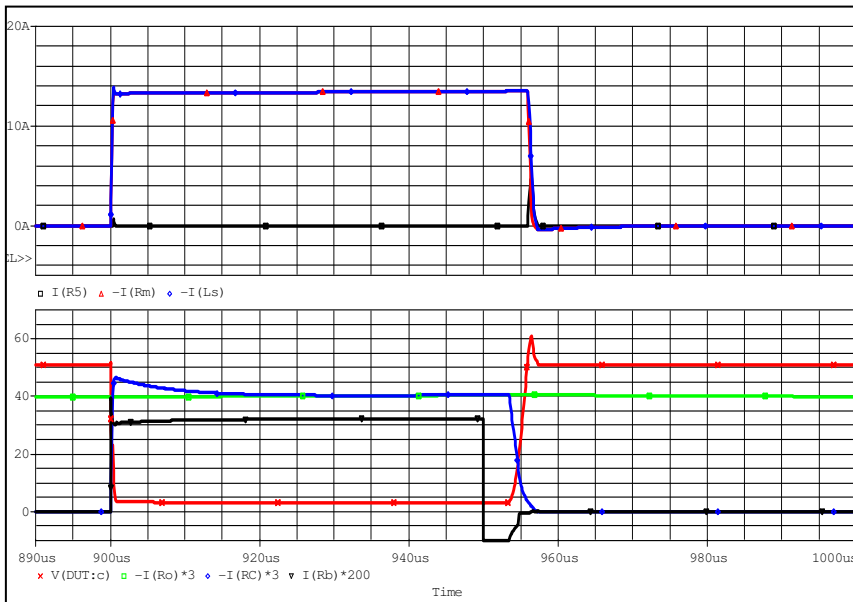


Figura XVII – Formas de onda referentes ao Ponto 26 do enunciado.

Comentários: _____

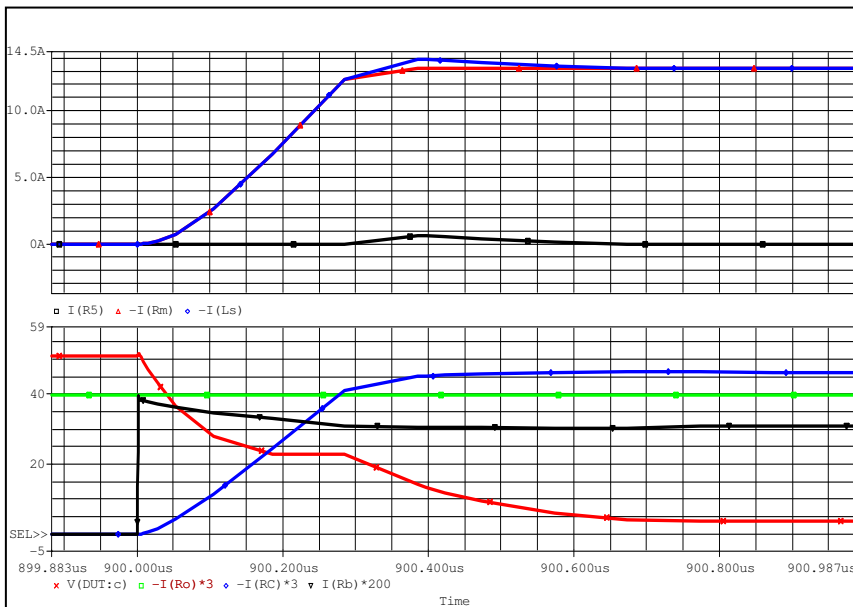
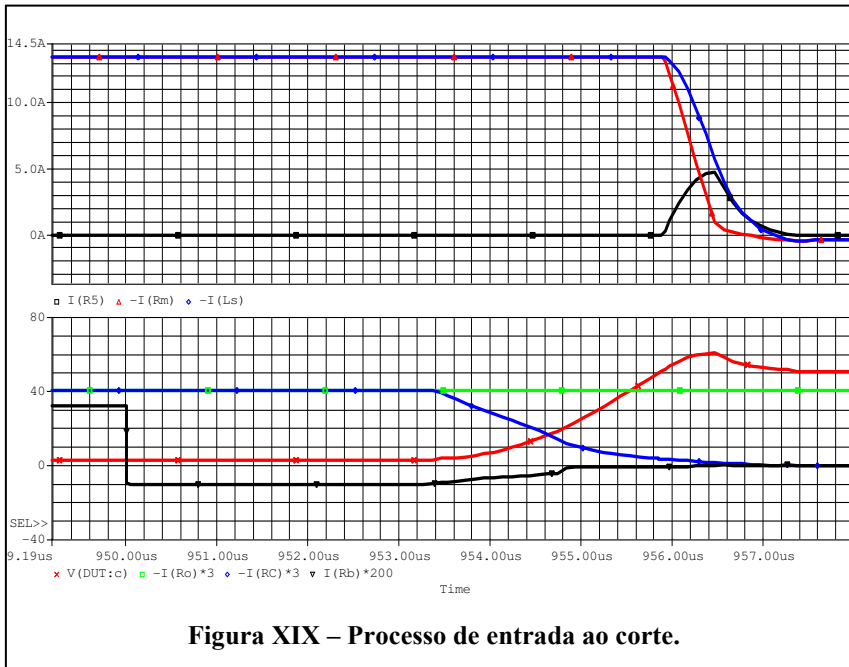


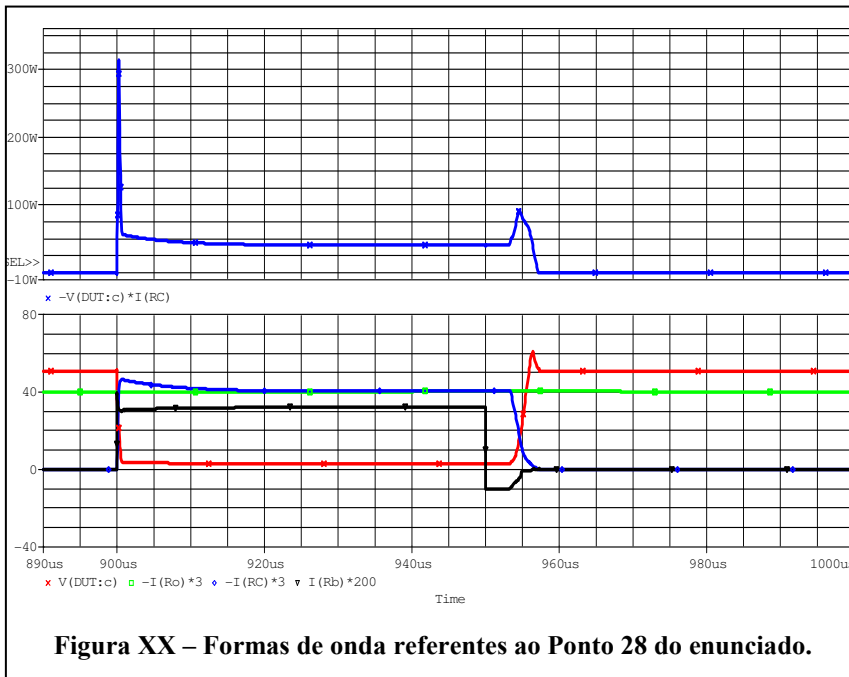
Figura XVIII – Processo de entrada à condução.

Comentários: _____

$V_{ce(on)} = \quad V$



Comentários: _____



Comentários: _____

$P_{med} =$ W

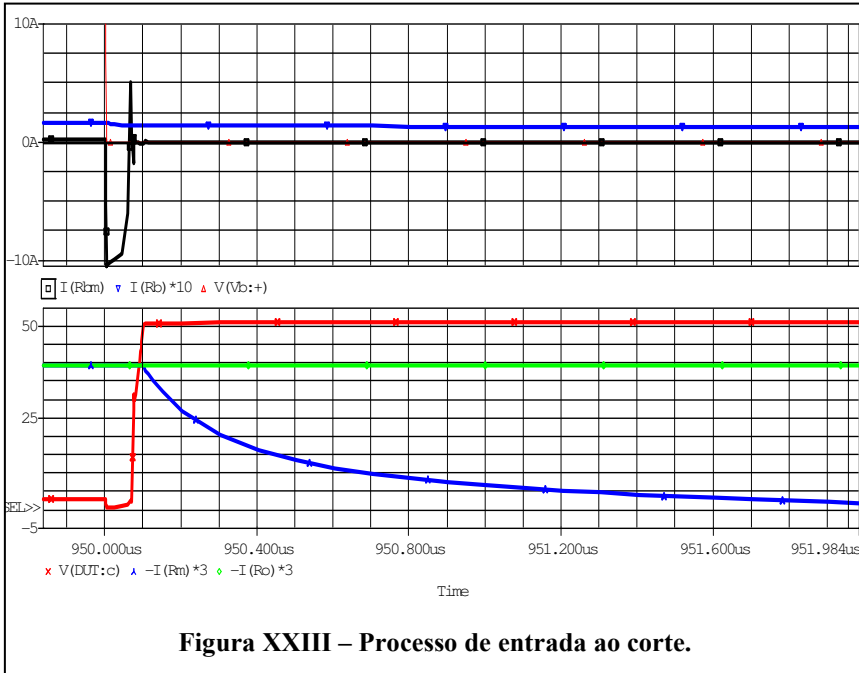


Figura XXIII – Processo de entrada ao corte.

Comentários: _____

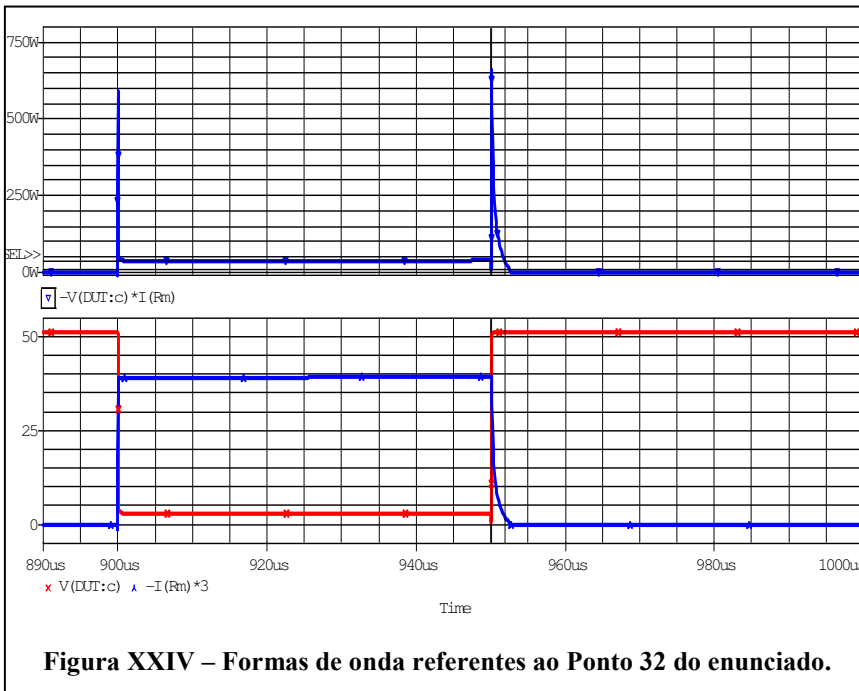
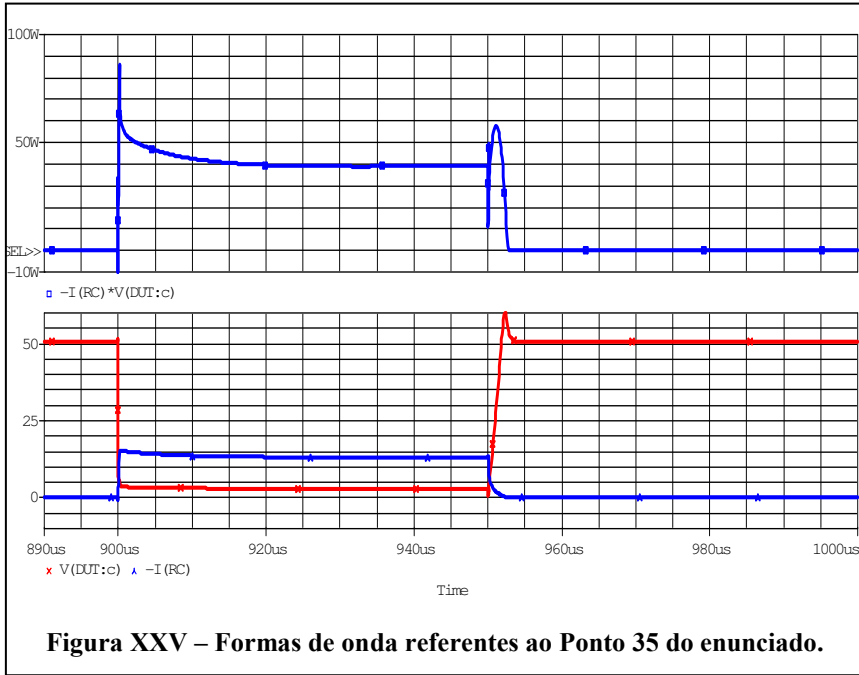


Figura XXIV – Formas de onda referentes ao Ponto 32 do enunciado.

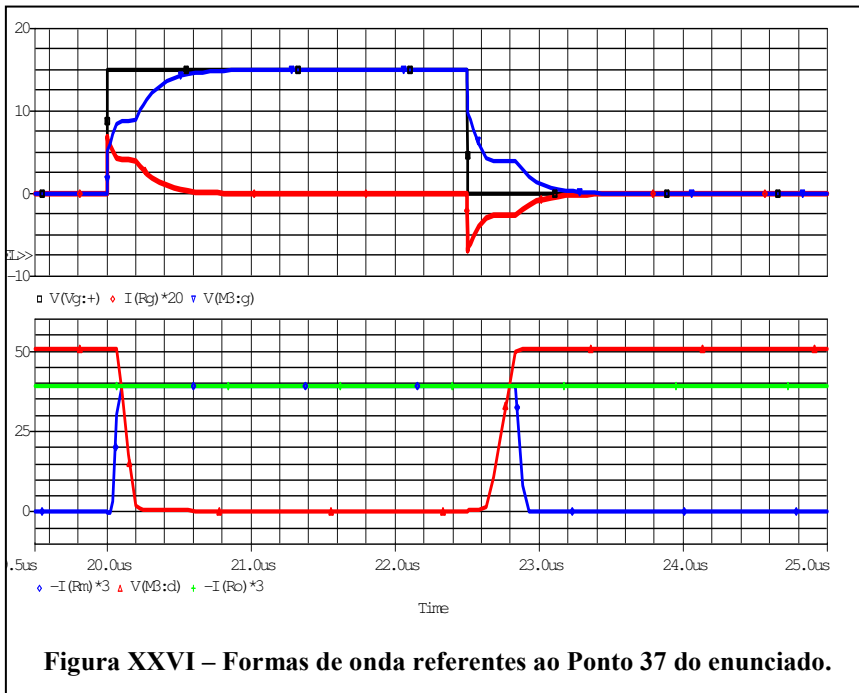
Comentários: _____

$P_{med} = \quad W$

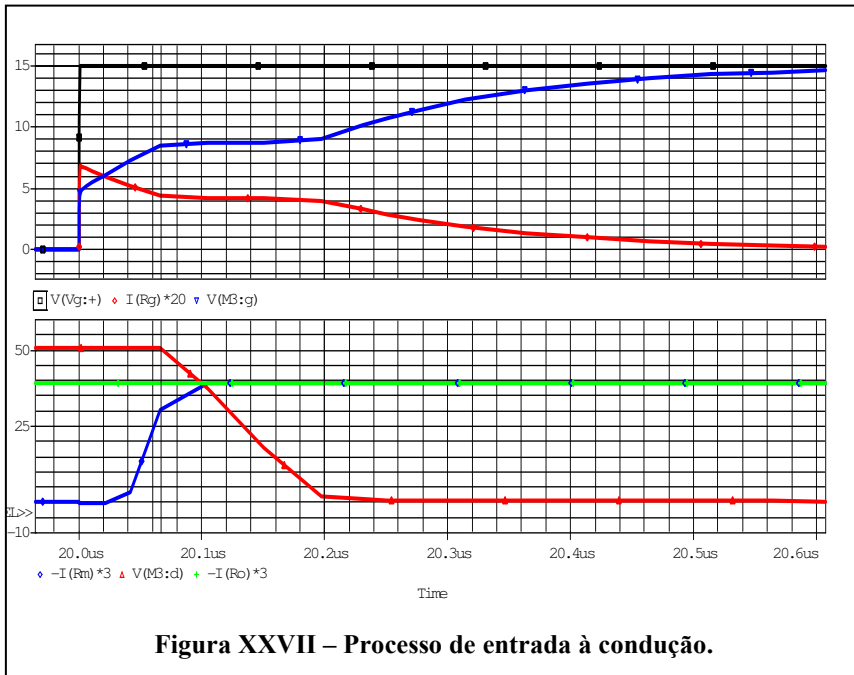


Comentários: _____

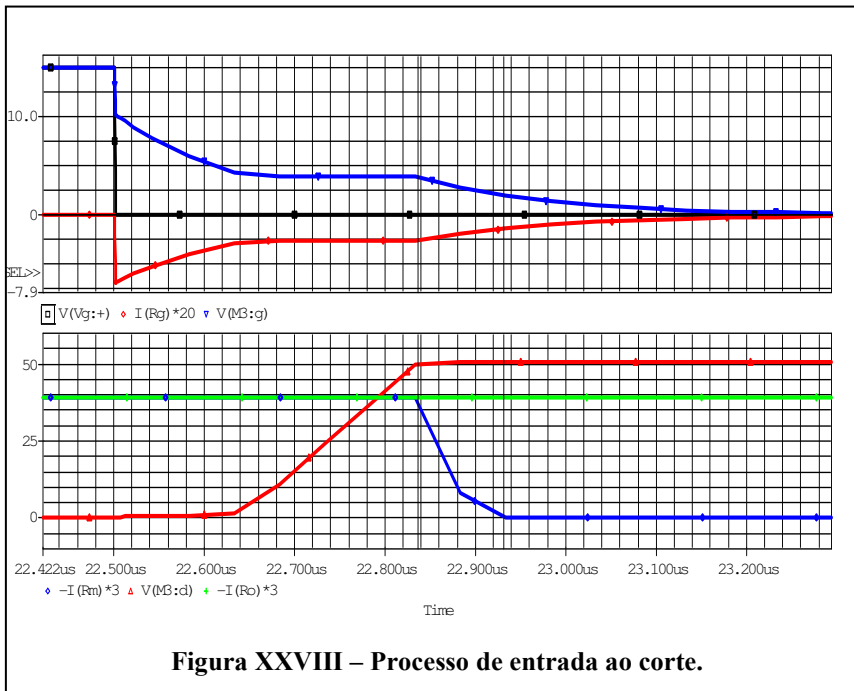
$P_{med} =$ W



Comentários: _____



Comentários: _____



Comentários: _____

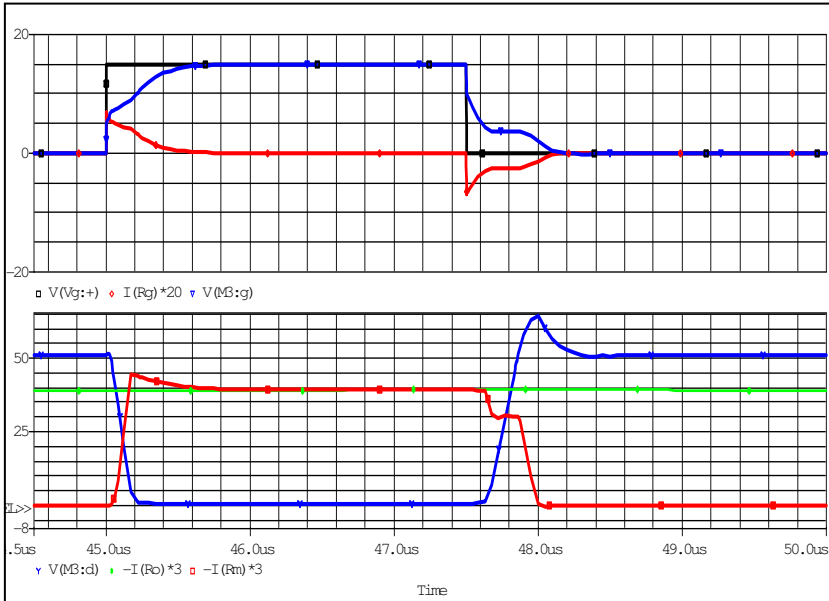


Figura XXIX – Formas de onda referentes ao Ponto 42 do enunciado.

