



VASCO MANUEL FERREIRA MARTINS

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Relatório nos Termos do Despacho n.º
20/2010 para Obtenção do Grau de Mestre
em Engenharia Eletrotécnica e de Computa-
dores, por Licenciados “Pré-Bolonha”

MESTRADO EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

Universidade NOVA de Lisboa

Março, 2024



Relatório nos Termos do Despacho n.º 20/2010 para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, por Licenciados “Pré-Bolonha”

VASCO MANUEL FERREIRA MARTINS

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Doutor Rui Miguel Amaral Lopes
Professor Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

Júri:

Presidente: Professor Doutor Rui Manuel Leitão Tavares
Professor Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

Arguente: Professor Doutor João Francisco Alves Martins
Professor Catedrático, Universidade NOVA de Lisboa

Orientador: Professor Doutor Rui Miguel Amaral Lopes
Professor Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

Relatório nos Termos do Despacho n.º 20/2010 para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, por Licenciados “Pré-Bolonha”

Copyright © Vasco Manuel Ferreira Martins, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a 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.

Este documento foi criado com o processador de texto Microsoft Word e o template NOVAThesis Word [11].

À minha avó, *in memoriam*.

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial ao meu orientador, Professor Doutor Rui Amaral Lopes, pela sua disponibilidade, pela ajuda e pelos conselhos, que foram fundamentais para dar forma a este trabalho.

Agradeço à minha mulher, Teresa e aos meus filhos, Afonso e Carolina, pela compreensão e pela motivação.

Por fim, um agradecimento aos meus pais, Vasco e Maria Albertina, por tudo e em particular, neste caso, por terem sempre acreditado na importância da educação dos filhos.

RESUMO

Este relatório é apresentado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, no âmbito do programa destinado a detentores de grau de Licenciado pré-Processo de Bolonha.

Como tema de desenvolvimento, relacionado com a formação académica e com a experiência profissional do candidato, será dado enfoque à aplicação de motores elétricos de elevada classe de eficiência energética na indústria.

Neste contexto, é examinada a importância da utilização de motores elétricos de elevado rendimento, enquanto medida de eficiência energética com contributo relevante para atingir os objetivos do Acordo de Paris, sendo analisada a evolução das classes de eficiência dos motores elétricos e a aplicação da Diretiva 2009/125/EC e do Regulamento (UE) 2019/1781, estabelecendo requisitos mínimos de eficiência energética para motores elétricos, na União Europeia.

São também identificadas as principais aplicações dos motores elétricos na indústria, o seu potencial de incremento de eficiência energética e são analisados casos concretos de aplicação de motores elétricos de elevada classe de eficiência energética, discorrendo sobre aspetos técnicos da sua utilização e efetuando também uma análise de viabilidade económica da sua implementação.

Em conformidade com os requisitos do programa, é feita ainda uma análise curricular detalhada do percurso do candidato, incluindo a sua formação académica, a experiência profissional, as principais áreas de especialização e os projetos de maior relevância, em que esteve envolvido, ao longo da sua carreira.

Palavras chave: Transição Energética, Eficiência Energética, Sistema de Força Motriz, Motores Elétricos de Elevada Classe de Eficiência.

ABSTRACT

This report is presented to obtain the Master's degree in Electrical and Computer Engineering from the Faculdade de Ciências e Tecnologia of Universidade Nova de Lisboa, as part of the programme for pre-Bologna degree holders.

As a development topic, related to the candidate's academic background and professional experience, the focus will be on the application of energy-efficient electric motors in industry.

In this context, the importance of using high-efficiency electric motors is examined, as an energy efficiency measure with a relevant contribution to achieving the objectives of the Paris Agreement, analysing the evolution of the efficiency classes of electric motors and the application of Directive 2009/125/EC and Regulation (EU) 2019/1781, establishing minimum energy efficiency requirements for electric motors in the European Union.

It also identifies the main applications of electric motors in industry, their potential for increasing energy efficiency and analyses specific cases of the application of electric motors with a high energy efficiency class, discussing the technical aspects of their use and also analysing the economic viability of their implementation.

In accordance with the requirements of the programme, a detailed curriculum analysis of the candidate's background is also carried out, including his academic background, professional experience, main areas of specialisation and the most important projects in which he has been involved throughout his career.

Keywords: Energy Transition, Energy Efficiency, Driving Force System, High-Efficiency Class Electric Motors.