Comentários: _____

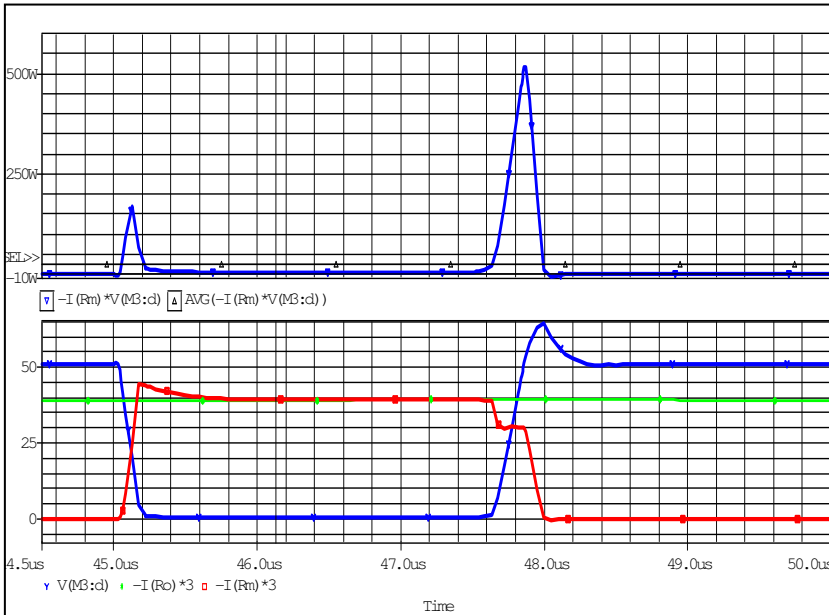


Figura XXX – Formas de onda referentes ao Ponto 44 do enunciado.

Comentários: _____

2N6059

THERMAL DATA

$R_{th(j-case)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	1.17	$^{\circ}C/W$
------------------	----------------------------------	-----	------	---------------

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{case} = 25^{\circ}C$ unless otherwise specified)

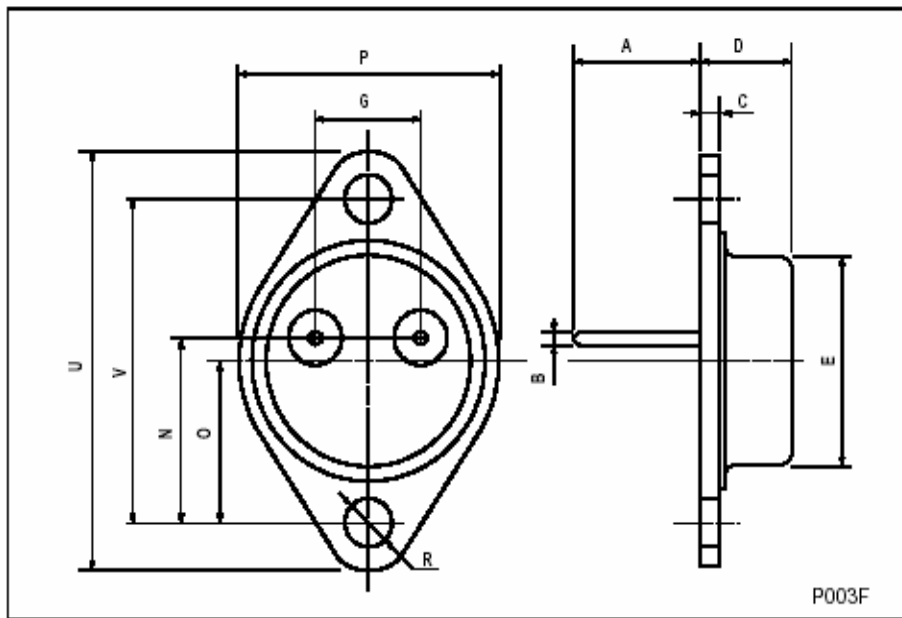
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CEX}	Collector Cut-off Current ($V_{BE} = -1.5V$)	$V_{CE} = \text{rated } V_{CEX}$ $V_{CE} = \text{rated } V_{CEX}$ $T_c = 150^{\circ}C$			0.5 5	mA mA
I_{CEO}	Collector Cut-off Current ($I_B = 0$)	$V_{CE} = 50 V$			1	mA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current ($I_C = 0$)	$V_{EB} = 5 V$			2	mA
$V_{CE(sus)}^*$	Collector-Emitter Sustaining Voltage ($I_B = 0$)	$I_C = 100 mA$	100			V
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 6 A$ $I_B = 24 mA$ $I_C = 12 A$ $I_B = 120 mA$			2 3	V V
$V_{BE(sat)}^*$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 12 A$ $I_B = 120 mA$			4	V
V_{BE}^*	Base-Emitter Voltage	$I_C = 6 A$ $V_{CE} = 3 V$			2.8	V
h_{FE}^*	DC Current Gain	$I_C = 6 A$ $V_{CE} = 3 V$ $I_C = 12 A$ $V_{CE} = 3 V$	750 100			
f_T	Transition frequency	$I_C = 5 A$ $V_{CE} = 3 V$ $f = 1 MHz$	4			MHz

* Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5 %



TO-3 MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	11.00		13.10	0.433		0.516
B	0.97		1.15	0.038		0.045
C	1.50		1.65	0.059		0.065
D	8.32		8.92	0.327		0.351
E	19.00		20.00	0.748		0.787
G	10.70		11.10	0.421		0.437
N	16.50		17.20	0.649		0.677
P	25.00		26.00	0.984		1.023
R	4.00		4.09	0.157		0.161
U	38.50		39.30	1.515		1.547
V	30.00		30.30	1.187		1.193



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a trademark of STMicroelectronics

© 2003 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco -
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States.

<http://www.st.com>



REPETITIVE AVALANCHE AND dv/dt RATED
 HEXFET[®] TRANSISTORS
 THRU-HOLE (TO-204AA/AE)

IRF150
JANTX2N6764
JANTXV2N6764
[REF: MIL-PRF-19500/543]
100V, N-CHANNEL

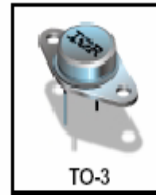
Product Summary

Part Number	BVDSS	RDS(on)	ID
IRF150	100V	0.055Ω	38A

The HEXFET[®] technology is the key to International Rectifier's advanced line of power MOSFET transistors. The efficient geometry and unique processing of this latest "State of the Art" design achieves: very low on-state resistance combined with high transconductance; superior reverse energy and diode recovery dv/dt capability.

The HEXFET transistors also feature all of the well established advantages of MOSFETs such as voltage control, very fast switching, ease of paralleling and temperature stability of the electrical parameters.

They are well suited for applications such as switching power supplies, motor controls, inverters, choppers, audio amplifiers and high energy pulse circuits.



Features:

- Repetitive Avalanche Ratings
- Dynamic dv/dt Rating
- Hermetically Sealed
- Simple Drive Requirements
- Ease of Paralleling

Absolute Maximum Ratings

	Parameter		Units
$I_D @ V_{GS} = 10V, T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current	38	A
$I_D @ V_{GS} = 10V, T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current	24	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	152	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Max. Power Dissipation	150	W
	Linear Derating Factor	1.2	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	±20	V
EAS	Single Pulse Avalanche Energy ②	150	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	38	A
EAR	Repetitive Avalanche Energy ①	15	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.5	V/ns
T_J	Operating Junction	-55 to 150	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Lead Temperature	300 (0.063 in. (1.6mm) from case for 10s)	
	Weight	11.5 (typical)	g

For footnotes refer to the last page

Electrical Characteristics @T_J = 25°C (Unless Otherwise Specified)

	Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
BV _{DSS}	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	V _{GS} = 0V, I _D = 1.0mA
ΔBV _{DSS} /ΔT _J	Temperature Coefficient of Breakdown Voltage	—	0.13	—	V/°C	Reference to 25°C, I _D = 1.0mA
R _{DS(on)}	Static Drain-to-Source On-State Resistance	—	—	0.055	Ω	V _{GS} = 10V, I _D = 24A ⁽¹⁾
		—	—	0.065		V _{GS} = 10V, I _D = 38A ⁽²⁾
V _{GS(th)}	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V _{DS} = V _{GS} , I _D = 250μA
g _{fs}	Forward Transconductance	9.0	—	—	S (Ω)	V _{DS} > 15V, I _{DS} = 24A ⁽³⁾
I _{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	—	—	25	μA	V _{DS} = 80V, V _{GS} = 0V
		—	—	250		V _{DS} = 80V V _{GS} = 0V, T _J = 125°C
I _{GSS}	Gate-to-Source Leakage Forward	—	—	100	nA	V _{GS} = 20V
I _{GSS}	Gate-to-Source Leakage Reverse	—	—	-100		V _{GS} = -20V
Q _g	Total Gate Charge	50	—	125	nC	V _{GS} = 10V, I _D = 38A
Q _{gs}	Gate-to-Source Charge	8.0	—	22		V _{DS} = 50V
Q _{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	25	—	65		
t _{d(on)}	Turn-On Delay Time	—	—	35	ns	V _{DD} = 50V, I _D = 38A, V _{GS} = 10V, R _{θG} = 2.35Ω
t _r	Rise Time	—	—	190		
t _{d(off)}	Turn-Off Delay Time	—	—	170		
t _f	Fall Time	—	—	130		
LS + LD	Total Inductance	—	6.1	—	nH	Measured from the center of drain pad to center of source pad
C _{iss}	Input Capacitance	—	3700	—	pF	V _{GS} = 0V, V _{DS} = 25V f = 1.0MHz
C _{oss}	Output Capacitance	—	1100	—		
C _{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	200	—		

Source-Drain Diode Ratings and Characteristics

	Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
I _S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	38	A	
I _{SM}	Pulse Source Current (Body Diode) ⁽¹⁾	—	—	152		
V _{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.9	V	T _J = 25°C, I _S = 38A, V _{GS} = 0V ⁽²⁾
t _{rr}	Reverse Recovery Time	—	—	500	nS	T _J = 25°C, I _F = 38A, di/dt ≤ 100A/μs
Q _{RR}	Reverse Recovery Charge	—	—	2.9	μC	V _{DD} ≤ 30V ⁽²⁾
t _{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible. Turn-on speed is substantially controlled by LS + LD.				

Thermal Resistance

	Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
R _{thJC}	Junction to Case	—	—	0.83	°C/W	Typical socket mount
R _{thJA}	Junction to Ambient	—	—	30		

For footnotes refer to the last page

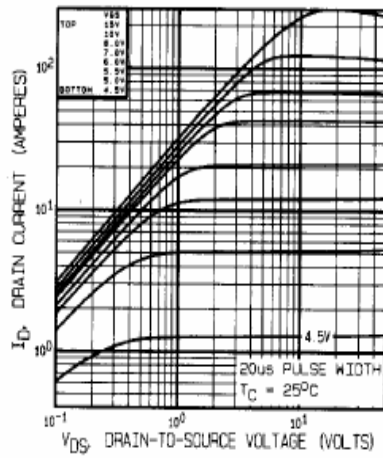


Fig 1. Typical Output Characteristics

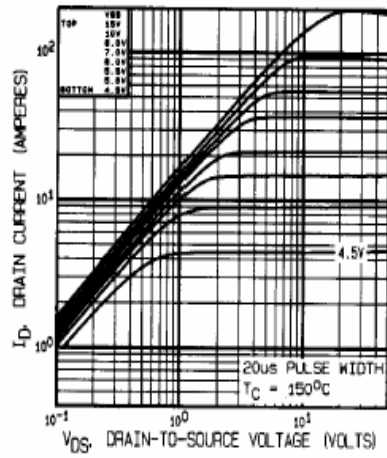


Fig 2. Typical Output Characteristics

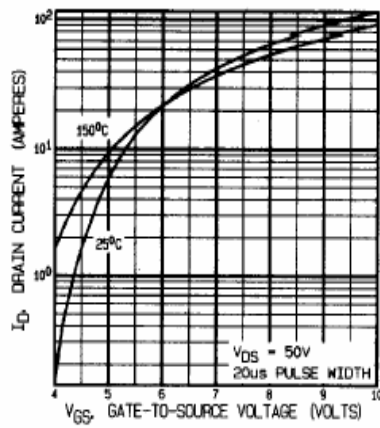


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

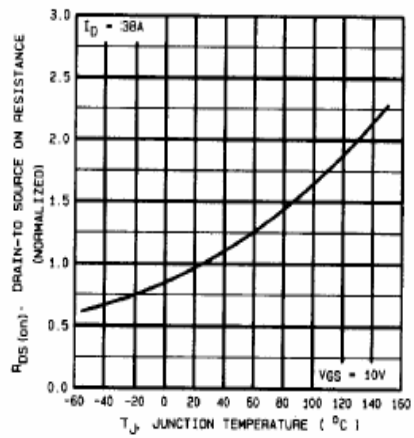


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

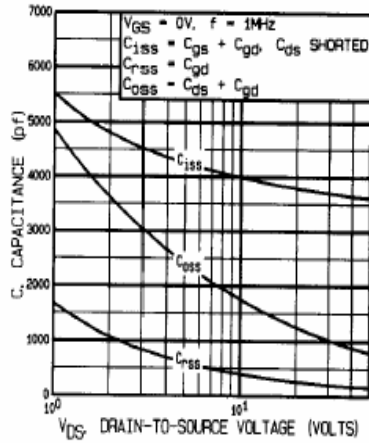


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

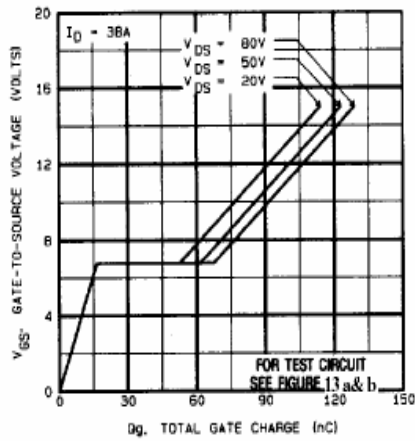


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

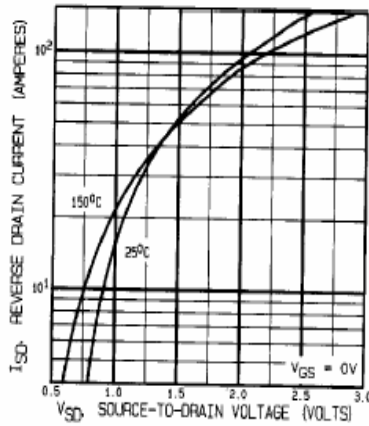


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

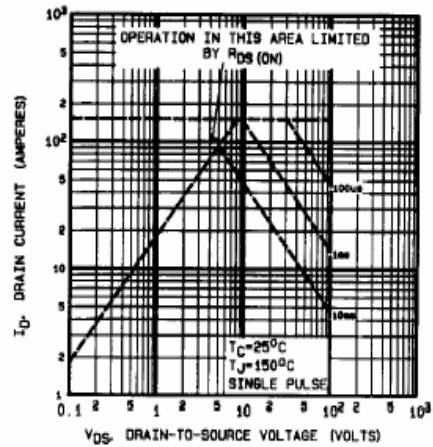


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

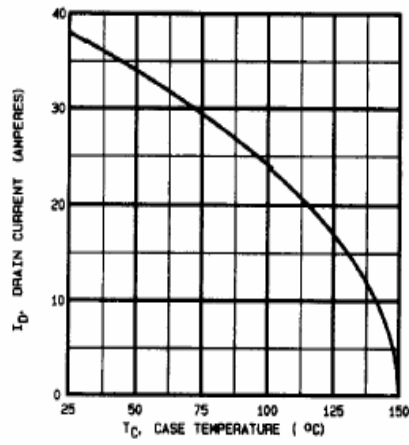


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

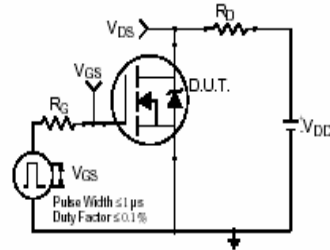


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

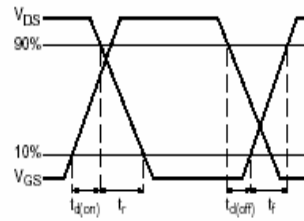


Fig 10b. Switching Time Waveforms

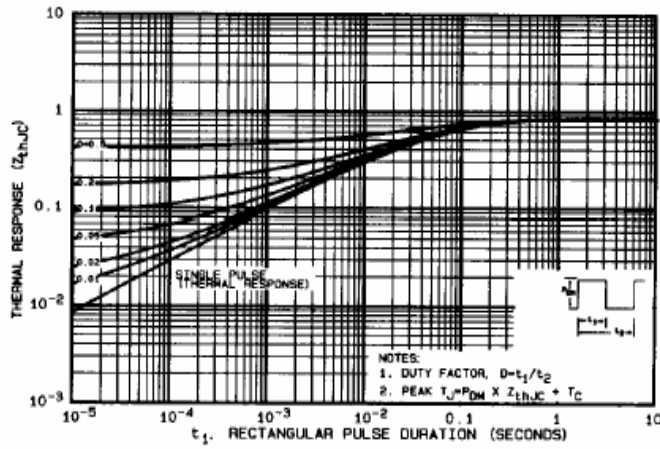


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

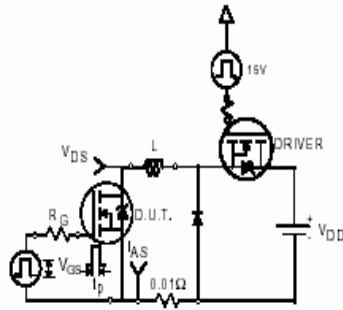


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

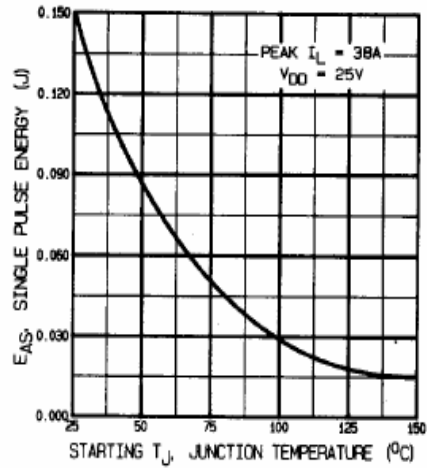


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

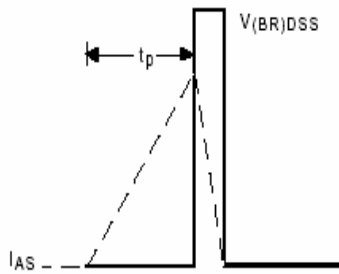


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

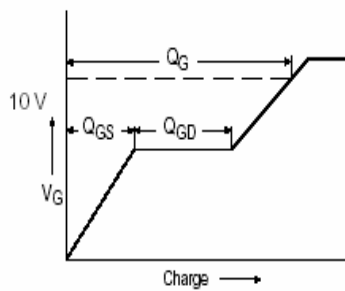


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

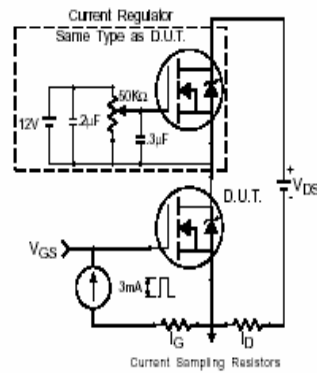
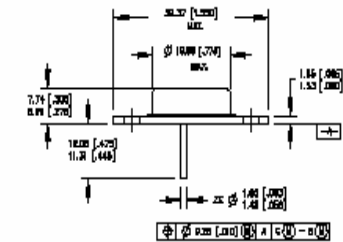


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Foot Notes:

- ① Repetitive Rating; Pulse width limited by maximum junction temperature.
- ② $V_{DD} = 50V$, starting $T_J = 25^\circ C$,
Peak $I_L = 38A$, $V_{GS} = 10V$
- ③ $ISD \leq 38A$, $di/dt \leq 300A/\mu s$,
 $V_{DD} \leq 100V$, $T_J \leq 150^\circ C$
Suggested $R_G = 2.35\Omega$
- ④ Pulse width $\leq 300\mu s$; Duty Cycle $\leq 2\%$

Case Outline and Dimensions—TO-204AE (Modified TO-3)

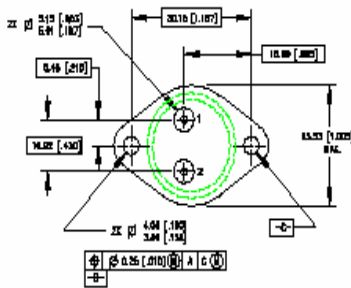


PIN ASSIGNMENTS

- 1 - SOURCE
- 2 - GATE
- 3 - DRAIN (CASE)

NOTES:

1. DIMENSIONS & TOLERANCING PER ANSI Y14.0M-1988
2. CONTROLLING DIMENSIONS INCH
3. DIMENSIONS ARE SHOWN IN MILLIMETERS [INCHES]
4. OUTLINE CONFORMS TO JEDEC OUTLINE TO-204AE





Universidade do Algarve
Escola Superior de Tecnologia
Área Departamental de Engenharia Electrotécnica
Engenharia Eléctrica e Electrónica, 2º Ciclo
Electrónica de Regulação e Comando

2º Trabalho Prático

Transistores bipolares de Junção (BJT)

**Caracterização, circuitos de ataque à
base e de ajuda à comutação**

N.º Aluno	Nome/Assinatura	Obs.	Classificação

Ano Lectivo de 2005/2006, 1º Semestre
Elaborado por Nelson Gago

1. Introdução

Os transístores de tecnologia bipolar (BJT) são dispositivos de potência versáteis, que são usados na maior parte dos circuitos de comando de outros transístores, ou no comando de outros dispositivos semicondutores, bem como nos circuitos principais de certos conversores de potência. Isto significa que existem BJT para amplas gamas de tensão, de corrente e de velocidade de operação.

O estudo do comportamento do transístor bipolar de potência em regime de sinais fortes é fundamental num curso de Energia, onde os alunos estudam circuitos em que a grande maioria dos BJT's utilizados funcionam como interruptores. A isto se junta o facto do BJT ser ainda o dispositivo de comando com melhor relação qualidade/custo para aplicações de baixa potência (<1 kW) e médias frequências (<25 kHz). O estudo do BJT a operar em regime de sinais fortes (em comutação) é então abordado por corresponder à utilização mais frequente em circuitos de electrónica de potência.

2. Objectivos

O trabalho tem os seguintes objectivos:

- ✓ Observar as características de transferência e tensão-corrente;
- ✓ Caracterizar tensões e correntes nos terminais de potência e no terminal de comando;
- ✓ Estudar o funcionamento dos circuitos de ajuda à comutação para uma carga indutiva com díodo de roda livre;
- ✓ Medir os tempos de resposta com diversos circuitos de comando de base;
- ✓ Identificar o BJT (PNP ou NPN simples ou Darlington).

Todas as medidas, justificações e comentários devem ser registados no anexo do trabalho. Os alunos podem utilizar mais espaço do que o fornecido, em outras páginas, ou no verso para responder às questões colocadas. No final da sessão de laboratório cada grupo de trabalho entrega ao docente um exemplar do guia convenientemente preenchido.

3. Material

- Placa pré-montada de circuito impresso e cabos de ligação;
- 1 Módulo pré-montado com resistência e indutância;
- 1 Osciloscópio de 2 (ou 4) canais e respectivas pontas de prova;
- 1 Ponta de corrente;
- 2 Multímetros digitais portáteis;
- 2 Multímetros digitais de bancada Fluke 45 e/ou /Kethley;
- 1 Gerador de funções Beckman;
- 1 Fonte DC regulável Topward 6032D;
- 1 Fonte DC regulável GV GPS3030D;
- 1 Amplificador de isolamento Leybold, Ref. 73526;
- 1 Fonte de Tensão DC, +/- 15 V, 3A Leybold Ref. 72686;
- 1 Módulo de Carga Resistiva/Indutiva Leybold, Ref. 73509;
- Resistências:

5 Ω / 5A	Reóstato de 0-20 Ω / 5A
100 Ω	470 Ω
1.8 k Ω	

4. Procedimento Experimental

O BJT a ensaiar constitui o elemento interruptor principal do circuito conversor DC-DC da Figura 1. Este tipo de circuito é também o habitualmente utilizado para medir os tempos de comutação da maioria dos dispositivos semicondutores de potência e observar a característica tensão – corrente parametrizadas numa grandeza de comando. São ainda observáveis as sobretensões e sobrecorrentes aos terminais de potência, devidas ao carácter indutivo das ligações e à não linearidade dos díodos.

Na placa pré-montada encontra-se também um circuito de ataque de base, sendo ainda possível excitar esta última com saída directa do Gerador de Funções (GF) ou através de uma resistência. Pode então chegar-se a conclusões acerca das necessidades de comando de base.

Antes de ligar ou desligar qualquer elemento do circuito deve desligar as fontes. As fontes de alimentação devem ser as últimas a ser desligadas e as primeiras a ser ligadas. Dentro destas, as fontes de alimentação com maior potência desligam-se primeiro e ligam-se por último. Não se aplicam sinais de comando (neste caso, o GF) aos circuitos de excitação sem que a respectiva fonte, V_{DD} , esteja ligada.

Notas sobre os componentes da placa:

- Os componentes a tracejado não se encontram presentes na placa, sendo necessário efectuar a sua ligação, quando necessário, externamente a esta;
- Os dois Multímetros de bancada (Fluke 45 ou Kethley) são utilizados como os amperímetros ilustrados na placa da Figura 1. Os dois Multímetros portáteis adicionais servem para medições ocasionais de tensões e resistências;
- A fonte Leybold +/- 15 V vai ser utilizada para V_{DD} ;
- A fonte Topward 6032D, que possui duas saídas 30V/2A, vai ser utilizada como a fonte do circuito de potência, V_d . De forma a permitir obter uma corrente superior a 2 A (no máximo até 4 A), as duas saídas vão ser ligadas em paralelo. Siga as seguintes instruções:
 - i. **Fonte em vazio e desligada.** Ajuste a corrente e tensão da saídas *MASTER* *SLAVE* para o mínimo (sentido contrário aos ponteiros do relógio);

- ii. Coloque os interruptores de *TRACKING MODE* no painel frontal para *PAR*. Nesta situação o – da saída *MASTER* está internamente curto-circuitado com o – da saída *SLAVE*, assim como + da saída *MASTER* está curto-circuitado com o + da saída *SLAVE*. Os terminais de saída são o + da saída *MASTER* e o – da saída *MASTER* (ou o – da saída *SLAVE*);
 - iii. Ligue a fonte no interruptor de potência;
 - iv. Ajuste a corrente e tensão da saída *SLAVE* para o máximo (no sentido dos ponteiros do relógio);
 - v. A tensão e corrente de saída são ajustados para o valor requerido na montagem através dos reguladores da saída *MASTER*. Repita o procedimento cada vez que ligar a fonte.
- O Reóstato 0-20 Ω /5A deve possuir a resistência máxima quando se liga a fonte de potência. O seu valor será depois ajustado para que a corrente na carga nunca possua um valor médio superior a 2.5 A;
 - Na Figura 1, estão representados diversos shunts de 0.1 Ω . Estes shunts servem para visualizar, de forma indirecta, as correntes correspondentes. No entanto, caso as pontas de prova de corrente estejam disponíveis, estes shunts não são necessários.

Em todos os ensaios a tensão de alimentação V_d e/ou resistência de carga 0-20 Ω devem ser ajustadas para que em condução plena o valor médio da corrente i_o nunca ultrapasse 2.0 A. Por simplicidade, utilize um ciclo de trabalho de 0.5.

4.1. Obtenção das características $v_{XY} = f(v_{Z1})$ e $i_Y = f(v_{Z1})$

Efectue as ligações necessárias para obter o circuito apresentado na Figura 2. Usando o Gerador de Funções, aplique na entrada um sinal triangular, v_i , com valor médio nulo, amplitude máxima, e frequência de 100 Hz. Ligue o sinal de entrada ao canal X do osciloscópio, previamente ajustado em modo XY⁽¹⁾, e saída ao canal Y.

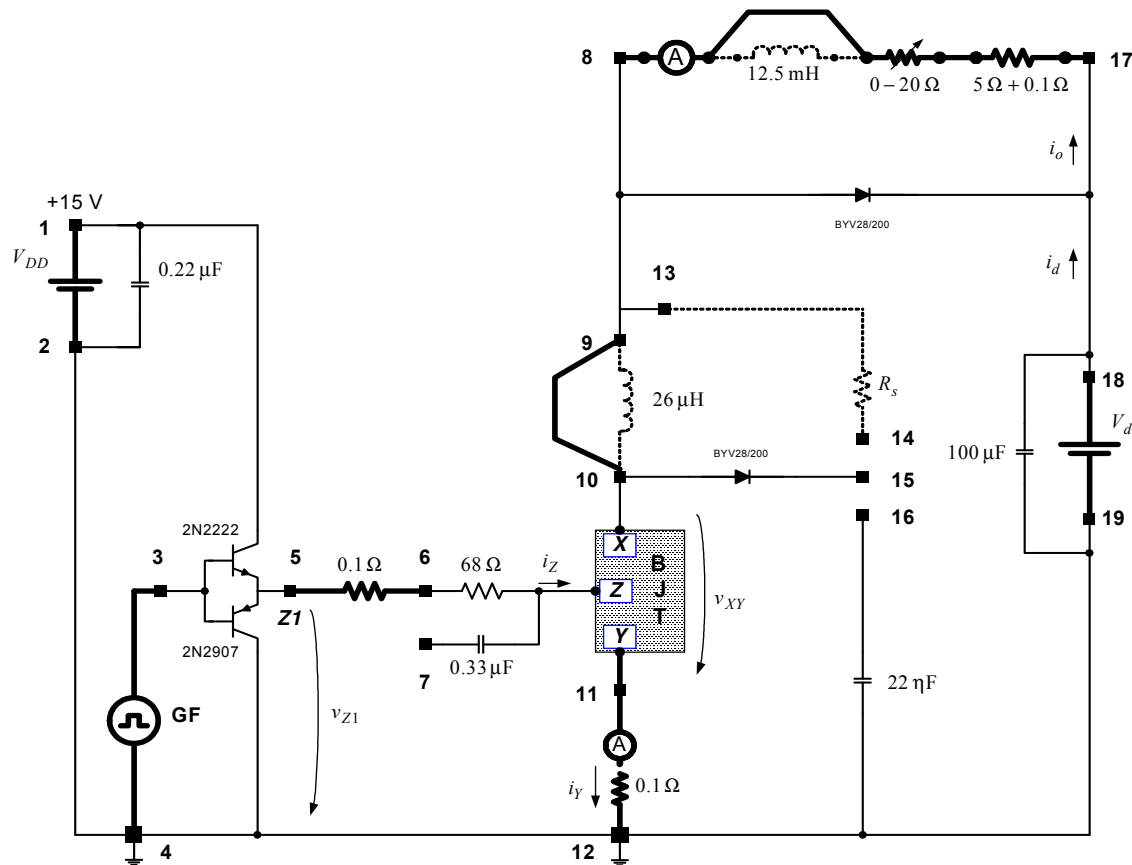


Figura 2 - Circuito para a determinação das características $v_{XY} = f(v_{Z1})$ e $i_Y = f(v_{Z1})$; as ligações a efectuar e os componentes externos estão realçadas.

- 1) Coloque o reóstato com a resistência máxima. Regule V_d para 30 V;

- 2) Ajuste o reóstato para que o valor médio da corrente de carga seja cerca de 1,5 A;
- 3) Visualize a característica $v_{XY} = f(v_{Z1})$, utilizando para o efeito as pontas do osciloscópio, Figura I(a);
- 4) Faça variar a corrente de carga (através do reóstato). Verifique as alterações em relação a 3 para diversos valores da corrente (0.5 a 1 A), Figura I(b);
- 5) Ajuste novamente o reóstato para que o valor médio da corrente de carga seja cerca de 1A. Obtenha a característica $i_Y = f(v_{Z1})$, utilizando para o efeito as pontas do osciloscópio, Figura II(a);
- 6) Faça variar a corrente de carga (através do reóstato). Verifique as alterações em relação a 5 para diversos valores da corrente (0.5 a 1 A), Figura II(b);
- 7) Comente, em Anexo, as curvas obtidas e explique o funcionamento do circuito (de dois BJT complementares) de ataque de base;
- 8) Já possui alguma informação do BJT em teste. Quais são as características/informações que possui do semiconductor? (Anote no Anexo n.º2).

4.2. Observação da evolução temporal da tensão e corrente no BJT em comutação com carga resistiva

Efectue as ligações necessárias para obter o circuito apresentado na Figura 3. Usando o Gerador de Funções, aplique na entrada um **senal rectangular, v_i , de 0 a 12 V de amplitude, e frequência de 1 kHz**. Coloque o reóstato com a resistência máxima e regule V_d para 30 V.

⁽¹⁾ A onda v_i deve ser previamente verificada por visualização no osciloscópio antes de ser aplicada ao circuito, sendo reajustada caso haja necessidade. O osciloscópio é também convenientemente regulado. Para o efeito, depois de corrigidos os valores da tensão e a forma de onda de v_i , deve ligar-se v_i a ambos os canais e, com a base de tempo em XY, ajustar o osciloscópio até que a curva de Lissajous observada corresponda à diagonal de um quadrado. Devem anotar-se os respectivos limites e controlos do osciloscópio para as medições subsequentes.

- 10) Ligue novamente o circuito.
 - Obtenha as formas de onda de v_{XY} , i_Y , i_O e i_Z Figura III(a);
 - Obtenha as medições dos amperímetros e registre-as na Tabela 1.
 - Utilizando as formas de onda visualizadas, obtenha o valor da corrente de regime permanente do BJT, $I_{Y(\text{reg. perm})}$ (depois de ter estabilizado após o processo de entrada à condução). Obtenha também o valor correspondente da corrente na base, $I_{B(\text{reg. perm})}$. Registre os valores na Tabela 1.
- 11) Mantenha o valor da resistência do reóstato. Repita 10 com $R_{B\text{extra}} = 100 \Omega$.
Figura III (b) e Tabela 1;
- 12) Mantenha o valor da resistência do reóstato. Repita 10 com $R_{B\text{extra}} = 470 \Omega$.
Figura III (c) e Tabela 1;
- 13) Mantenha o valor da resistência do reóstato. Repita 10 com $R_{B\text{extra}} = 1800 \Omega$.
Figura III (d) e Tabela 1;
- 14) Ligue C_b . Repita 10 com $R_{B\text{extra}} = 0$; Figura III(e) e Tabela 1;
- 15) Repita 14. Com $R_{B\text{extra}} = 1.8 \text{ k}\Omega$; Figura III(f) e Tabela 1;
- 16) Comente a influência da resistência de base e do condensador de aceleração no comportamento do BJT. Obtenha analiticamente os valores da Tabela 1 referentes a $R_{B\text{extra}} = 0 \Omega$, anote no Anexo;

4.3. Circuitos de ajuda à comutação

Efectue as ligações necessárias para obter o circuito apresentado na Figura 6. Usando o Gerador de Funções, aplique na entrada um **senal rectangular, v_i , de 0 a 12 V de amplitude, e frequência de 10 kHz**. Coloque o reóstato com a resistência máxima e regule V_d para 30 V. Utilize uma **indutância na carga de 12.5 mH**.

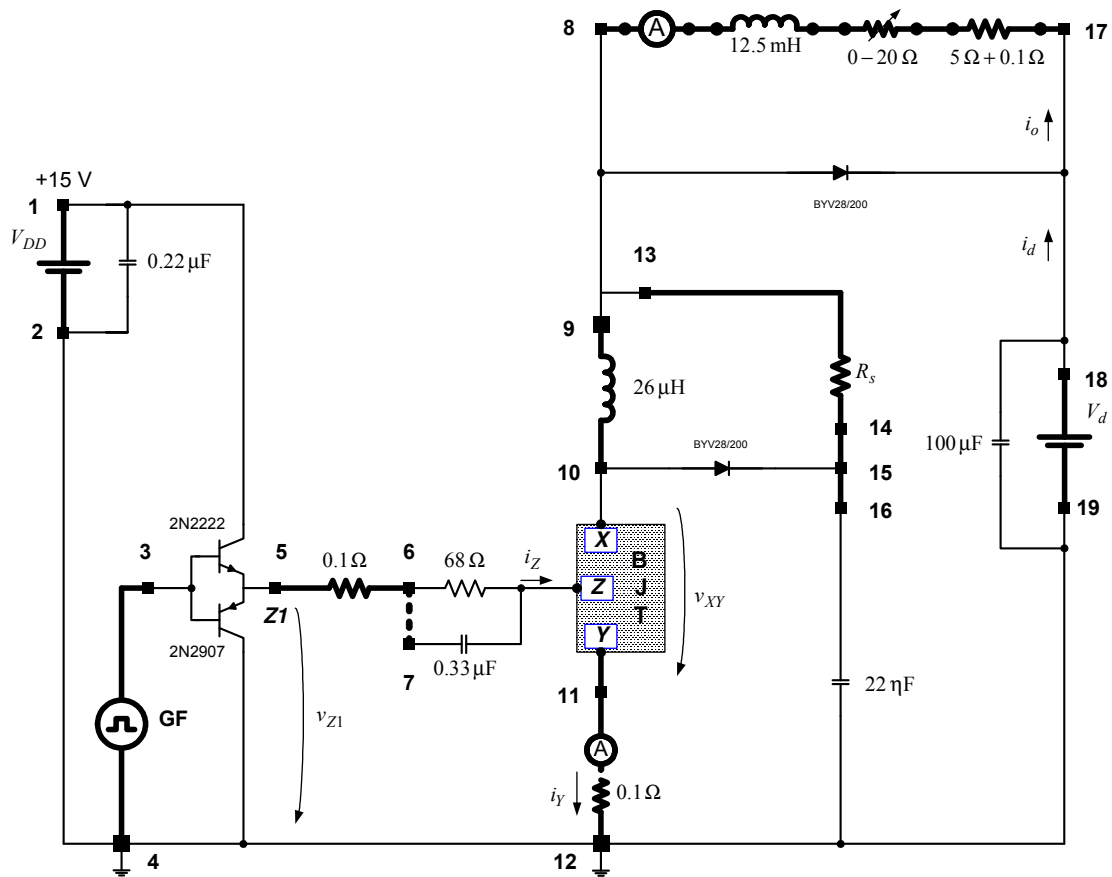


Figura 6 - Circuito para a observação das formas de onda de v_{XY} , i_o e i_Y . As ligações a efectuar e os componentes externos estão realçados. A ligação do condensador C_b está a tracejado.

- 17) Estime um valor para R_S ;
- 18) Coloque C_b desligado. Ajuste o reóstato de carga para que o valor médio da corrente de carga seja cerca de 1,5A. Desligue o circuito e meça o valor da resistência do reóstato: $R_{reost} = \quad \Omega$;
- 19) Ligue novamente o circuito (C_b desligado). Obtenha as formas de onda de v_{XY} , i_o e i_Y , Figura IV(a). Obtenha as medições dos amperímetros e registe-as na Tabela II;

- 20) Obtenha a forma de onda da tensão em C_γ (22 nF) e da corrente em R_S , Figura IV(b) e Figura IV(c);
- 21) Utilizando uma escala s/div conveniente, visualize, durante os processos de entrada ao corte e entrada à condução do BJT, as seguintes grandezas v_{XY} , i_Y , i_{R_S} , i_{C_γ} , i_L , e v_{C_γ} , Figura IV(d) e IV(e). Registe os tempos de comutação, Tabela III;
- 22) Repita 19, com C_b ligado, Figura V(a) e Tabela II;
- 23) Repita 21, com C_b ligado, Figura V(b) e V(c) e Tabela III;
- 24) Ajuste a frequência para 20 kHz. Repita 19 e 22, Figura VI(a) e Figura VI(b);
- 25) Justifique as formas de onda obtidas;
- 26) Explique o dimensionamento e o funcionamento do circuito de ajuda à comutação;

4.4. Medição dos tempos de comutação sem snubbers

Efectue as ligações necessárias para obter o circuito apresentado na Figura 7. Usando o Gerador de Funções, aplique na entrada um **senal rectangular**, v_i , **de 0 a 12 V de amplitude, e frequência de 1 kHz**. Coloque o reóstato com a resistência máxima e regule V_d para 30 V.