ÍNDICE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | Contexto e motivação | 1 |
| 1.2 | Organização do documento | 5 |
| 2 | A UTILIZAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS DE ELEVADA CLASSE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA | 7 |
| 2.1 | Classes de eficiência dos motores elétricos..... | 8 |
| 2.2 | Disposições da Diretiva 2009/125/EC e do Regulamento (UE) 2019/1781 – Os MEPS na União Europeia..... | 14 |
| 2.3 | Motores elétricos e acionamentos motorizados – Aplicações típicas na indústria e oportunidades para incremento da eficiência energética | 17 |
| 2.3.1 | Bombas | 22 |
| 2.3.2 | Ventiladores | 23 |
| 2.3.3 | Compressores..... | 25 |
| 2.3.4 | Outras oportunidades de poupança energética | 26 |
| 2.4 | Casos práticos de aplicação de motores elétricos de elevada eficiência na indústria... | 30 |
| 2.4.1 | Análises de viabilidade..... | 35 |
| 2.4.2 | Análises de sensibilidade | 46 |
| 2.5 | Conclusões..... | 50 |
| 3 | DESCRIÇÃO DETALHADA DO <i>CURRICULUM VITAE</i> | 53 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.1 | Formação académica..... | 53 |
| 3.2 | Outros cursos de formação..... | 54 |
| 3.3 | Experiência profissional..... | 54 |
| 3.3.1 | Efacec Energia, Máquinas e Equipamentos Eléctricos, S.A..... | 55 |
| 3.3.2 | Unión Fenosa Comercial – Sucursal em Portugal..... | 57 |
| 3.3.3 | Dalkia, Energia e Serviços, S.A. – Grupo Veolia Environnement e Grupo EDF.... | 59 |
| 3.3.4 | Stanley Security Portugal, Lda. – Stanley Black & Decker Corporation..... | 60 |
| 3.3.5 | Schneider Electric Portugal, Lda..... | 61 |
| 3.3.6 | Efacec Power Solutions, SGPS, S.A..... | 63 |
| 3.3.7 | Harker Solutions, S.A. | 64 |
| 3.4 | Outras atividades profissionais..... | 66 |
| 4 | BIBLIOGRAFIA..... | 67 |
| 5 | ANEXOS..... | 71 |
| | Anexo I - Fichas técnicas dos novos motores - Secção 2.4 - Caso 1..... | 72 |
| I.1 | Motor Leroy Somer 110 kW - Classe IE5..... | 72 |
| I.2 | Motor Leroy Somer 220 kW - Classe IE5..... | 76 |
| | Anexo II - Fichas técnicas dos novos motores - Secção 2.4 - Caso 2..... | 80 |
| II.1 | Motor Techtop 30 kW - Classe IE4..... | 80 |
| II.2 | Motor Leroy Somer 30 kW - Classe IE5..... | 81 |
| | Anexo III - Fichas técnicas dos novos motores - Secção 2.4 - Caso 3..... | 85 |
| III.1 | Motor Techtop 11 kW - Classe IE4..... | 85 |
| III.2 | Motor Leroy Somer 11 kW - Classe IE4..... | 86 |
| | Anexo IV - Formação académica - Certificados..... | 90 |
| IV.1 | Licenciatura "Pré-Bolonha"..... | 90 |
| IV.2 | MBA - <i>Master in Business Administration</i> | 91 |
| IV.3 | PGER - Programa de Gestão de Energias Renováveis..... | 92 |
| | Anexo V - Outros cursos de formação - Certificados..... | 93 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 - Emissões de CO2 nos cenários do World Energy Outlook 2021..... | 4 |
| Figura 1.2 - Aumento médio da temperatura global à superfície, ao longo do tempo, nos cenários do World Energy Outlook 2021 | 4 |
| Figura 2.1 - Projeção sobre o consumo de energia elétrica por motores na indústria, por classe de eficiência..... | 8 |
| Figura 2.2 - Evolução da distribuição dos MIT pelas classes de rendimento CE/CEMEP..... | 9 |
| Figura 2.3 - Curvas <i>standard</i> de rendimento - IEC 60034-30-2 (2016)..... | 13 |
| Figura 2.4 - Classes de eficiência dos motores elétricos a partir de 01.07.2023 - Regulamento (UE) 2019/1781 | 16 |
| Figura 2.5 - Vendas de motores na UE, por classe de eficiência – Dados CEMP-2021..... | 17 |
| Figura 2.6 - Consumo final de eletricidade por setor, a nível mundial, 1974-2019 | 18 |
| Figura 2.7 - Desagregação do consumo global de eletricidade dos motores, por tipo de aplicação | 21 |
| Figura 2.8 - Redução da potência elétrica requerida em sistemas de bombas industriais..... | 23 |
| Figura 2.9 – Caso 1: TIR e VAL - Evolução em função da variação do preço médio da energia elétrica | 48 |
| Figura 2.10 – Caso 2: TIR e VAL - Evolução em função da variação do preço médio da energia elétrica | 49 |
| Figura 2.11 – Caso 3: TIR e VAL - Evolução em função da variação do preço médio da energia elétrica | 50 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 2.1 - Limites mínimos de rendimento a 50 Hz - Classes IE1 a IE4 - IEC 60034-30-1:2014 | 11 |
| Tabela 2.2 - Classes de eficiência, de acordo com IEC TS 60034-30-2 | 12 |
| Tabela 2.3 - Âmbito de aplicação das normas IEC 60034-30-1 e IEC 60034-30-2 | 13 |
| Tabela 2.4 - Consumo final de eletricidade por setor, a nível mundial em 2019..... | 18 |
| Tabela 2.5 - Peso relativo (%) do consumo de eletricidade de acionamentos motorizados, por segmento industrial..... | 20 |
| Tabela 2.6 - Percentagem de motores em que é economicamente viável utilizar VSD, por segmento e por tipo de aplicação | 22 |
| Tabela 2.7: Origem de perdas - sistemas de ar comprimido..... | 25 |
| Tabela 2.8 – Taxas de atualização utilizadas no sistema PRIMES, para investimentos relacionados com energia, por empresas não energéticas de diversos setores..... | 34 |
| Tabela 2.9 – Caso 1: Condições de exploração | 38 |
| Tabela 2.10 – Caso 1: Motor 1, características técnicas do motor existente e do novo motor proposto | 38 |
| Tabela 2.11 – Caso 1: Motor 2, características técnicas do motor existente e do novo motor proposto | 39 |
| Tabela 2.12 – Caso 1: Cálculo dos indicadores para análise da viabilidade económica..... | 40 |
| Tabela 2.13 – Caso 2: Condições de exploração..... | 41 |
| Tabela 2.14 – Caso 2: Características técnicas do motor existente e dos novos motores propostos | 41 |
| Tabela 2.15 – Caso 2: Cálculo dos indicadores para análise da viabilidade económica..... | 43 |
| Tabela 2.16 – Caso 3: Condições de exploração..... | 44 |