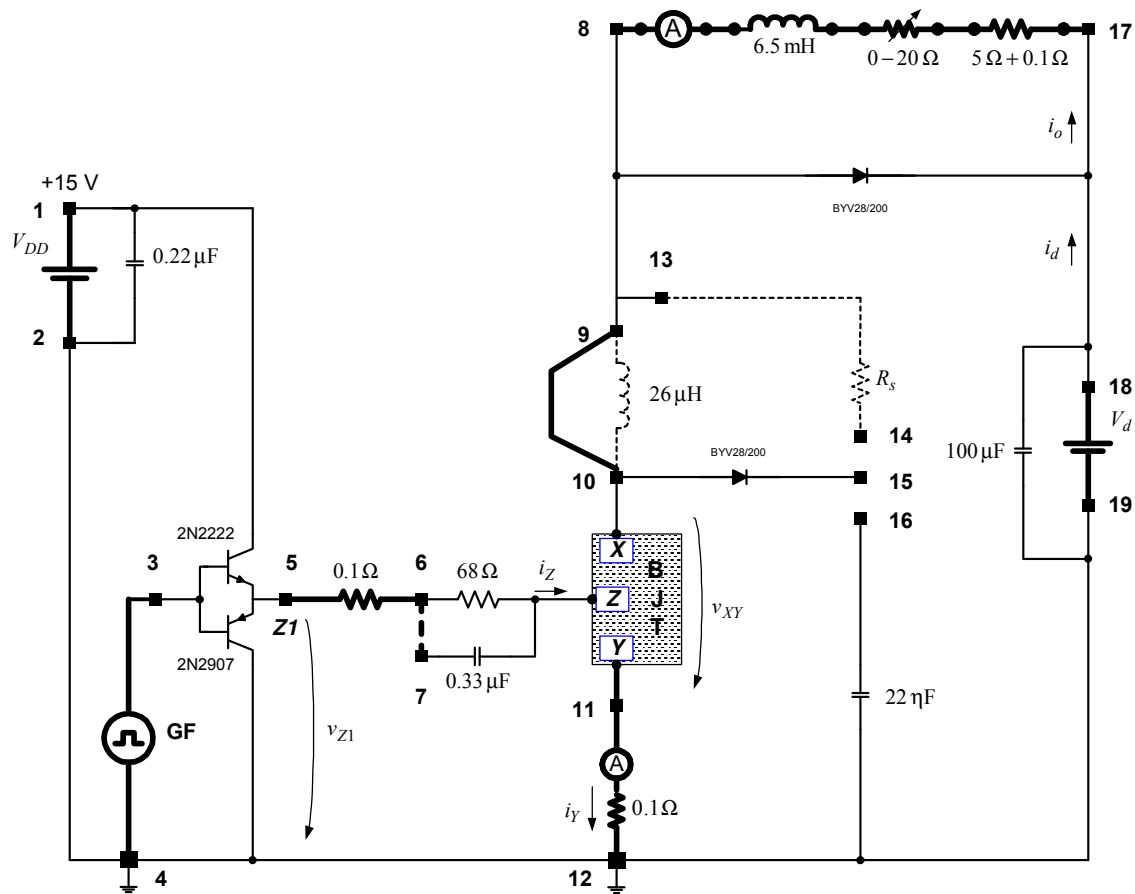


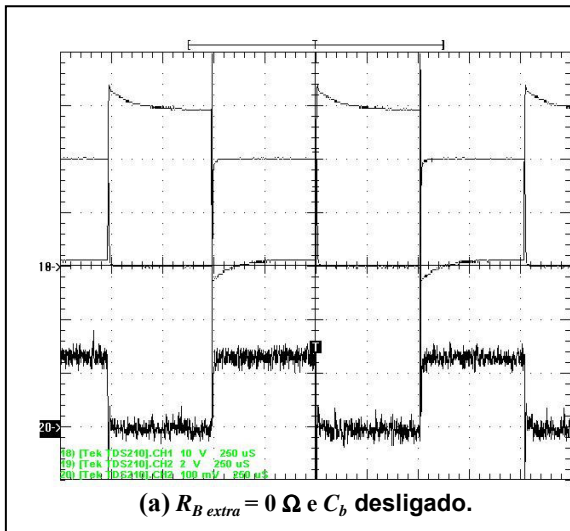
Figura 7 - Circuito para medição dos tempos de comutação sem snubbers.

- 27) Coloque C_b desligado. Ajuste o reóstato de carga para que o valor médio da corrente de carga seja cerca de 1,5 A. Desligue o circuito e meça o valor da resistência do reóstato: $R_{reost} = \quad \Omega$;
- 28) Ligue novamente o circuito (C_b desligado). Obtenha as formas de onda de v_{XY} e i_Y , Figura VII. Utilizando uma escala s/div conveniente, visualize os processos de entrada ao corte e entrada à condução do BJT, Figura VIII(a) e VIII(b). Registre os tempos de comutação, Tabela IV;
- 29) Repita 28 com C_b ligado. Figura IX, Figura X e Tabela IV;

- 30) Compare, do ponto de vista de velocidade de comutação, as duas situações testadas (com e sem condensador) e comente os resultados;
- 31) Compare, do ponto de vista da velocidade de comutação, os tempos de comutação dos ensaios com e sem snubbers;
- 32) Neste momento, provavelmente, possui já um vasto conjunto de dados que lhe permitem identificar o tipo de componente bipolar (PNP ou NPN ou Darlington). Identifique-o, justificando devidamente.

Nota: Deverá entregar, um exemplar por grupo, o anexo do enunciado, devidamente preenchido.

Resposta ao ponto 8 do enunciado:



Comentários:

Figura III – Evolução temporal de v_{XY} , i_Y , i_O e i_Z para diversos valores de $R_{B\ extra}$.

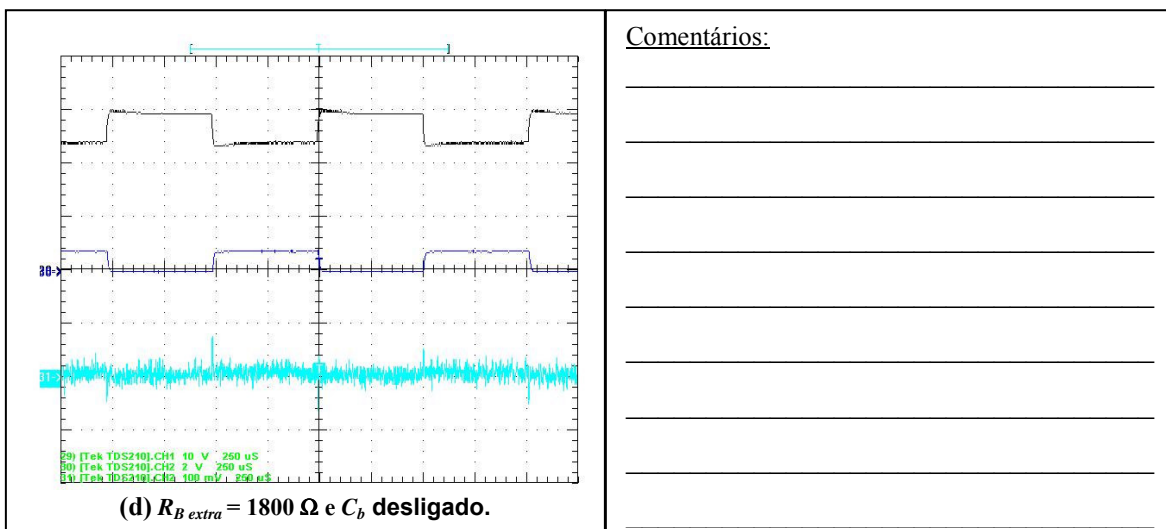
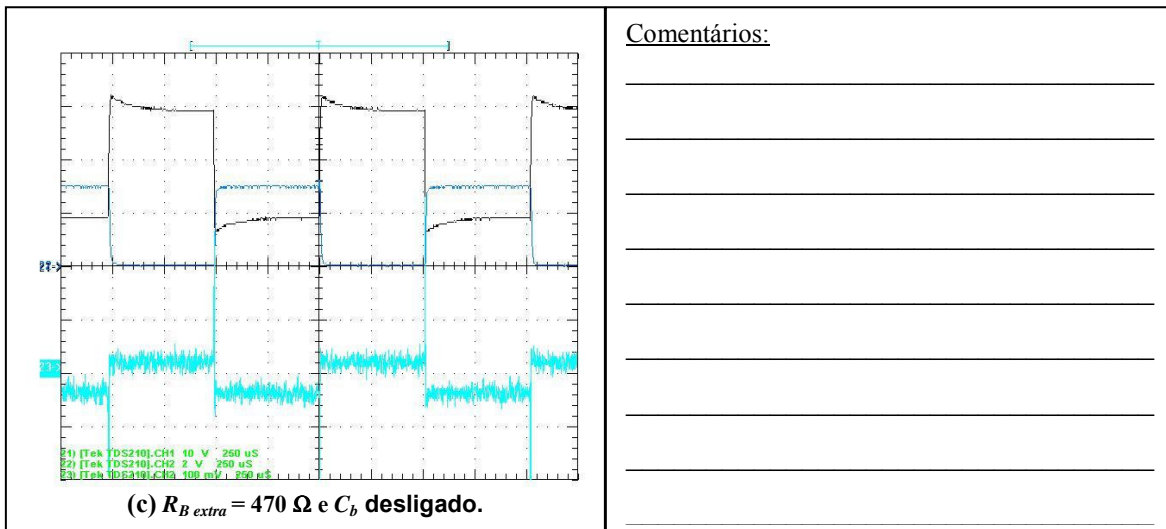
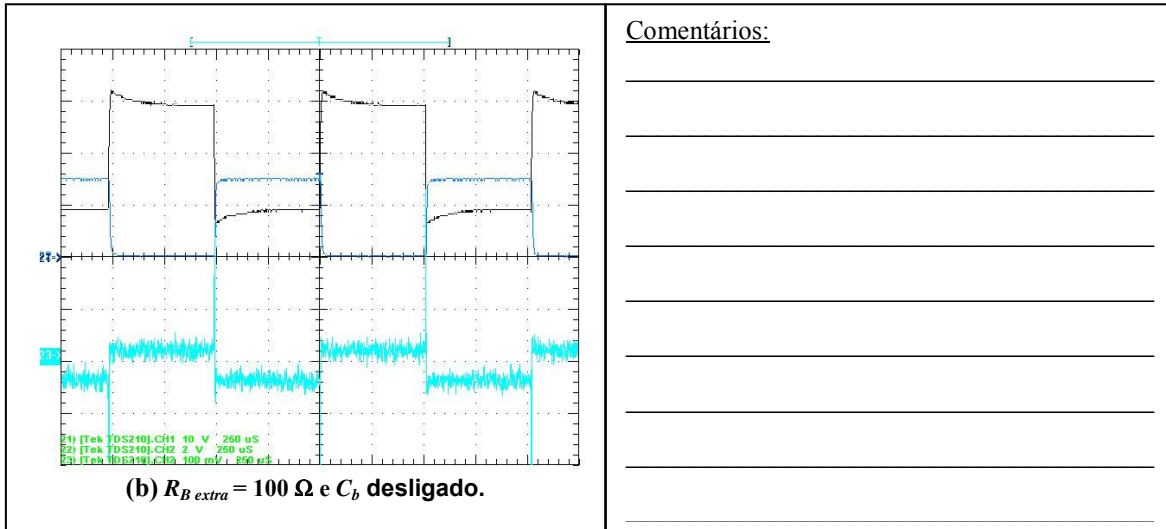


Figura III (Continuação) – Evolução temporal de v_{XY} , i_Y , i_O e i_Z para diversos valores de $R_{B\ extra}$.

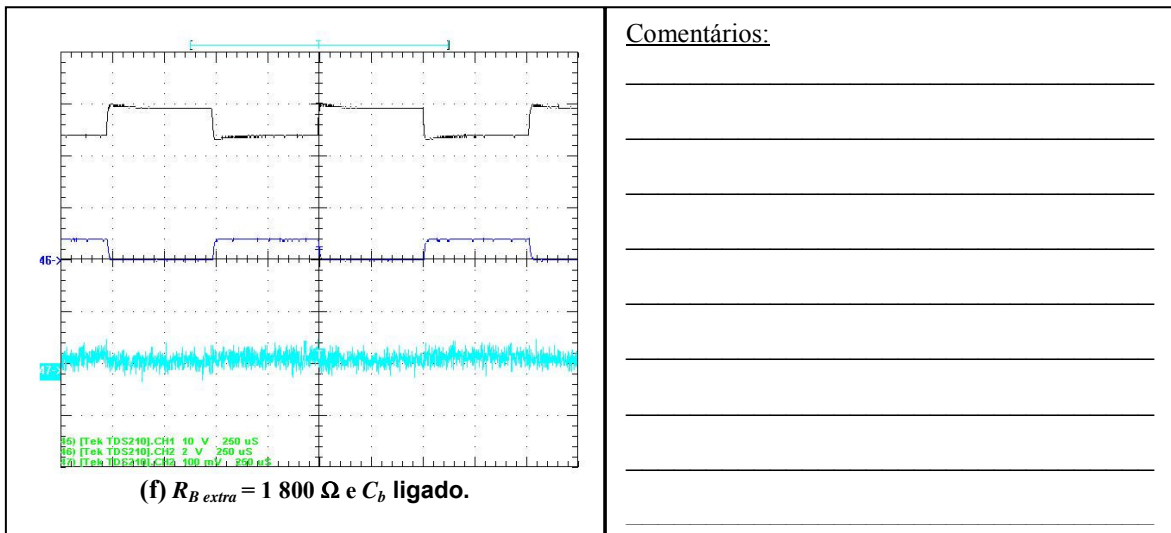
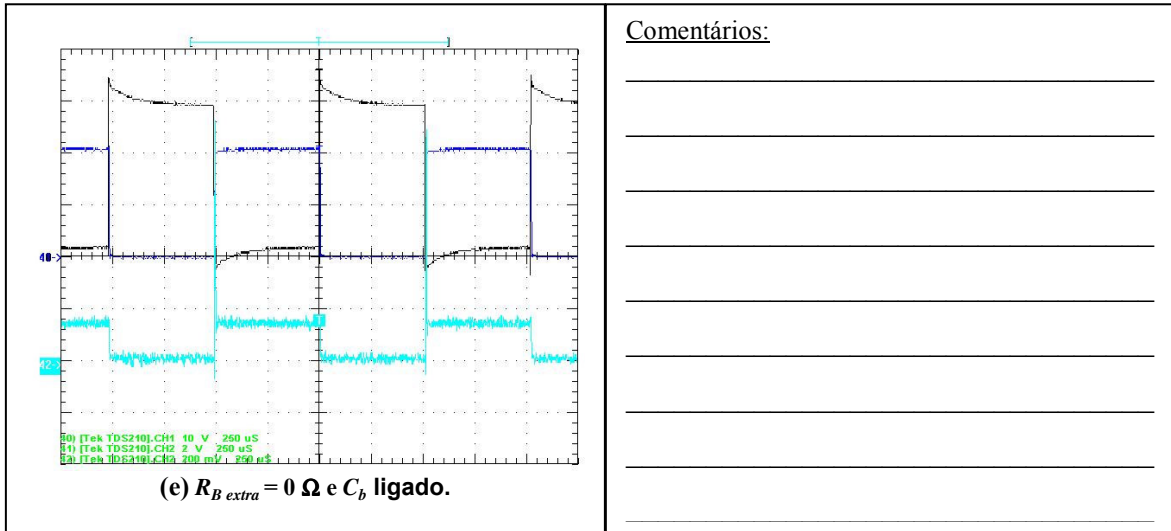
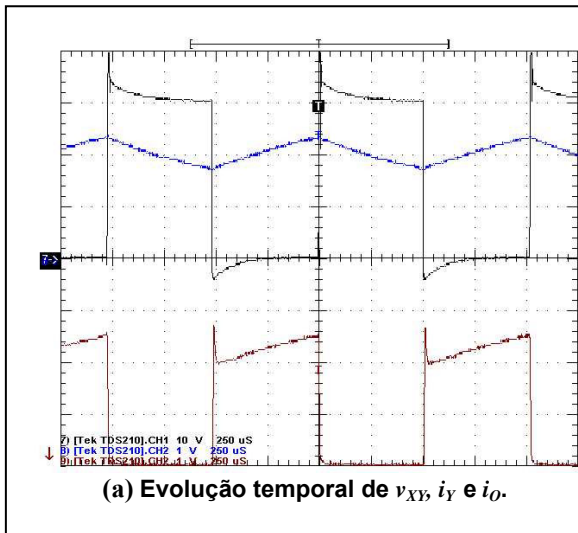


Figura III (Continuação) – Evolução temporal de v_{XY} , i_Y , i_O e i_Z para diversos valores de $R_{B\ extra}$.

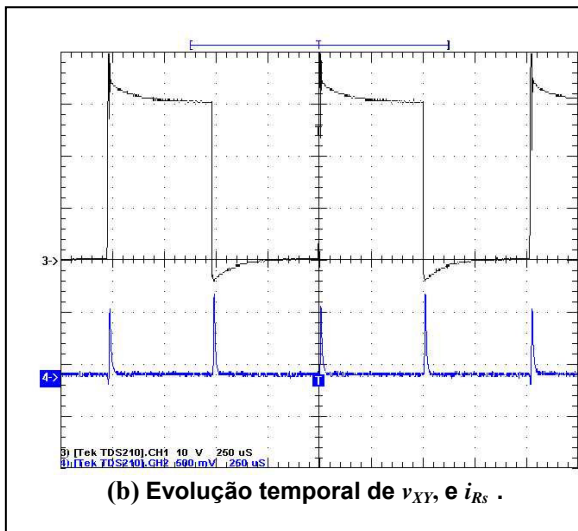
	I_{oDC}	I_{oRMS}	I_{YDC}	I_{YRMS}	$I_{Y(reg.\ perm)}$	$I_{Z(reg.\ perm)}$
$R_{B\ extra} = 0\ \Omega$ e C_b desligado						
$R_{B\ extra} = 100\ \Omega$ e C_b desligado						
$R_{B\ extra} = 470\ \Omega$ e C_b desligado						
$R_{B\ extra} = 1.8\ k\Omega$ e C_b desligado						
$R_{B\ extra} = 0\ k\Omega$ e C_b ligado						
$R_{B\ extra} = 1.8\ k\Omega$ e C_b ligado						

Tabela I – Medições para diversos valores de $R_{b\ extra}$.

Resposta ao ponto 16 do enunciado:

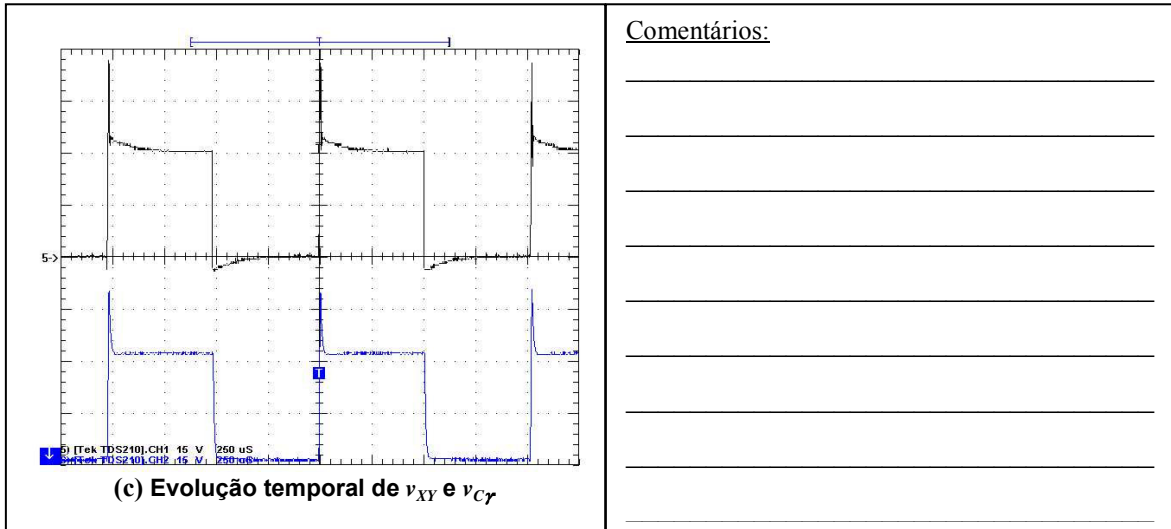


Comentários:

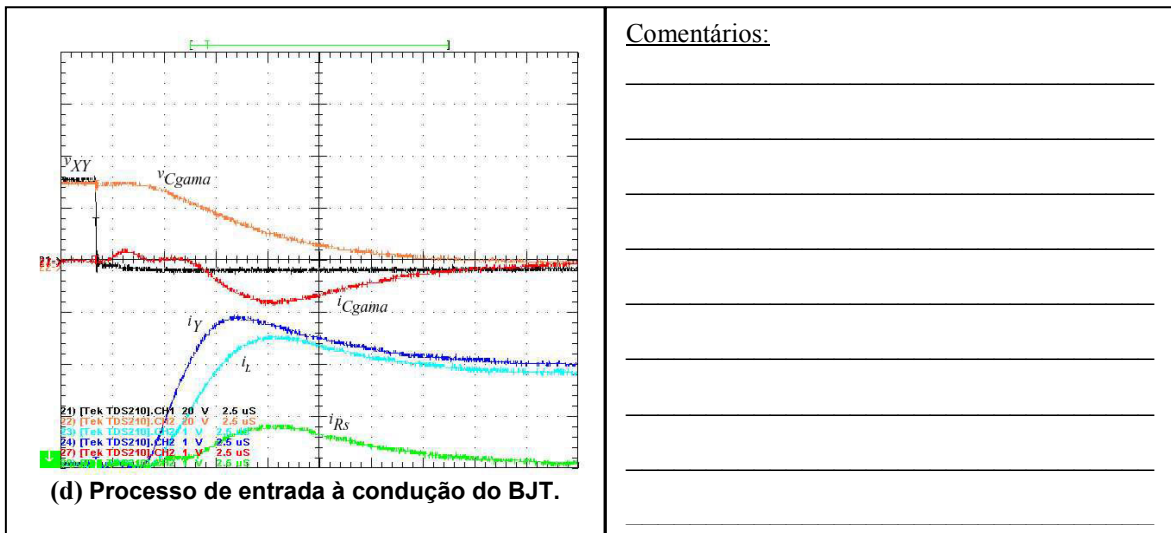


Comentários:

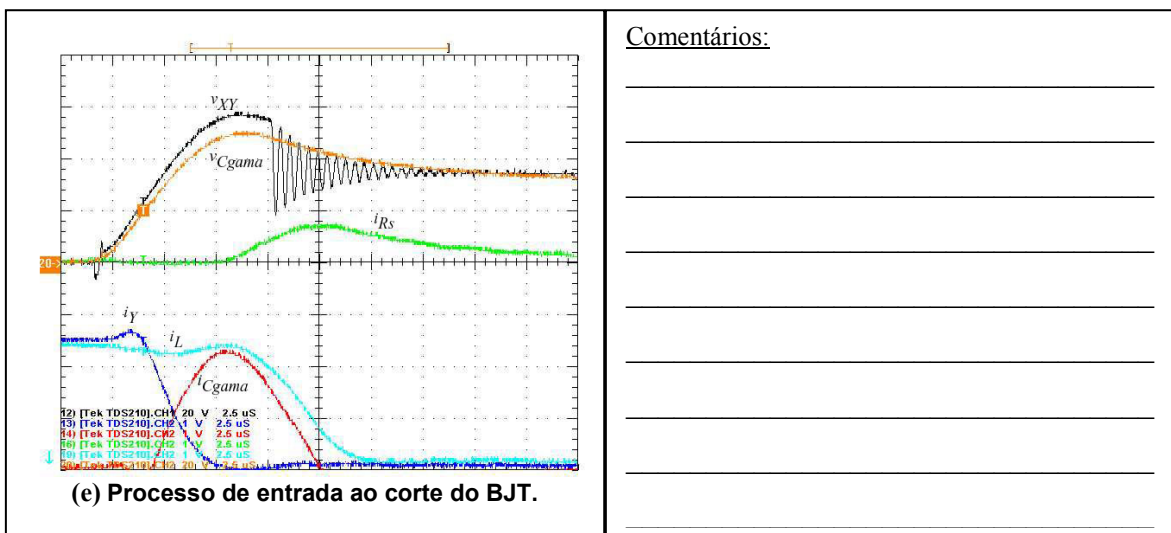
Figura IV – Formas de onda com $f=1$ kHz e C_b desligado.



Comentários:



Comentários:



Comentários:

Figura IV – Formas de onda com $f=1$ kHz e C_b desligado.

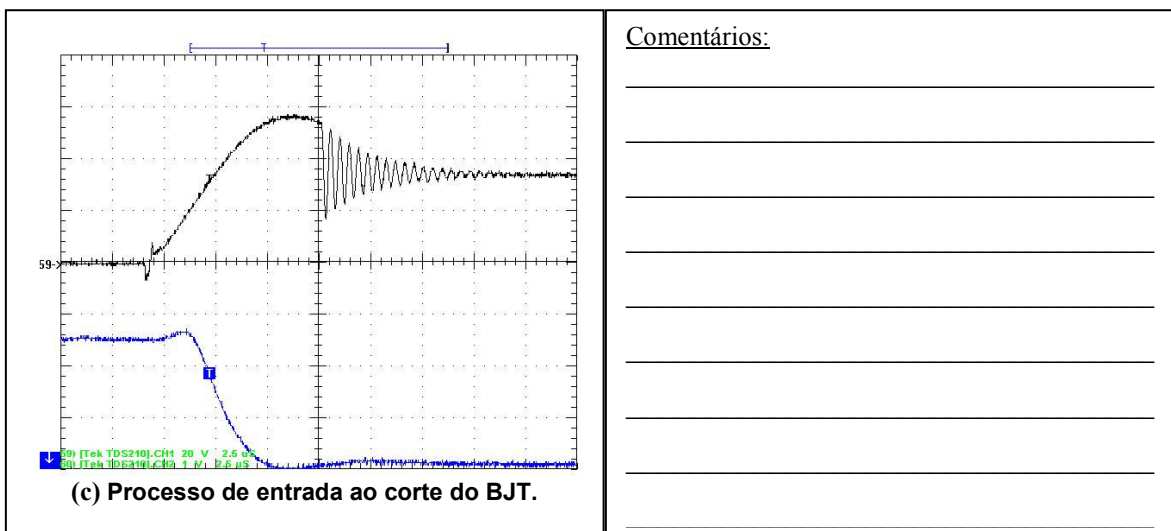
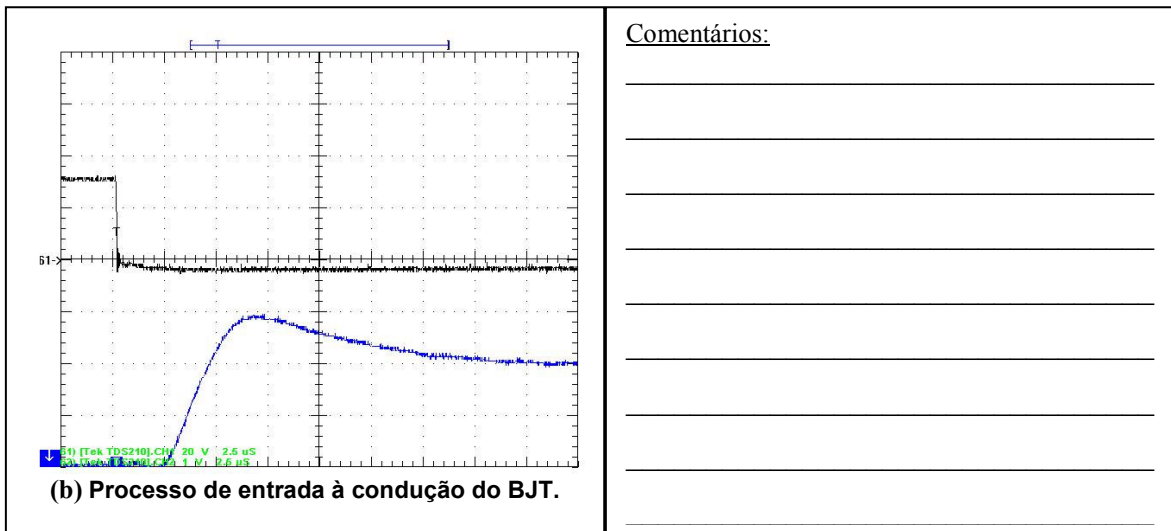
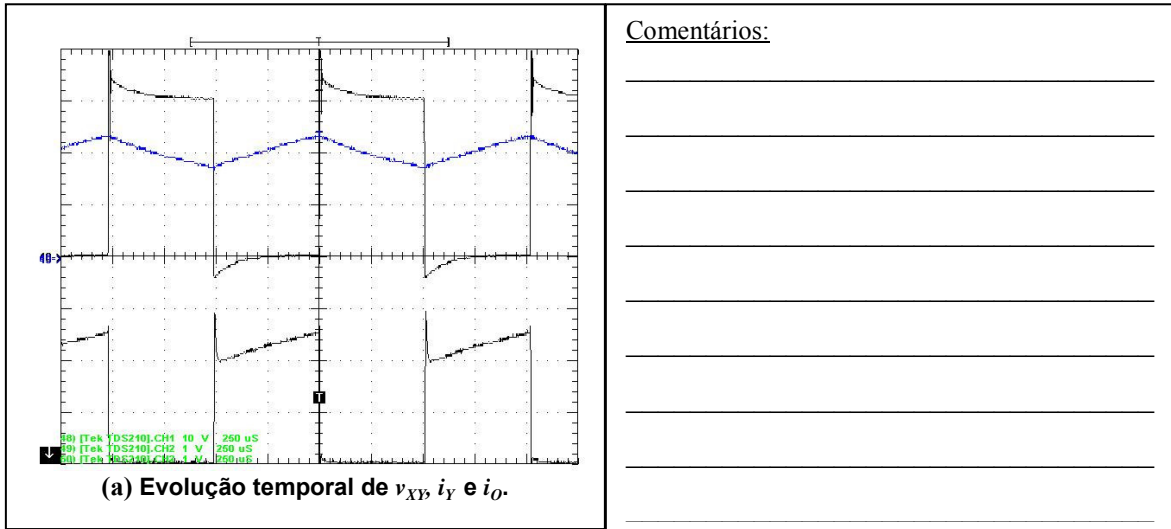


Figura V – Formas de onda com $f=1$ kHz e C_b ligado.

	I_{oDC}	I_{oRMS}	I_{YDC}	I_{YRMS}
$f= 1\text{ kHz}$ e C_b desligado				
$f= 1\text{ kHz}$ e C_b ligado				
$f= 20\text{ kHz}$ e C_b desligado				
$f= 20\text{ kHz}$ e C_b ligado				

Tabela II – MEDIÇÕES EFECTUADAS NO ENSAIO EM COMUTAÇÃO SOBRE CARGA INDUTIVA.

	entrada à condução (t_{on})				entrada ao corte (t_{off})			
	t_d	t_{ri}	t_{fv}	$t_{on\ total}$	t_s	t_{fi}	t_{rv}	$t_{off\ total}$
$f= 1\text{ kHz}$ e C_b desligado								
$f= 1\text{ kHz}$ e C_b ligado								

Tabela III – TEMPOS DE COMUTAÇÃO COM SNUBBERS.

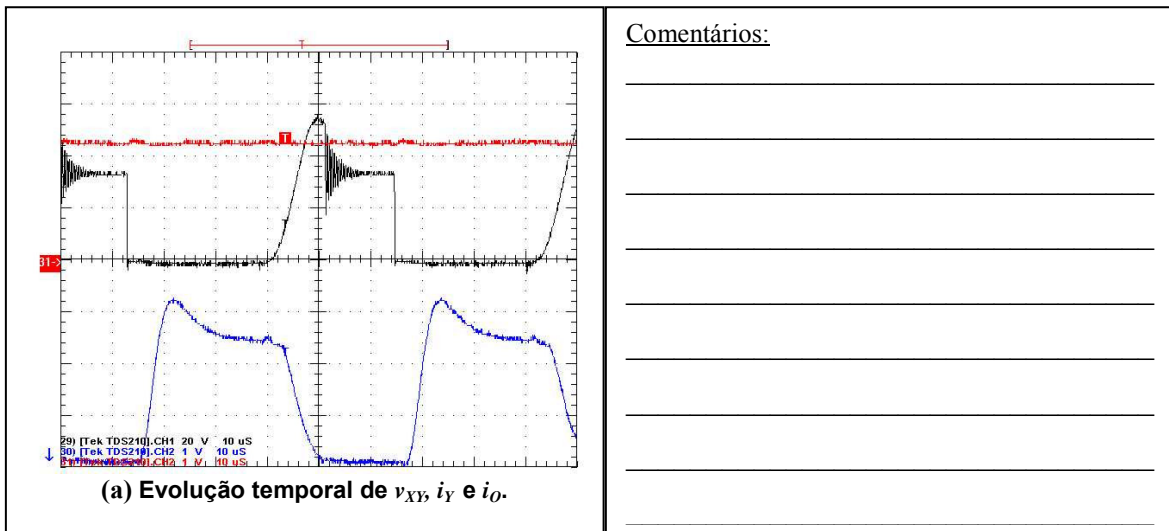


Figura VI – Formas de onda com com $f=20\text{ kHz}$ e C_b desligado.

	entrada à condução (t_{on})				entrada ao corte (t_{off})			
	t_d	t_{ri}	t_{fv}	$t_{on\ total}$	t_s	t_{fi}	t_{rv}	$t_{off\ total}$
$f=1\text{ kHz}$ e C_b desligado								
$f=1\text{ kHz}$ e C_b ligado								

Tabela IV – TEMPOS DE COMUTAÇÃO DO DISPOSITIVO.

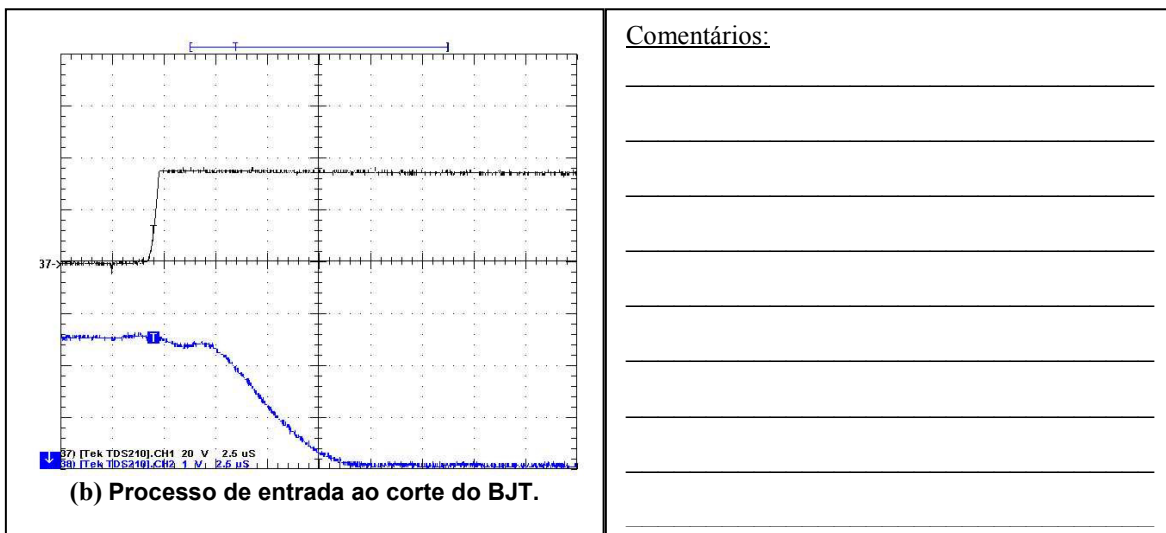
Figura VII – Evolução temporal de v_{XY} , i_Y e i_O com $f=1\text{ kHz}$ e C_b desligado.

Comentários:

(a) Processo de entrada à condução do BJT.

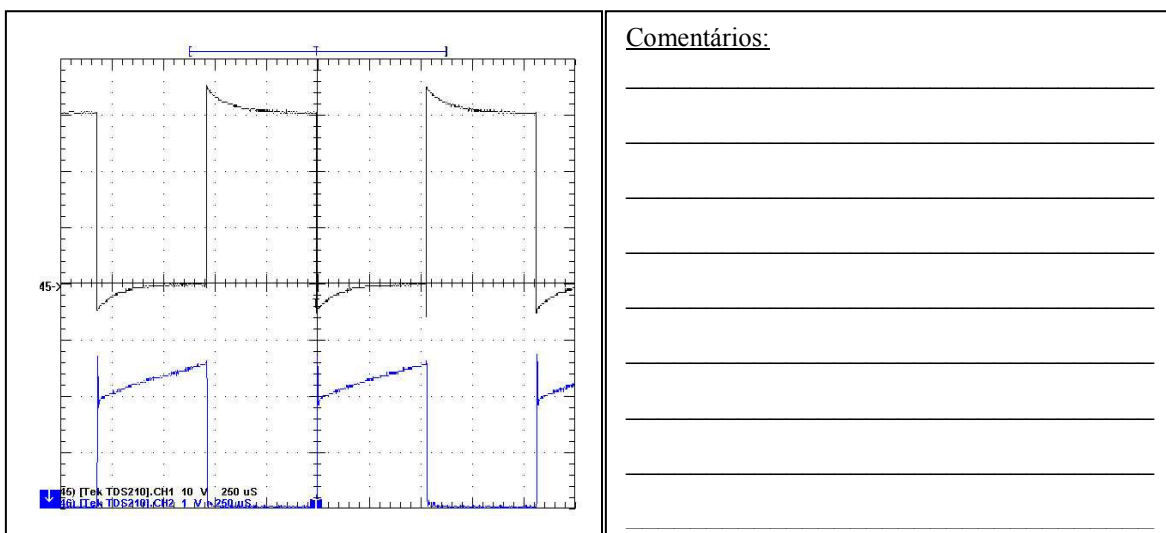
Comentários:

Figura VIII – Processo de entrada à condução do BJT com $f=1\text{ kHz}$ e C_b desligado.



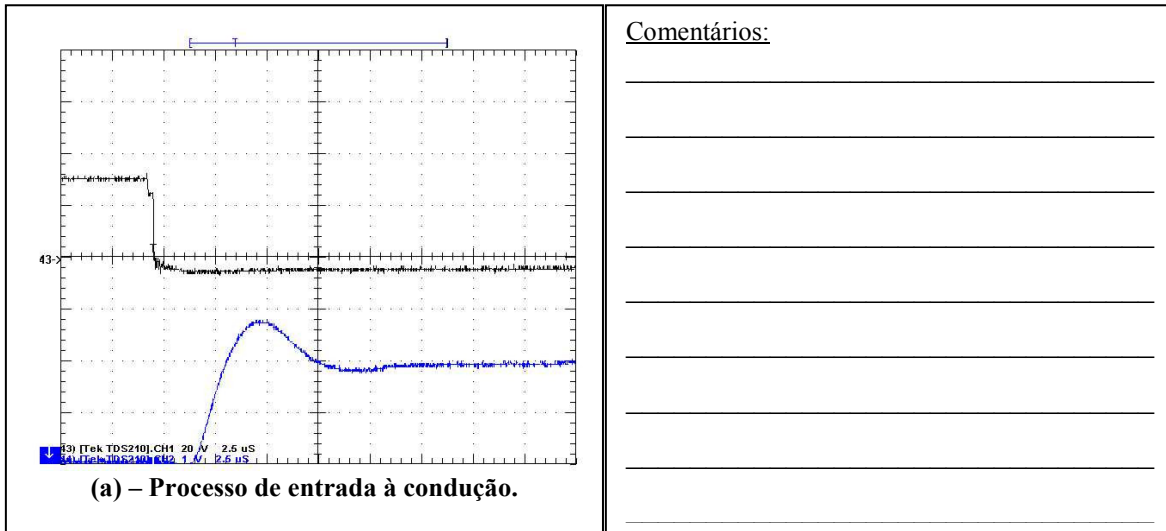
Comentários:

Figura VIII – Processos comutação do BJT com $f=1$ kHz e C_b desligado.

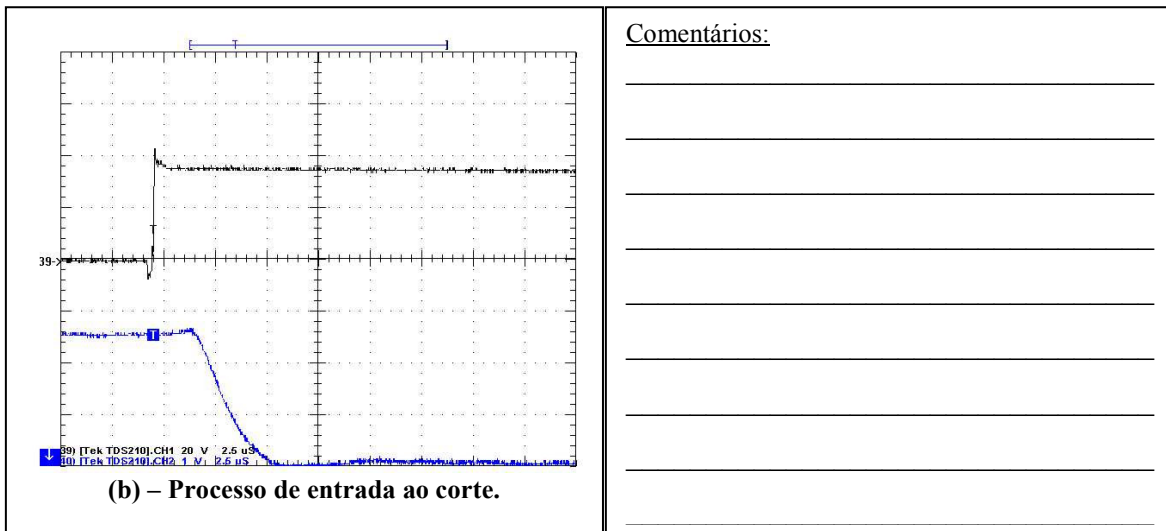


Comentários:

Figura IX – Evolução temporal de v_{XY} , i_Y e i_O com $f=1$ kHz e C_b ligado.