| | |
|---|----|
| Tabela 2.17 – Caso 3: Características técnicas do motor existente e dos novos motores propostos | 44 |
| Tabela 2.18 – Caso 3: Cálculo dos indicadores para análise da viabilidade económica..... | 46 |

ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|--|
| APS | Cenário compromissos anunciados (do inglês, <i>Announced Pledges Scenario</i>) |
| AT | Alta Tensão |
| BT | Baixa Tensão |
| BTE | Baixa Tensão Especial |
| CE | Comissão Europeia |
| CEMEP | Associação Europeia de Fabricantes de Motores Elétricos |
| CRM | <i>Customer Relationship Management</i> |
| EEM | Motores energeticamente eficientes (do inglês, <i>Energy-Efficient Motors</i>) |
| EMDS | Sistema acionado por motor elétrico (do inglês, <i>Electric Motor-Driven System</i>) |
| IE | <i>International Efficiency</i> |
| IEA | Agência Internacional de Energia (do inglês, <i>International Energy Agency</i>) |
| IEC | Comissão Eletrotécnica Internacional (do inglês, <i>International Electrotechnical Commission</i>) |
| MEPS | Requisitos mínimos de eficiência energética (do inglês, <i>Minimum Energy Performance Standards</i>) |
| MIT | Motores de indução trifásicos |
| MT | Média Tensão |
| NDC | Contributos nacionalmente determinados (do inglês, <i>Nationally Determined Contributions</i>) |
| NZE | Cenário conducente a uma situação de neutralidade carbónica global até 2050 (do inglês, <i>Net-Zero Emissions by 2050 Scenario</i>) |
| OEM | Fabricante de máquinas (do inglês, <i>Original Equipment Manufacturer</i>) |

| | |
|-----------------|---|
| PMSM | Motor síncrono de ímanes permanentes (do inglês, <i>Permanent Magnet Synchronous Motor</i>) |
| PMASynRM | Motor síncrono de relutância e ímanes permanentes (do inglês, <i>Permanent Magnet Assisted Synchronous Reluctance Motor</i>) |
| PRIMES | <i>Price-Induced Market Equilibrium System</i> |
| PWM | <i>Pulse Width Modulation</i> |
| SDS | Cenário de desenvolvimento sustentável (do inglês, <i>Sustainable Development Scenario</i>) |
| SENV | Sistema Elétrico Não Vinculado |
| SF ₆ | Hexafluoreto de Enxofre |
| STEPS | Cenário das políticas declaradas (do inglês, <i>Stated Policies Scenario</i>) |
| SynRM | Motor síncrono de relutância (do inglês, <i>Synchronous Reluctance Motor</i>) |
| UE | União Europeia |
| UNFCCC | Convenção-quadro das Nações Unidas sobre alterações climáticas (do inglês, <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>) |
| VSD | Variador de velocidade (do inglês, <i>Variable Speed Drive</i>) |

INTRODUÇÃO

Este relatório é apresentado no âmbito do programa “Para ser Mestre”, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, destinado à obtenção do grau de Mestre, por titulares de graus de Licenciatura “pré-Bolonha”. O presente capítulo disponibiliza, na sua primeira secção, o contexto e a motivação para o trabalho desenvolvido no âmbito do referido programa. Adicionalmente, este capítulo introdutório descreve também, na sua segunda secção, a estrutura do presente relatório.

1.1 Contexto e motivação

O candidato concluiu a licenciatura pré-Bolonha (curso de 5 anos letivos de duração), em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Ramo de Energia e Sistemas, em 1994, no Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, tendo realizado, como trabalho final de curso, o estudo da integração da cascata hipossíncrona em redes de baixa potência de curto-circuito, aplicado à construção de uma central de aproveitamento da energia das ondas, na Ilha do Pico, Açores.