Comentários:



Comentários:

Figura X – Processos de comutação com $f=1$ kHz e C_b ligado.



Universidade do Algarve
Escola Superior de Tecnologia
Área Departamental de Engenharia Electrotécnica
Engenharia Eléctrica e Electrónica, 2º Ciclo
Electrónica de Regulação e Comando

3º Trabalho Prático

Dispositivos Com Tecnologia MOS

**Caracterização, circuitos de ataque à
base e de ajuda à comutação**

Ano Lectivo de 2005/2006, 1º Semestre
Elaborado por Nelson Gago

1. Introdução

Os dispositivos de efeito de campo de gate isolada tipo MOSFET (“Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor”) ou IGBT (“Insulated Gate Bipolar Transistor”) são semicondutores versáteis que permitem obter circuitos digitais ou analógicos e processar quer informação (sobretudo os MOSFET's de sinal), quer tensões e correntes a potência considerável e frequência elevada.

Tudo isto é conseguido com um ganho de potência muito elevado, pois o isolamento do eléctrodo de comando (porta ou gate) faz com que a corrente de gate seja praticamente nula, em regime estático. Embora em regime dinâmico (comutação) esta potência não seja nula, ela é normalmente desprezável quando comparada com a potência tratada pelo MOS. Justifica-se então o estudo deste componente em regime de comutação de potência.

2. Objectivos

O trabalho tem os seguintes objectivos:

- ✓ Observar as características de transferência e tensão - corrente;
- ✓ Caracterizar tensões e correntes nos terminais de potência e no terminal de comando;
- ✓ Estudar o funcionamento dos circuitos de ajuda à comutação para uma carga indutiva com diódo de roda livre;
- ✓ Medir os tempos de resposta com diversos circuitos de comando de base;
- ✓ Identificar o dispositivo (MOSFET ou IGBT, canal n ou canal p).

Todas as medidas, justificações e comentários devem ser registados no anexo do trabalho. Os alunos podem utilizar mais espaço do que o fornecido, no verso das páginas do anexo, para responder às questões colocadas. No final da sessão de laboratório cada grupo de trabalho entrega ao docente um exemplar do guia convenientemente preenchido.

3. Material

- Placa pré-montada de circuito impresso e cabos de ligação;
- 1 Módulo pré-montado com resistência e indutância;
- 1 Osciloscópio de 2 (ou 4) canais e respectivas pontas de prova;
- 1 Ponta de corrente;
- 2 Multímetros digitais portáteis;
- 2 Multímetros digitais de bancada Fluke 45 e/ou /Kethley;
- 1 Gerador de funções Beckman;
- 1 Autotransformador trifásico;
- 1 Transformador trifásico;
- 1 Módulo com ponte de rectificação trifásica e condensador de alisamento;
- 1 Fonte DC regulável Topward 6032D;
- 1 Fonte DC regulável GV GPS3030D;
- 1 Amplificador de isolamento Leybold, Ref. 73526;
- 1 Fonte de Tensão DC, +/- 15 V, 3A Leybold Ref. 72686;
- 1 Módulo de Carga Resistiva/Indutiva Leybold, Ref. 73509.
- Resistências:

3,3 Ω / 5A	Reóstato de 0-20 Ω / 5A
1 Ω	33 Ω
100 Ω	470 Ω
1 k Ω	

4. Procedimento Experimental

Os dispositivos de tecnologia MOS possuem o eléctrodo de comando (gate) isolado por uma fina camada de óxido de silício. Determinada quantidade de carga electrostática pode originar tensões suficientes para disromper aquela camada de óxido, inutilizando o componente. Apesar de alguns componentes MOS possuírem a sua própria protecção, convém adquirir o hábito de observar algumas precauções ao manuseá-los, razão pela qual se deve:

- ✓ Evitar friccionar os componentes nas roupas ou lãs sintéticas;
- ✓ Descarregar eventuais acumulações de cargas electrostáticas nas mãos, tocando em zonas metálicas da bancada;
- ✓ Evitar o contacto com o eléctrodo de comando do MOS, ou qualquer zona do circuito, não convenientemente isolada desse eléctrodo.

O dispositivos MOS a ensaiar constitui o elemento interruptor principal do circuito conversor DC-DC da Figura 1. Este tipo de circuito é também o habitualmente utilizado para medir os tempos de comutação da maioria dos dispositivos semicondutores de potência e observar a característica tensão-corrente parametrizadas numa grandeza de comando. São ainda observáveis as sobretensões e sobrecorrentes aos terminais de potência, devidas ao carácter indutivo das ligações e à não idealidade dos díodos.

Na placa pré-montada encontram-se também montados 2 circuitos de ataque de gate, sendo ainda possível excitar esta última com saída directa do Gerador de Funções (GF). Pode então chegar-se a conclusões acerca das necessidades de comando de base. A numeração dos alvéolos encontra-se na Figura 1.

Antes de ligar ou desligar qualquer elemento do circuito deve desligar as fontes. As fontes de alimentação devem ser as últimas a ser desligadas e as primeiras a ser ligadas. Dentro destas, as fontes de alimentação com maior potência desligam-se primeiro e ligam-se por último. Não se aplicam sinais de comando (neste caso, o GF) aos circuitos de excitação sem que a respectiva fonte, V_{DD} , esteja ligada.

Notas sobre os componentes da placa:

- Os componentes a tracejado não se encontram presentes na placa, sendo necessário efectuar a sua ligação, quando necessário, externamente a esta;
- Os dois Multímetros de bancada (Fluke 45 ou Kethley) são utilizados como os amperímetros ilustrados na placa da Figura 1. Os dois Multímetros portáteis adicionais servem para medições ocasionais de tensões e resistências;
- A fonte Leybold +/- 15 V vai ser utilizada para V_{DD} ;
- A fonte Topward 6032D, que possui duas saídas 30V/2A, vai ser utilizada como a fonte do circuito de potência, V_d . De forma a permitir obter uma corrente superior a 2 A (no máximo até 4 A), as duas saídas vão ser ligadas em paralelo. Siga as seguintes instruções:
 - i. **Fonte em vazio e desligada.** Ajuste a corrente e tensão da saídas *MASTER SLAVE* para o mínimo (sentido contrário aos ponteiros do relógio);
 - ii. Coloque os interruptores de *TRACKING MODE* no painel frontal para *PAR*. Nesta situação o – da saída *MASTER* está internamente curto-circuitado com o – da saída *SLAVE*, assim como + da saída *MASTER* está curto-circuitado com o + da saída *SLAVE*. Os terminais de saída são o + da saída *MASTER* e o – da saída *MASTER* (ou o – da saída *SLAVE*);
 - iii. Ligue a fonte no interruptor de potência;
 - iv. Ajuste a corrente e tensão da saída *SLAVE* para o máximo (no sentido dos ponteiros do relógio);

- v. A tensão e corrente de saída são ajustados para o valor requerido na montagem através dos reguladores da saída *MASTER*. Repita o procedimento cada vez que ligar a fonte.
- O Reóstato 0-20 Ω /5A deve possuir a resistência máxima quando se liga a fonte de potência. O seu valor será depois ajustado para que a corrente na carga nunca possua um valor médio superior a 2.5 A;
 - Na Figura 1, estão representados diversos shunts de 0.1 Ω . Estes shunts servem para visualizar, de forma indirecta, as correntes correspondentes. No entanto, caso as pontas de prova de corrente estejam disponíveis, estes shunts não são necessários.

Em todos os ensaios a tensão de alimentação V_d e/ou resistência de carga 0-20 Ω devem ser ajustadas para que em condução plena o valor médio da corrente i_o nunca ultrapasse 2.5 A. Por simplicidade, utilize um ciclo de trabalho de 0.5.

- 1) Coloque o reóstato com a resistência máxima. Regule V_d para 50 V;
- 2) Ajuste o reóstato para que o valor médio da corrente de carga seja cerca de 0,6 A;
- 3) Visualize a característica $v_{XY} = f(v_{GY})$, Figura I(a). Obtenha o valor da tensão limiar de entrada em condução ($v_{GY(th)}$), $v_{GY(th)} = \quad$ V;
- 4) Faça variar a corrente de carga (através do reóstato). Verifique as alterações em relação a 3) para diversos valores da corrente (0,6 a 0,7 A), Figura I(b);
- 5) Faça variar a tensão de entrada (0 a 50 V). Verifique as alterações em relação a 3) para diversos valores da corrente (0,6 a 0,7 A). Comente nas Figuras I(a) e I(b);
- 6) Ajuste novamente o reóstato para que o valor médio da corrente de carga seja cerca de 0,6 A e a tensão de entrada para 50 V. Visualize a característica $i_Y = f(v_{GY})$, Figura II(a);
- 7) Faça variar a corrente de carga (através do reóstato) e a tensão de alimentação para obter diferentes características. Comente na Figura II(b);
- 8) Ajuste novamente o reóstato para que o valor médio da corrente de carga seja cerca de 0,6 A e a tensão de entrada para 50 V. Tente registrar na Figura III(a) a característica $i_Y = f(v_{XY})$;
- 9) Faça variar a corrente de carga (através do reóstato) e a tensão de alimentação para obter diferentes características. Comente na Figura III(b).
- 10) Já possui alguma informação acerca do dispositivo MOS em teste. Que “conhecimento” dispõe do semiconductor? (Anote no Anexo n.º3)

4.2. Observação das curvas de tensão de gate

Efectue as ligações necessárias para obter o circuito apresentado na Figura 3. Usando o Gerador de Funções, aplique na entrada um sinal rectangular, v_i , de 0 a 12 V de amplitude (sinal sem valores negativos) e frequência de 10 kHz. Coloque o reóstato com a resistência máxima e regule V_d para 30 V.

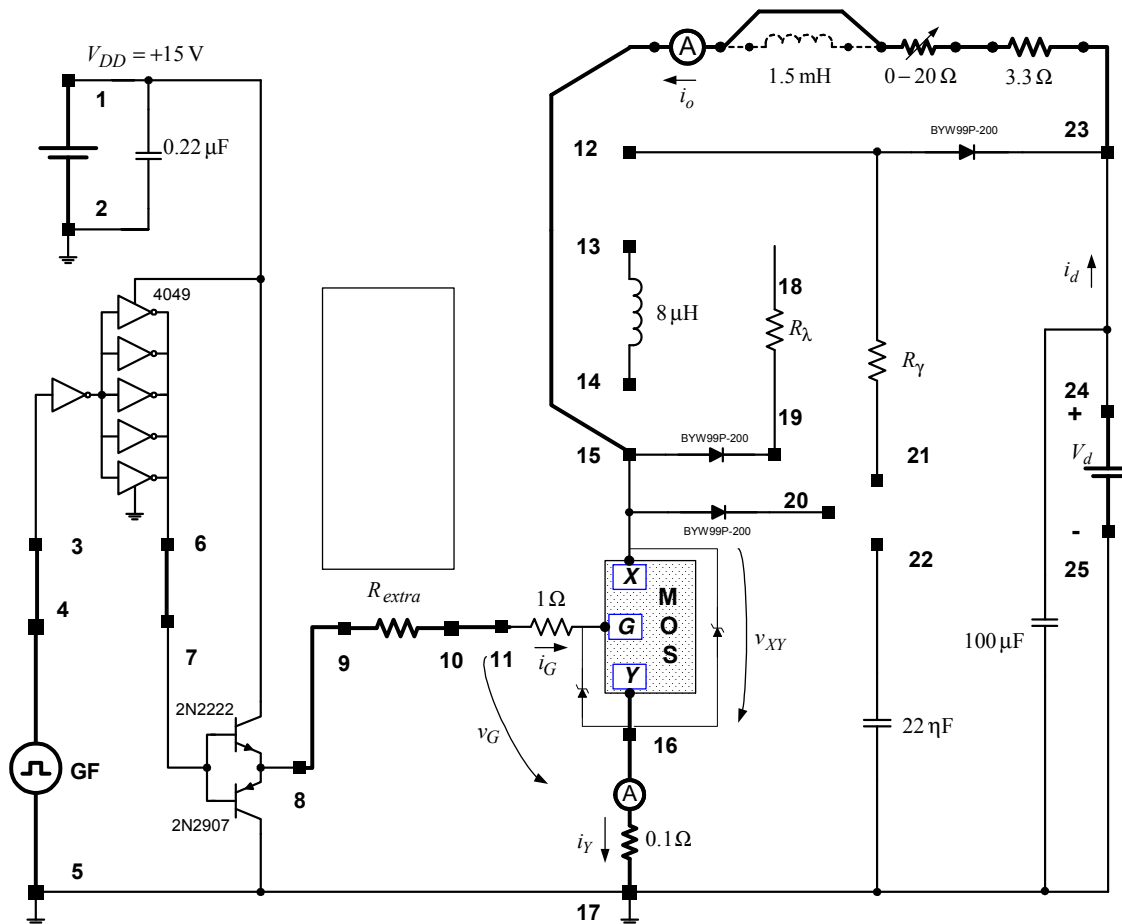


Figura 3 - Circuito para a observação das formas de onda de v_{XY} , i_Y , i_O e i_G . As ligações a efectuar e os componentes externos encontram-se realçados.

- 11) Utilize $R_{extra} = 1\Omega$. Ajuste o reóstato de carga para que o valor médio da corrente de carga seja cerca de **1 A**. Obtenha as formas de onda do sinal do gerador de funções (v_{GFun}), de v_{GY} , v_{XY} , i_Y e i_O , Figura IV(a) e IV(b);
- 12) Repita 11) para $R_{extra} = 100\Omega$, Figura V(a) e V(b);
- 13) Repita 11) para $R_{extra} = 470\Omega$, Figura VI(a) e VI(b);
- 14) Repita 11) para $R_{extra} = 1k\Omega$, Figura VII(a) e VII(b);
- 15) Comente as curvas e valores obtidos;

4.3. Circuitos de ajuda à comutação

Efectue as ligações necessárias para obter o circuito apresentado na Figura 4. Usando o Gerador de Funções, **aplique na entrada um sinal rectangular, v_i , de 0 a 12 V de amplitude (sinal sem valores negativos)** e frequência de 10 kHz. Coloque o reóstato com a resistência máxima e **regule V_d para 50 V**.

- 16) Utilize $R_{extra} = 33\Omega$. Ajuste o reóstato de carga para que o valor médio da corrente de carga seja cerca de 1,5 A;
- 17) Obtenha as formas de onda do sinal do gerador de funções (v_{GFun}), de v_{GY} , v_{XY} , i_O e i_Y , Figura VIII;
- 18) Obtenha a forma de onda da tensão em C_γ (22 nF), da corrente em C_γ , da corrente em R_γ , Figura IX(a), da corrente em L_λ (8 μ H), e da corrente em R_λ , Figura IX(b);
- 19) Utilizando uma escala s/div. conveniente, visualize os processos de entrada ao corte e entrada à condução do MOS, Figura X(a) e X(b). Registe os tempos de comutação na Tabela I;

- 27) Utilize $R_{extra} = 1\Omega$. Ajuste o reóstato de carga para que o valor médio da corrente de carga seja cerca de **0,6 A**. Obtenha as formas de onda de v_{GY} , v_{XY} , i_G e i_Y , (Figura XIV(a). Utilizando uma escala s/div conveniente, visualize os processos de entrada ao corte e entrada à condução do MOS, Figura XIV(b) e XIV (c). Registre os tempos de comutação, Tabela II;
- 28) Repita 27) com $R_{extra} = 1\text{ k}\Omega$, Figura XV e Tabela II);
- 29) Compare, do ponto de vista de velocidade de comutação, as três situações testadas e comente os resultados;
- 30) Neste momento, provavelmente, possui já um vasto conjunto de dados que lhe permitem identificar o tipo de componente MOS. Identifique-o, justificando devidamente.

Nota: Deverá entregar, um exemplar por grupo, o anexo do enunciado, devidamente preenchido.

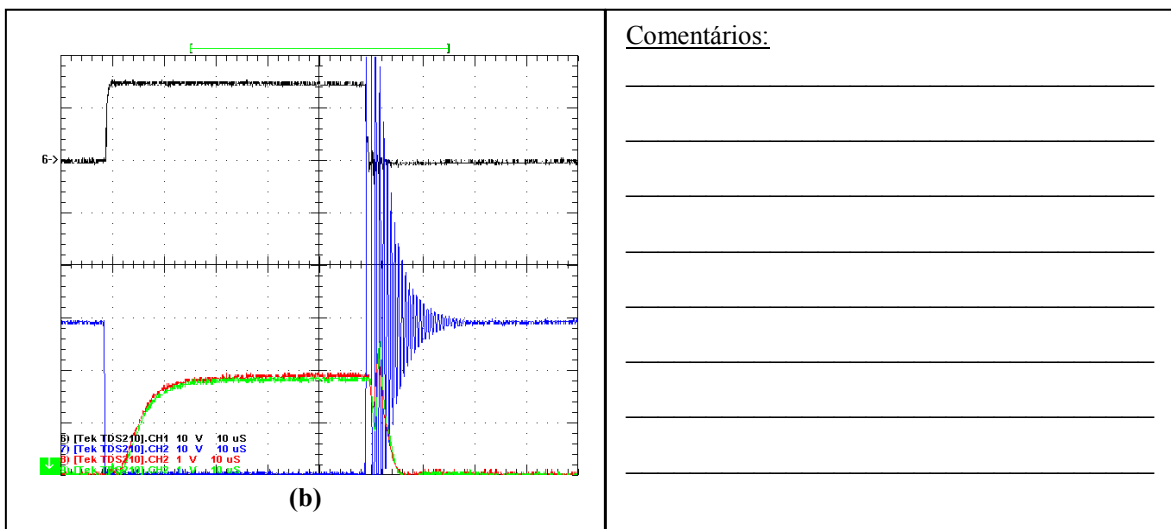
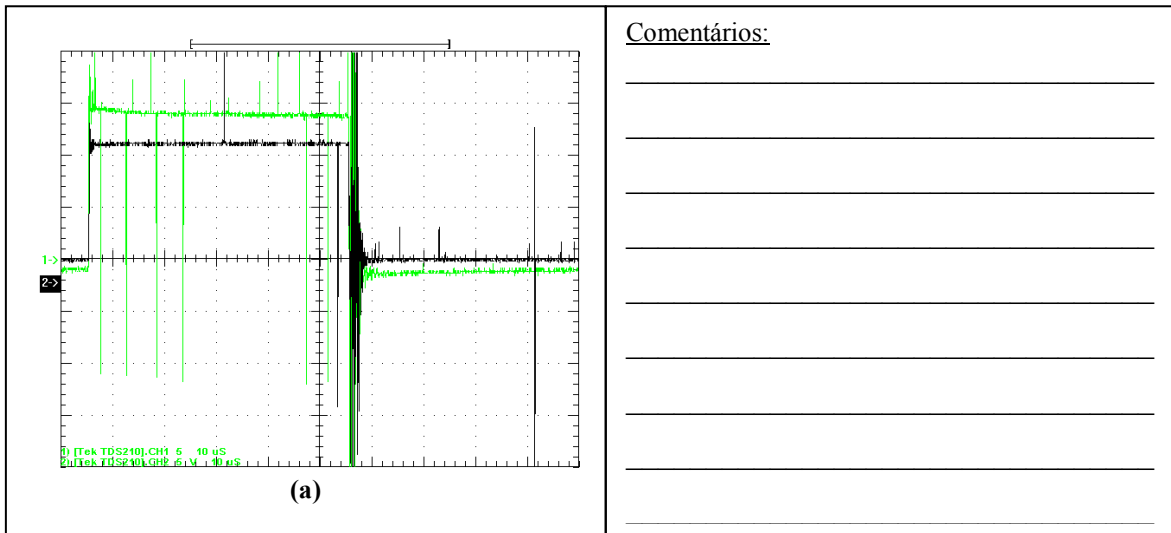
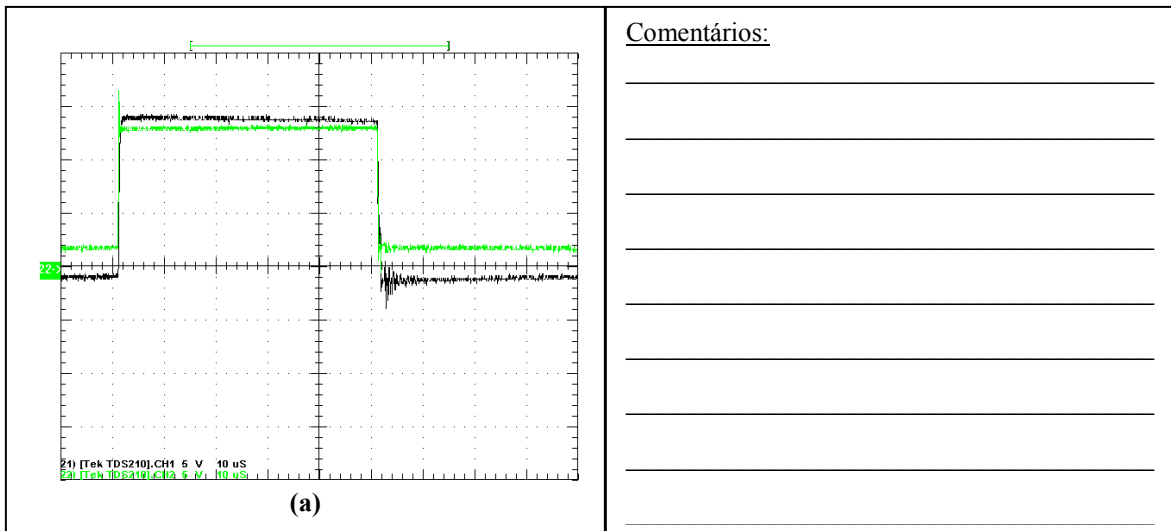
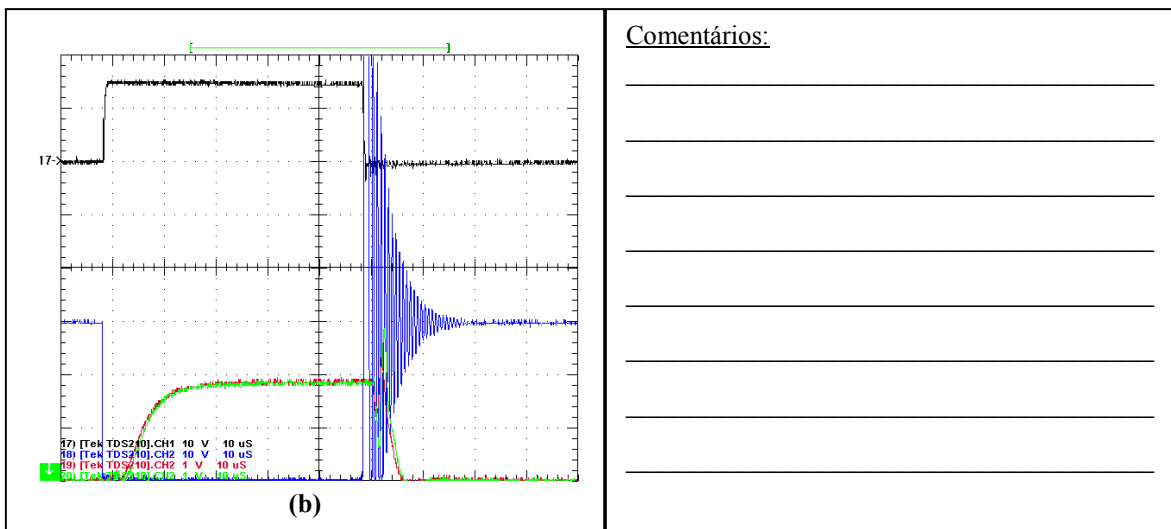