Posteriormente, em 2003, o candidato concluiu o MBA – *Master in Business Administration*, na Faculdade de Ciências Económicas e Empresariais da Universidade Católica Portuguesa.

Em 2007, frequentou e concluiu o PGER – Programa de Gestão de Energias Renováveis, também na Faculdade de Ciências Económicas e Empresariais da Universidade Católica Portuguesa.

O percurso profissional do candidato, desde 1994, tem sido fundamentalmente desenvolvido no domínio dos sistemas de energia, em áreas como:

- o Dimensionamento e fornecimento de equipamentos para as redes de distribuição e transporte de energia elétrica: transformadores de potência e de distribuição, quadros elétricos de Baixa Tensão (BT), quadros elétricos de Média Tensão (MT) – extraíveis ou modulares, utilizando tecnologias de corte no vácuo ou em hexafluoreto de enxofre (SF₆) -, seccionadores e disjuntores de Alta Tensão (AT) e subestações móveis;
- o Fornecimento de energia elétrica no âmbito do sistema elétrico não vinculado (SENV), em MT e Baixa Tensão Especial (BTE);
- o Integração de soluções de aproveitamento de energias renováveis para produção de energia elétrica: energia fotovoltaica, soluções fotovoltaicas com tecnologia de concentração da radiação, valorização energética de resíduos sólidos urbanos, aproveitamento energético de biomassa florestal e de biogás;
- o Desenvolvimento de soluções eficientes para produção de energia elétrica e térmica: centrais de cogeração e trigeração;
- o Implementação de soluções de eficiência energética: integração de variação de velocidade, utilização de motores elétricos de elevado rendimento, *software* de monitorização e gestão de energia.

As temáticas relacionadas com o aproveitamento de fontes renováveis de energia e com o desenvolvimento de soluções de eficiência energética, têm sido preponderantes na atividade do candidato, em particular no que respeita à sua aplicação no tecido industrial.

Estes são também os domínios que têm despertado o seu maior interesse pessoal e profissional, desafiando-o a um esforço de permanente atualização, para conhecer e para se manter a par dos mais recentes desenvolvimentos tecnológicos e das tendências de mercado e também da evolução das respetivas regulamentações - que, nestas áreas, têm estado em contínua evolução -, de forma a poder propor e desenvolver as melhores soluções, mais adequadas às necessidades dos utilizadores, recorrendo às melhores tecnologias disponíveis.

A emergência climática, levando ao desenvolvimento de uma consciencialização ambiental cada vez mais generalizada na sociedade, e também a necessidade de otimização de processos, redução de custos e de ineficiências, que tornem as empresas mais aptas a competir, num mercado cada vez mais globalizado, têm conferido uma enorme relevância e atualidade aos temas da eficiência energética e da utilização de energias renováveis.

O Acordo de Paris, celebrado em 2015, reconheceu a necessidade de uma resposta eficaz e progressiva à ameaça urgente que constituem as alterações climáticas, com base nos melhores conhecimentos científicos disponíveis e estabeleceu, entre outros, como objetivo,

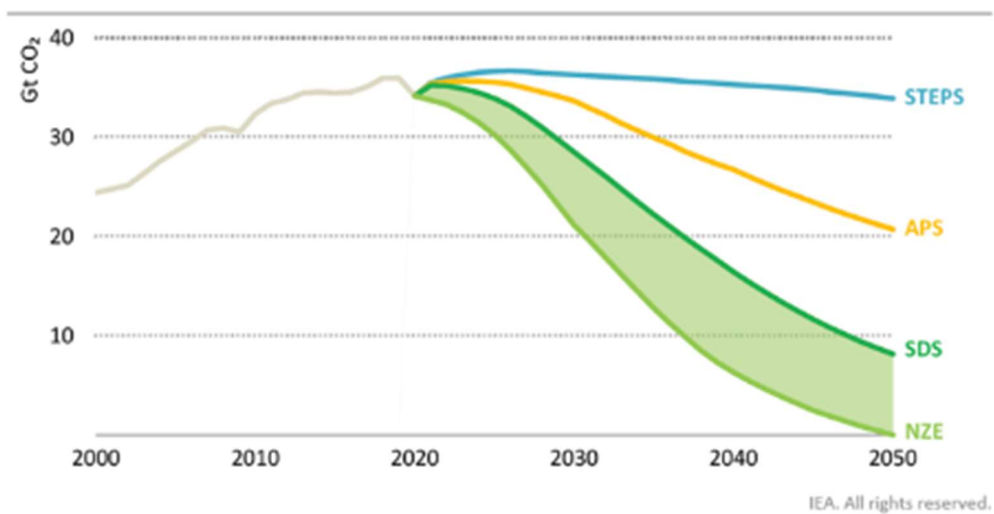
“manter o aumento da temperatura média mundial bem abaixo dos 2 °C em relação aos níveis pré-industriais e prosseguir os esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais, reconhecendo que tal reduziria significativamente os riscos e o impacto das alterações climáticas” (UN, 2015).

Este Acordo estabelece ainda o compromisso, por parte dos países signatários, de desenvolver e comunicar esforços ambiciosos, como contributos nacionalmente determinados (NDC), para a luta contra as alterações climáticas, sendo incentivados a alcançar progressivamente as metas de limitação ou redução das emissões para o conjunto da economia, tendo em conta as diferentes circunstâncias nacionais.

Neste contexto, a Agência Internacional de Energia (IEA), conduziu um estudo abrangente e construiu um cenário conducente a uma situação de neutralidade carbónica global até 2050 – *Net-Zero Emissions by 2050 Scenario* (NZE) -, consistente com a limitação do aumento da temperatura média mundial até 1,5 graus Celsius (°C), em 2050 (IEA, 2021a).

Na Figura 1.1, representa-se a evolução prevista das emissões de CO₂, até 2050, no cenário NZE, bem como em cenários alternativos também analisados pela IEA (IEA, 2021a), (IEA, 2021b), nomeadamente:

- o O cenário APS (*Announced Pledges Scenario*), tem em conta todos os compromissos climáticos assumidos pelos governos de todo o mundo, incluindo os NDC, bem como objetivos de longo prazo de emissões líquidas nulas e assume que estes serão cumpridos na íntegra e atempadamente;
- o O cenário SDS (*Sustainable Development Scenario*), corresponde a uma trajetória "bem abaixo dos 2 °C" e representa uma abordagem inicial para alcançar os resultados visados pelo Acordo de Paris. O SDS pressupõe que todos os “Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas”, relacionados com a energia, sejam cumpridos, que todos os atuais compromissos de emissões líquidas nulas sejam alcançados e que sejam envidados esforços acrescidos para obter reduções de emissões a curto prazo; considera que as economias avançadas atingirão emissões líquidas nulas até 2050, a China por volta de 2060 e todos os outros países até 2070, o mais tardar;
- o O cenário STEPS (*Stated Policies Scenario*), não parte do princípio de que os governos alcançarão todos os objetivos anunciados. Em vez disso, o STEPS explora o caminho que o sistema energético poderá seguir, sem a implementação de políticas adicionais.

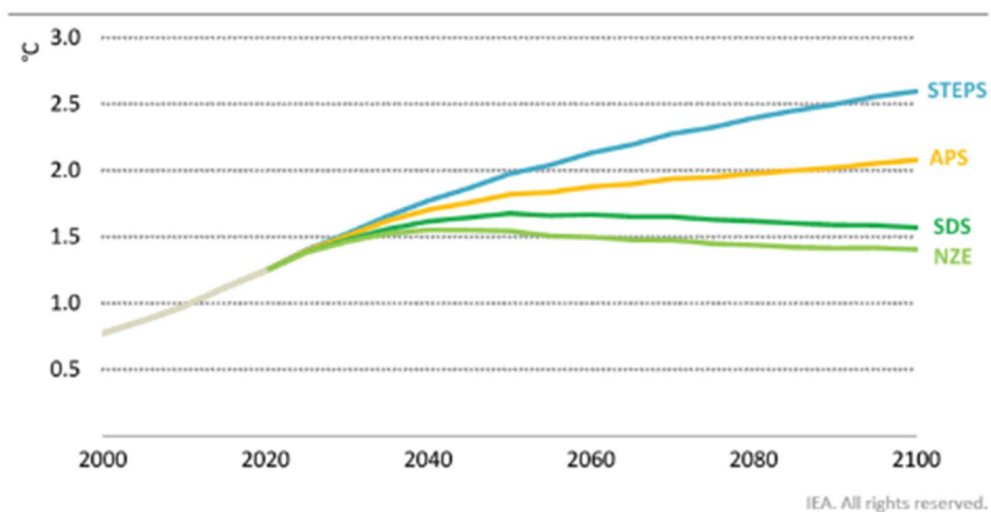


The APS pushes emissions down, but not until after 2030; the SDS goes further and faster to be aligned with the Paris Agreement; the NZE delivers net zero emissions by 2050

Note: APS = Announced Pledges Scenario; SDS = Sustainable Development Scenario; NZE = Net Zero Emissions by 2050 Scenario.

Figura 1.1 - Emissões de CO2 nos cenários do World Energy Outlook 2021, obtido de (IEA, 2021b)

Na Figura 1.2 representa-se o aumento médio da temperatura global à superfície ao longo do tempo, nos diversos cenários analisados pela IEA, anteriormente definidos.



The temperature rise is 2.6 °C in the STEPS and 2.1 °C in the APS in 2100 and continues to increase. It peaks at 1.7 °C in the SDS and 1.5 °C in the NZE around 2050 and then declines

Figura 1.2 - Aumento médio da temperatura global à superfície, ao longo do tempo, nos cenários do World Energy Outlook 2021, obtido de (IEA, 2021b)

Em (IEA, 2023b), fez-se uma avaliação dos progressos registados no domínio da redução das emissões de gases com efeitos de estufa, concluindo que a trajetória para alcançar a neutralidade carbónica está agora mais estreita, em comparação com a situação registada quando da primeira publicação do cenário NZE, mas é ainda exequível.