Figura IV – Evolução temporal de v_{GFun} , v_{GY} , v_{XY} , i_Y e i_O para diversos valores de $R_{extra} = 1 \Omega$.

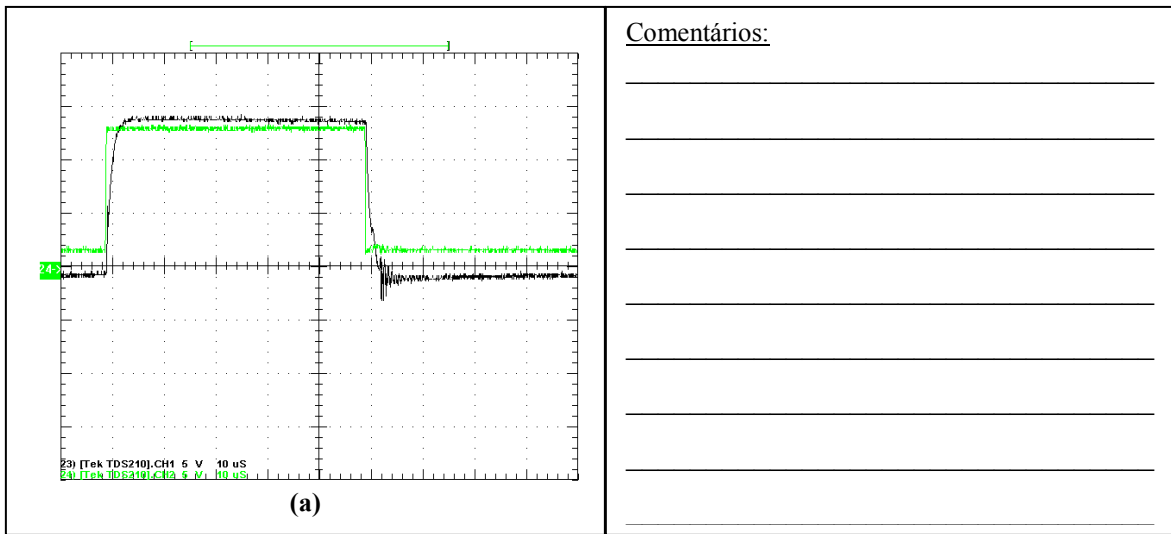


Comentários:

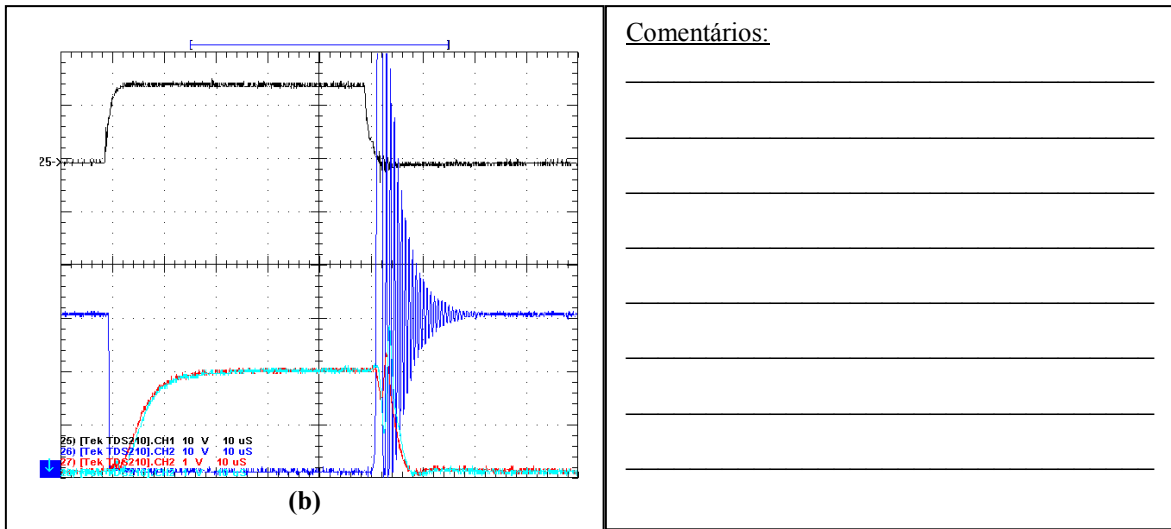


Comentários:

Figura V – Evolução temporal de v_{GFun} , v_{GY} , v_{XY} , i_Y e i_O para diversos valores de $R_{extra} = 100 \Omega$.

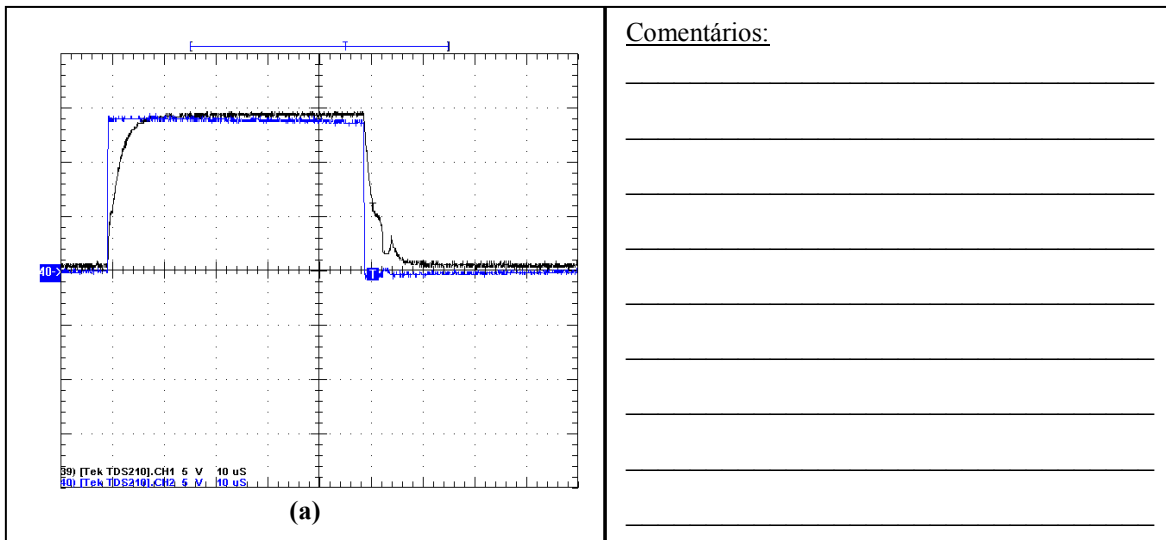


Comentários:

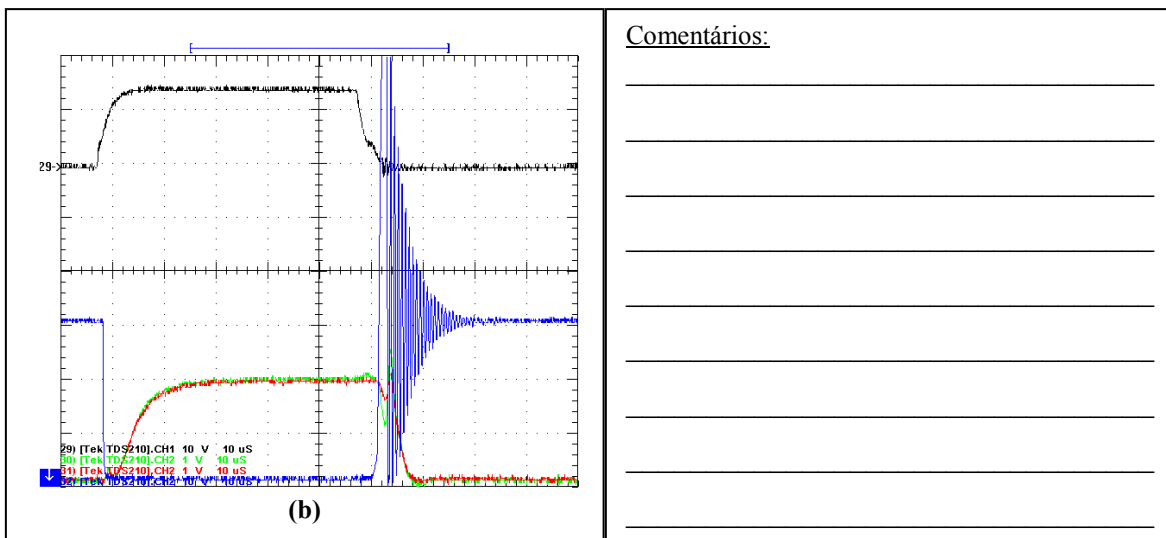


Comentários:

Figura VI – Evolução temporal de v_{GFun} , v_{GYS} , v_{XYS} , i_Y e i_O para diversos valores de $R_{extra} = 470 \Omega$.

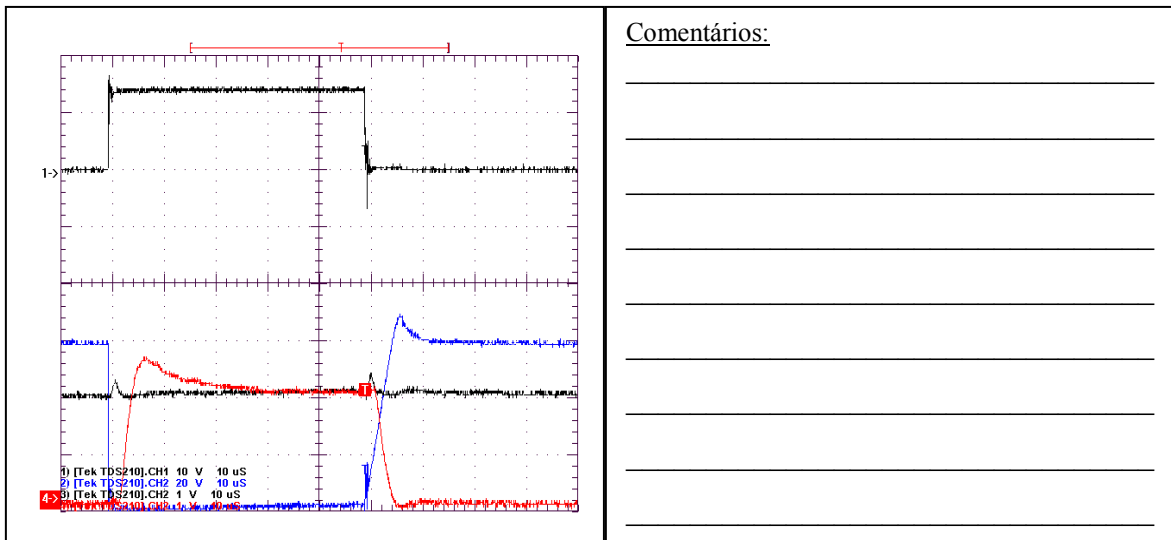


Comentários:



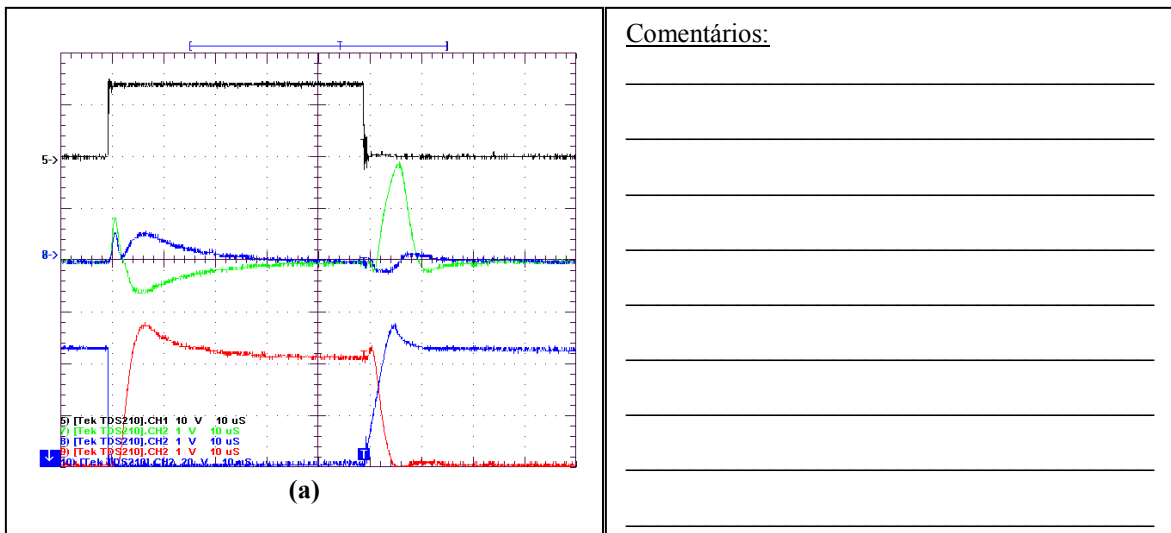
Comentários:

Figura VII – Evolução temporal de v_{GFun} , v_{Gy} , v_{Xy} , i_y e i_o para diversos valores de $R_{extra} = 1 \text{ k}\Omega$.



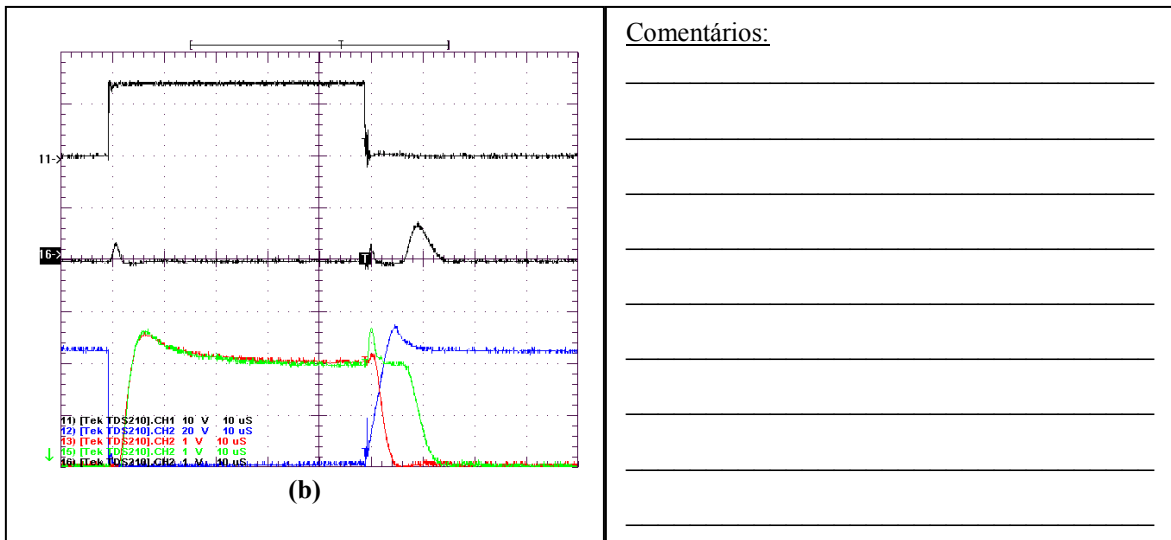
Comentários:

Figura VIII – Evolução temporal de v_{GFun} , v_{GY} , v_{XY} , i_Y e i_O .



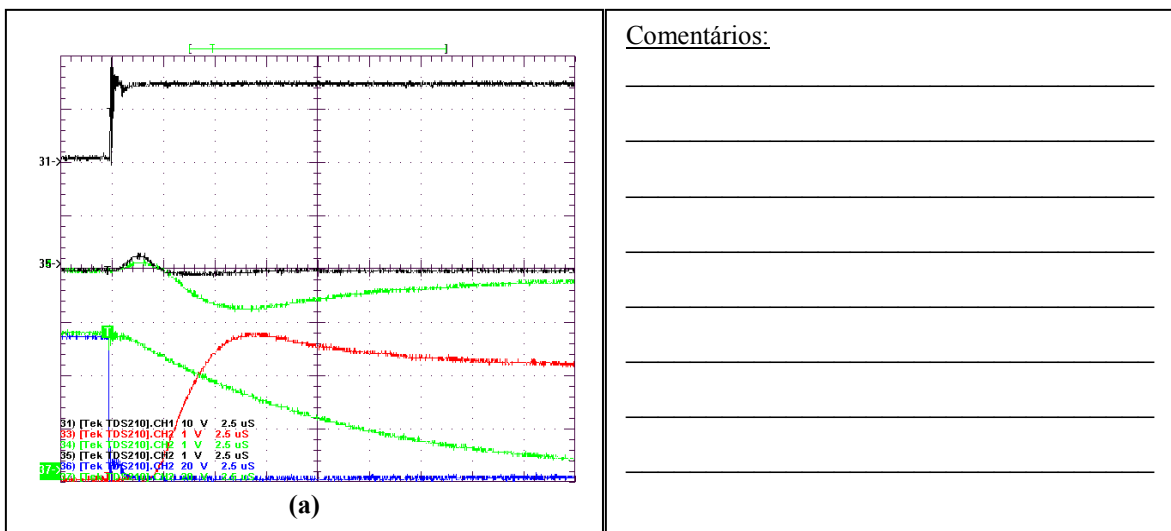
Comentários:

Figura IX(a) – Formas de onda relativas ao turn-off snubber.