As principais ações necessárias para fazer descer a curva das emissões de CO₂ de forma muito mais acentuada até 2030, estão maduras, foram experimentadas e testadas e, na maioria dos casos, apresentam elevada viabilidade económica. Mais de 80% das reduções adicionais de emissões necessárias em 2030, no Cenário NZE, provêm de fontes bem conhecidas, que se elencam de seguida (IEA, 2023b):

- o Reforço da introdução das energias renováveis;
- o Melhoria da eficiência energética;
- o Aumento da eletrificação;
- o Redução das emissões de metano.

No domínio da melhoria da eficiência energética, uma das medidas de maior impacto diz respeito à utilização de motores elétricos energeticamente mais eficientes, tendo em conta que os motores elétricos e os sistemas que são por estes estes acionados (EMDS – *Electric Motor-Driven System*), constituem a maior utilização final de eletricidade, representando mais do dobro da segunda maior utilização final, que é a iluminação (IEA, 2011). Considera-se que os EMDS representam cerca de 53% de todo o consumo mundial de eletricidade. (IEA, 2016).

Assim, associando a atualidade destes temas à experiência e interesses do candidato, o tema de desenvolvimento a abordar neste documento será a utilização de motores elétricos de elevada eficiência, na indústria.

1.2 Organização do documento

O Capítulo 2 deste relatório, centrar-se-á na temática da utilização de motores elétricos de elevada classe de eficiência, na indústria, abordando também a Diretiva 2009/125/EC e a aplicação faseada do Regulamento (EU) 2019/1781, que recentemente incluiu a obrigatoriedade de utilização de motores de classe de eficiência IE4 em determinadas gamas de potências.

Na Secção 2.1 serão abordadas as classes de eficiência aplicáveis aos motores elétricos, fazendo uma resenha das normas relevantes e da sua evolução.

A aplicação da Diretiva 2009/125/EC na União Europeia (UE), também conhecida como a Diretiva ErP (*Energy-related Products*) ou Ecodesign e do recente Regulamento (UE)

2019/1781, estabelecendo os MEPS (*Minimum Energy Performance Standards*) para motores elétricos, serão objeto de análise na Secção 2.2.

Na Secção 2.3 serão apresentadas algumas das aplicações mais usuais dos motores elétricos e dos acionamentos motorizados na indústria, discutindo os seus requisitos específicos e identificando, para cada caso, as principais oportunidades para incremento da eficiência energética.

A Secção 2.4 será dedicada à análise de casos de estudo concretos de utilização de motores elétricos de classe IE4 ou IE5, em acionamentos motorizados, na indústria. Discutir-se-á, em particular, a substituição de motores elétricos existentes, menos eficientes – tipicamente motores DC, ou motores AC menos eficientes, de classe de eficiência IE1, por exemplo -, por motores elétricos energeticamente mais eficientes. Tratam-se de casos reais, em cujo estudo o candidato participou.

Por fim, na Secção 2.5, serão apresentadas as conclusões retiradas da análise efetuada, tanto em termos técnicos como de viabilidade económica dos investimentos em motores elétricos de alto rendimento, no atual "estado da arte". Serão também abordadas as perspectivas para desenvolvimento futuro, do ponto de vista tecnológico e económico.

Em conformidade com os requisitos do programa "Para ser Mestre", no Capítulo 3 será feita uma análise curricular detalhada, realçando a formação académica, a experiência profissional, as principais áreas de especialização e os principais projetos desenvolvidos pelo candidato.

A UTILIZAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS DE ELEVADA CLASSE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA

Os motores elétricos convertem energia elétrica em energia mecânica. A maior parte da eletricidade utilizada por um EMDS é, de longe, a consumida pelo próprio motor elétrico. Apenas uma quantidade relativamente pequena é utilizada para alimentar funções de controle ou outros circuitos auxiliares.

Neste contexto, cerca de 65% da eletricidade consumida na indústria, destina-se a alimentar acionamentos motorizados (IEA, 2023b).

Na Figura 2.1, representam-se projeções da IEA a respeito do consumo de eletricidade por motores elétricos na indústria, por classe de eficiência, até 2040 (IEA, 2016). Segundo as previsões da IEA, o consumo de eletricidade por sistemas acionados por motores elétricos na indústria, continuará a crescer acentuadamente, prevendo-se que passe de 6.360 TWh, em 2016, para 10.850 TWh, em 2040 (IEA, 2017).

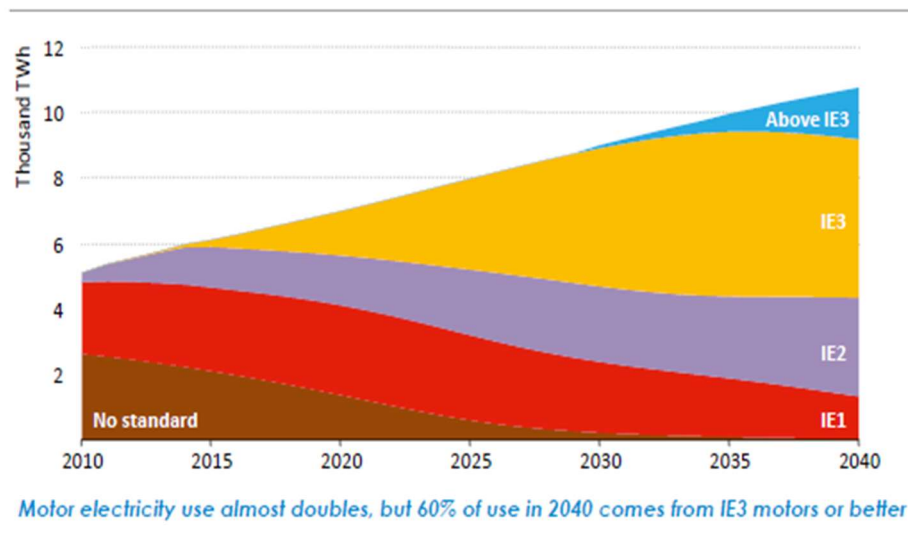


Figura 2.1 - Projeção sobre o consumo de energia elétrica por motores na indústria, por classe de eficiência, obtido de (IEA, 2016)

2.1 Classes de eficiência dos motores elétricos

A melhoria do rendimento dos motores elétricos tem um impacto considerável na redução do consumo de energia, pelo que os principais fabricantes têm-se empenhado no desenvolvimento de motores mais eficientes, com melhores rendimentos.

Nesta secção, descreve-se a evolução das normas relativas à eficiência dos motores elétricos (Melo, 2021), (Carvalho, 2016), presentemente adotadas de forma já muito generalizada.

A Associação Europeia de Fabricantes de Motores Elétricos (CEMEP) estabeleceu um acordo com a Comissão Europeia (CE), em 1999, para classificar os níveis de eficiência de motores de 2 e 4 polos, na gama de potências de 1,1 kW a 90 kW. Assim, os motores elétricos foram classificados em três classes distintas de rendimento, em função do seu desempenho:

- o EFF1 – Motores de alto rendimento;
- o EFF2 – Motores de rendimento aumentado;
- o EFF3 – Motores convencionais.

Neste acordo entre a CE e a CEMEP, ficou ainda estabelecido que as vendas de motores EFF3 – de menor eficiência -, na UE, seriam reduzidas para metade até 2003. Este objetivo foi atingido com sucesso e as vendas de motores de classe EFF3 praticamente terminaram, num prazo relativamente curto.

Verificou-se uma progressiva substituição dos motores da classe de eficiência mais baixa (EFF3), por motores de rendimento aumentado (EFF2). No entanto, apesar de os motores de

classe EFF3 terem sido praticamente eliminados, o fabrico de motores de alto rendimento (EFF1), ficou muito aquém do previsto, conforme se pode constatar na Figura 2.2. Pode considerar-se, portanto, que os objetivos do acordo CE/CEMEP foram apenas parcialmente atingidos.

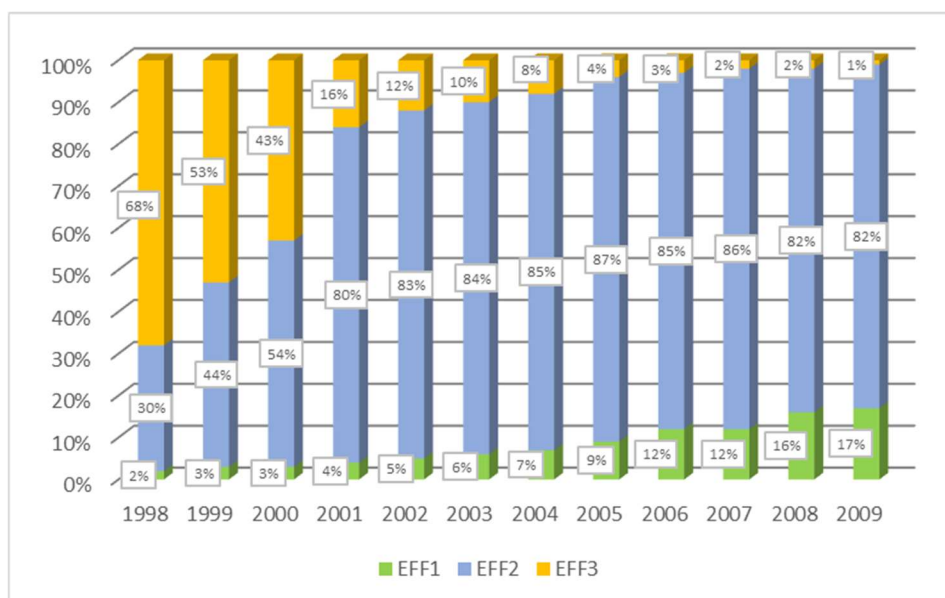


Figura 2.2 - Evolução da distribuição dos MIT pelas classes de rendimento CE/CEMEP, adaptado de (Carvalho, 2016)

A aplicação do acordo CE/CEMEP ficou essencialmente confinada à UE, mas a sua importância advém sobretudo de ter constituído um primeiro passo de aceitação generalizada para uma classificação dos níveis de eficiência dos motores de indução trifásicos (MIT).