Comentários:

Figura IX (b) - Formas de onda relativas ao turn-on snubber.



Comentários:

Figura X(a) – Processo de entrada à condução.

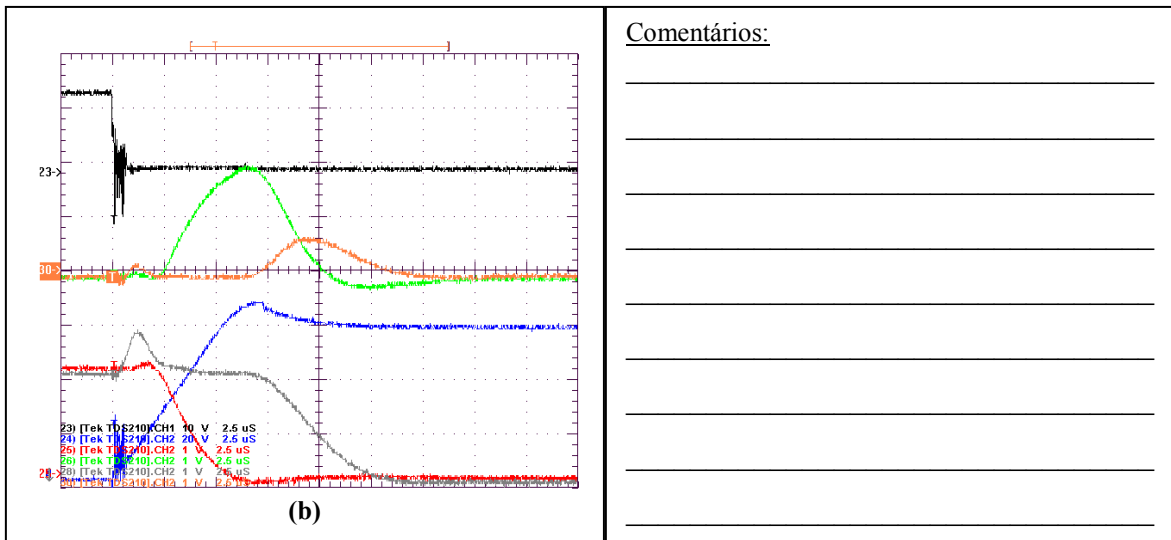


Figura X (b) - Processo de entrada ao corte.

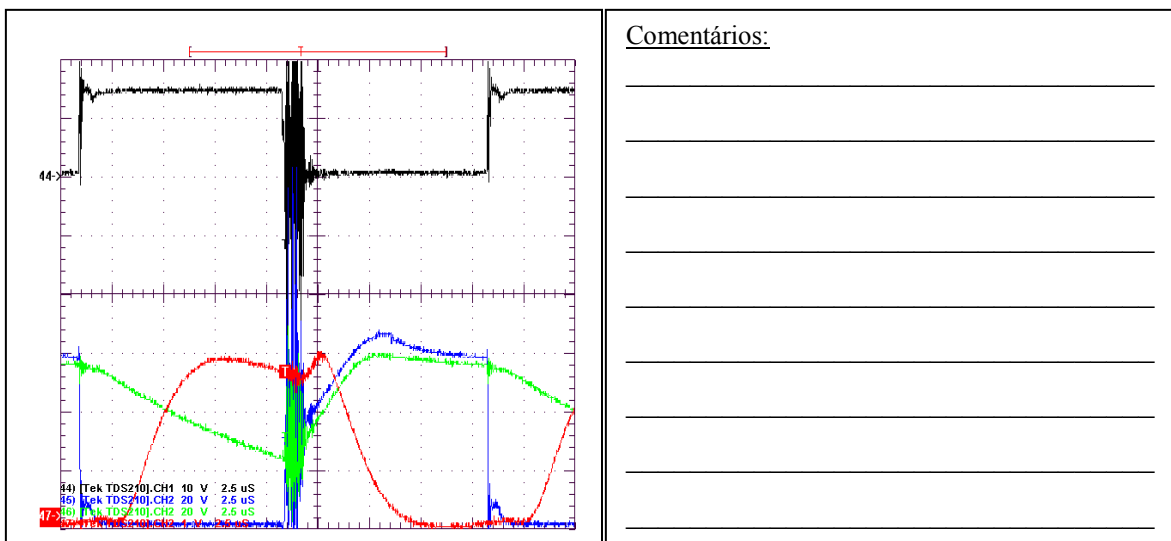
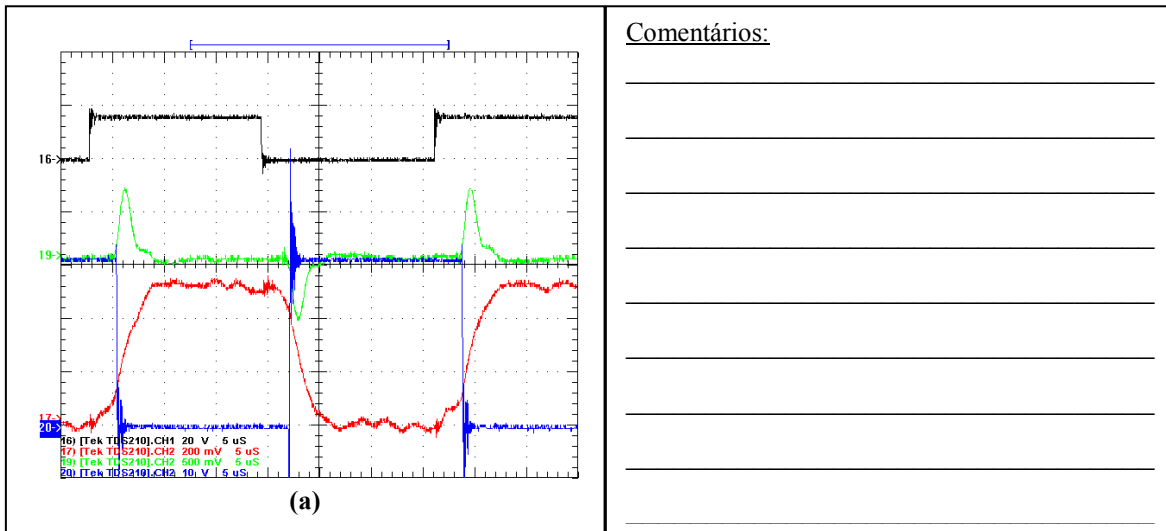
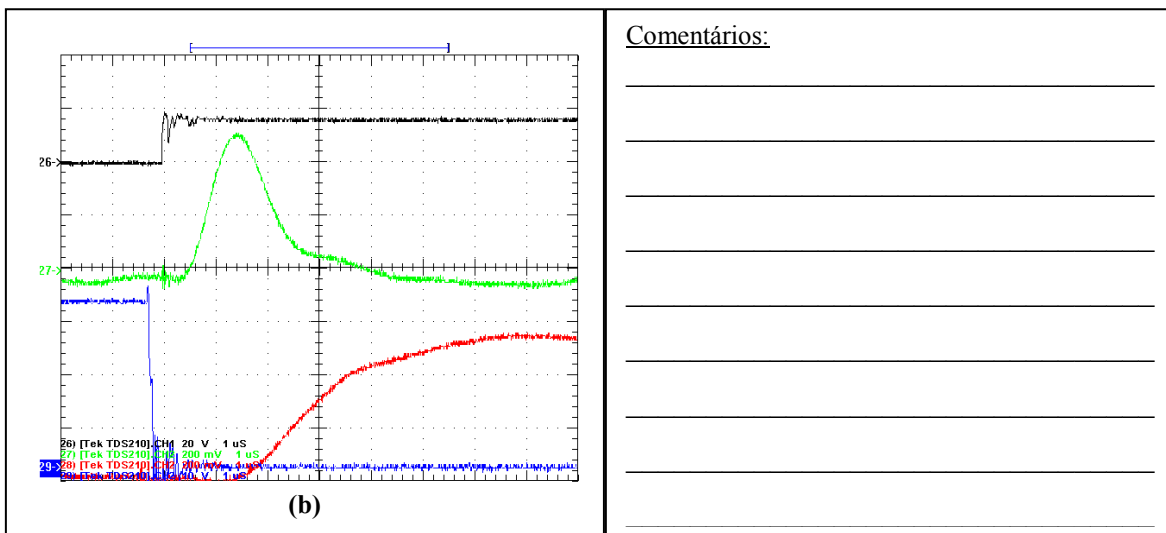


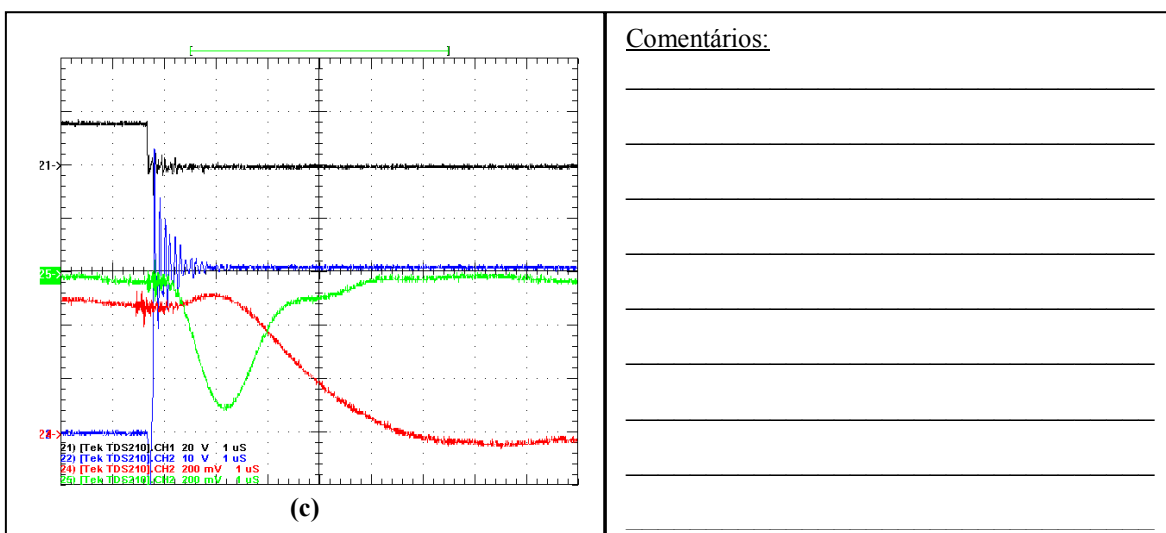
Figura XI – Evolução temporal de v_{Gm} , v_{GY} , v_{XY} , v_{Cp} , i_Y e i_O .



Comentários:



Comentários:



Comentários:

Figura XII – (a) Formas de onda relativas ao ponto 23; (b) processo de entrada à condução; (c) processo de entrada ao corte.

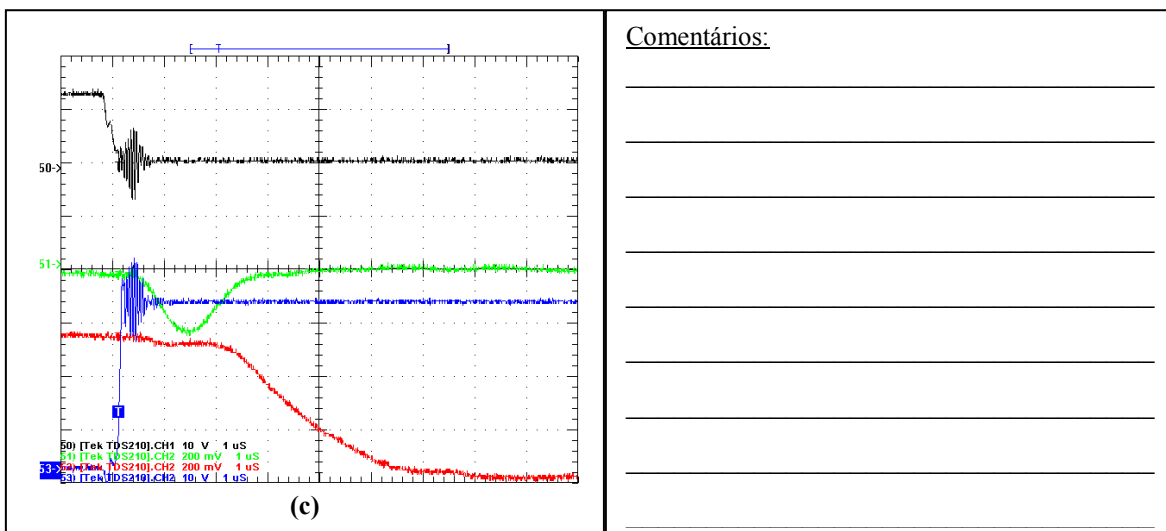
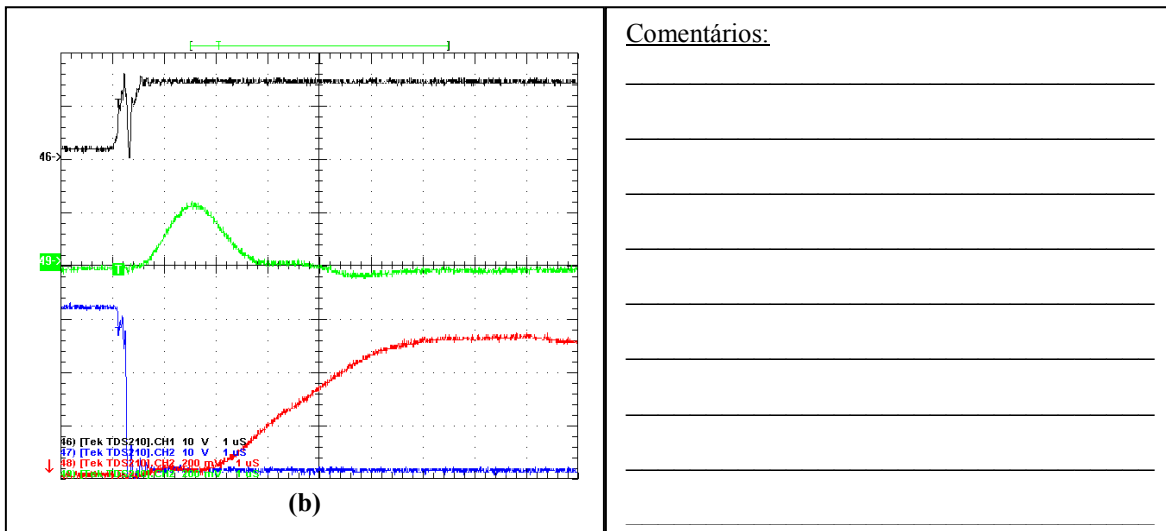
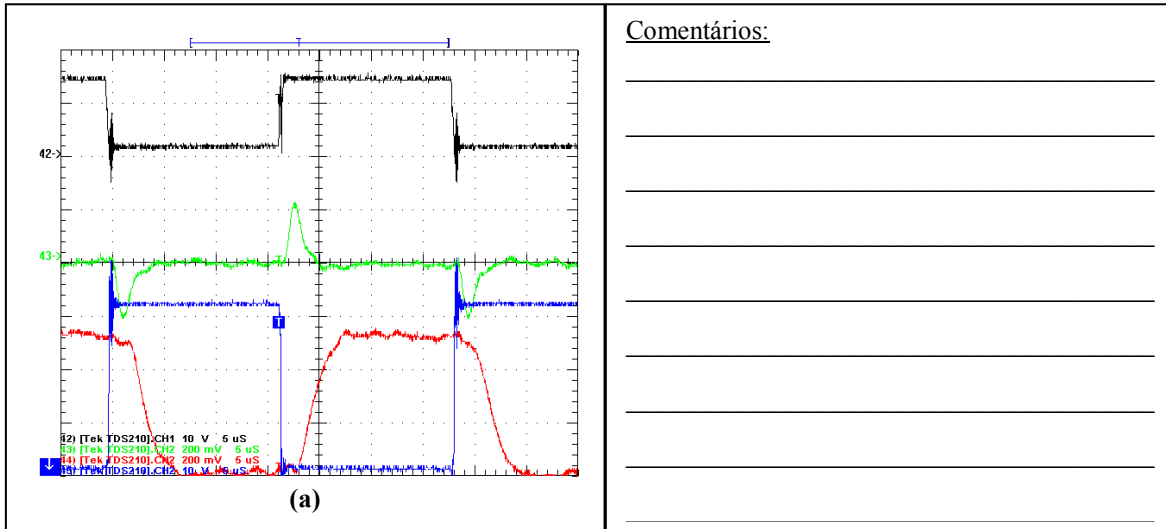


Figura XIV – (a) Formas de onda relativas ao ponto 27; (b) processo de entrada à condução; (c) processo de entrada ao corte.

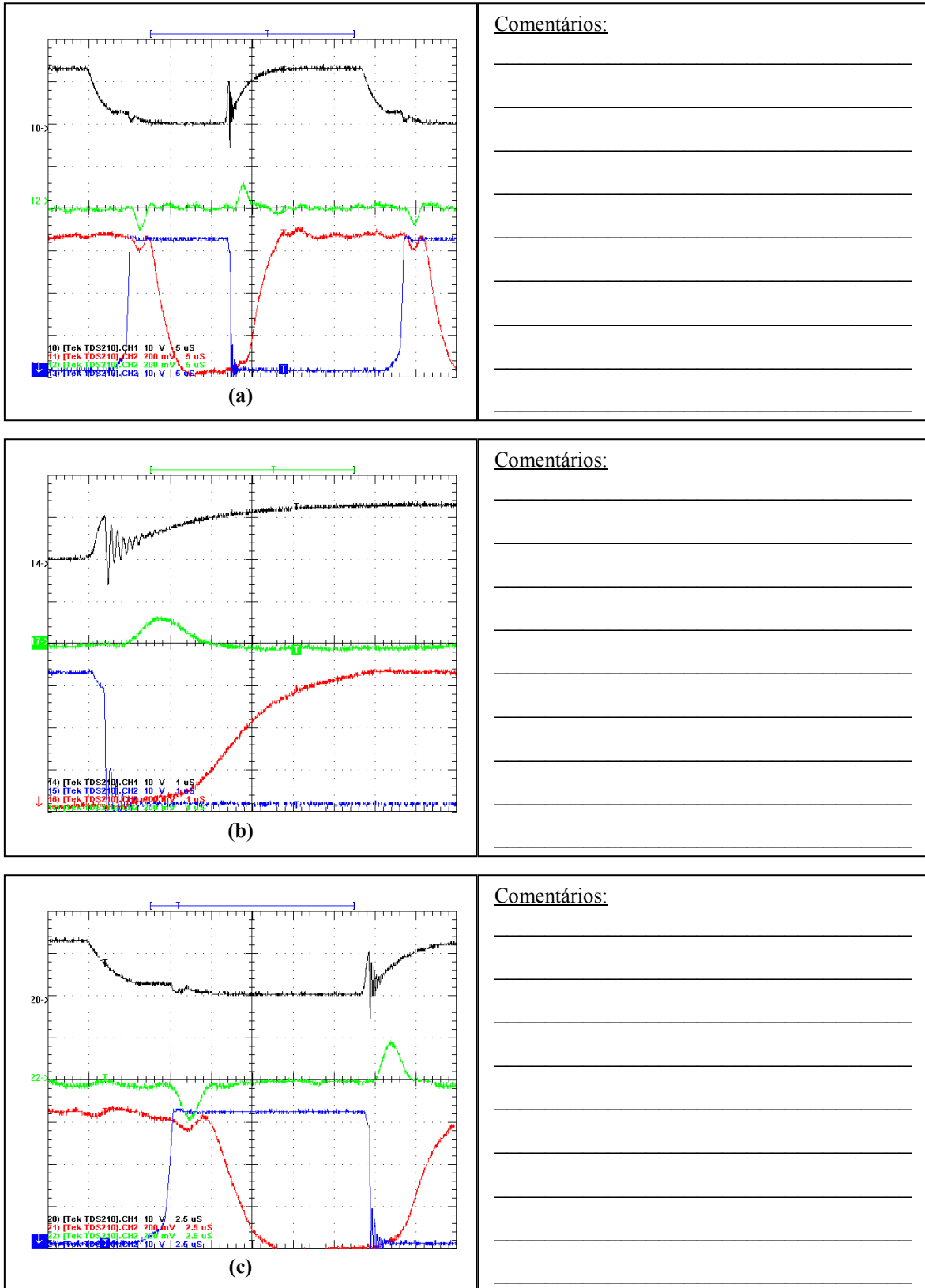


Figura XV – (a) Formas de onda relativas ao ponto 28; (b) processo de entrada à condução; (c) processo de entrada ao corte.