A necessidade de uma uniformização, quanto à classificação dos motores elétricos em termos de eficiência energética e também quanto à definição da metodologia para a determinação do seu rendimento, levou a Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC), a desenvolver um conjunto de normas, de forma a disponibilizar um enquadramento comum, que permitisse definir as classes de rendimento destes equipamentos e os métodos a utilizar para a sua determinação.

Procurando atingir este objetivo, a norma IEC 60034-30 (*Rotating Electrical machines – Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE-code)*), foi publicada em 2008, definindo três classes de eficiência IE (*International Efficiency*) para motores de indução trifásicos, com rotor em gaiola de esquilo e velocidade simples:

- o IE1 - Eficiência *Standard* | Correspondente à classe EFF2 do acordo CE/CEMEP;
- o IE2 - Eficiência Elevada | Correspondente à classe EFF1 do acordo CE/CEMEP;

- o IE3 - Eficiência *Premium* | Correspondente ao NEMA *Premium*, nos Estados Unidos da América, para motores a 60Hz.

Adicionalmente, é referida a classe IE4, com um nível de eficiência superior ao da classe IE3, embora ainda não definida, por se encontrar em fase de preparação.

Os níveis de eficiência estabelecidos, baseiam-se nos métodos de ensaio especificados na norma IEC 60034-2-1:2007.

Esta norma abrange praticamente todos os tipos de motores - inclui motores padrão, motores para ambientes perigosos, motores para embarcações e marinas, motores usados como freio, incluindo motores:

- o Trifásicos, de velocidade simples, de 50 e 60 Hz;
- o De 2, 4 ou 6 polos;
- o Com potências nominais entre 0,7 kW e 375 kW;
- o Com tensão nominal até 1000 V;
- o Com fator de serviço S1 (funcionamento contínuo) ou S3 (funcionamento intermitente ou periódico), com fator de duração cíclica nominal $\geq 80\%$.

Em 2014 foi publicada a norma IEC 60034-30-1 (*Rotating Electrical Machines – Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE-code)*), que substituiu a norma IEC 60034-30, abrangendo motores:

- o De uma velocidade (monofásicos e trifásicos);
- o De 50Hz e 60Hz, de 2, 4, 6 e 8 polos, numa gama de potências nominais entre 0,12 kW e 1000 kW;
- o Para tensão nominal entre 50 V e 1000 V;
- o Com fator de serviço S1;
- o Aplicável a motores dimensionados para alimentação direta da rede (não limitada a motores de indução).

Os limites da classe IE4 – Eficiência Super *Premium*, são definidos na norma IEC 60034-30-1, que deixa ainda em aberto uma nova classe de eficiência, a classe IE5 – Eficiência Ultra-*Premium*, a definir futuramente.

Os rendimentos considerados na norma IEC 60034-30-1, são calculados com base na 2ª edição da norma IEC 60034-2-1:2014.

Na Tabela 2.1 apresentam-se os limites mínimos de rendimento a 50 Hz, para as classes de eficiência IE1 a IE4, conforme o disposto na norma IEC 60034-30-1:2014.

Tabela 2.1— Limites mínimos de rendimento a 50 Hz - Classes IE1 a IE4 - IEC 60034-30-1:2014

| Output kW | IE1 | | | | IE2 | | | | IE3 | | | | IE4 | | | |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 2 pole | 4 pole | 6 pole | 8 pole | 2 pole | 4 pole | 6 pole | 8 pole | 2 pole | 4 pole | 6 pole | 8 pole | 2 pole | 4 pole | 6 pole | 8 pole |
| 0.12 | 45.0 | 50.0 | 38.3 | 31.0 | 53.6 | 59.1 | 50.6 | 39.8 | 60.8 | 64.8 | 57.7 | 50.7 | 66.5 | 69.8 | 64.9 | 62.3 |
| 0.18 | 52.8 | 57.0 | 45.5 | 38.0 | 60.4 | 64.7 | 56.6 | 45.9 | 65.9 | 69.9 | 63.9 | 58.7 | 70.8 | 74.7 | 70.1 | 67.2 |
| 0.20 | 54.6 | 58.5 | 47.6 | 39.7 | 61.9 | 65.9 | 58.2 | 47.4 | 67.2 | 71.1 | 65.4 | 60.6 | 71.9 | 75.8 | 71.4 | 68.4 |
| 0.25 | 58.2 | 61.5 | 52.1 | 43.4 | 64.8 | 68.5 | 61.6 | 50.6 | 69.7 | 73.5 | 68.6 | 64.1 | 74.3 | 77.9 | 74.1 | 70.8 |
| 0.37 | 63.9 | 66.0 | 59.7 | 49.7 | 69.5 | 72.7 | 67.6 | 56.1 | 73.8 | 77.3 | 73.5 | 69.3 | 78.1 | 81.1 | 78.0 | 74.3 |
| 0.40 | 64.9 | 66.8 | 61.1 | 50.9 | 70.4 | 73.5 | 68.8 | 57.2 | 74.6 | 78.0 | 74.4 | 70.1 | 78.9 | 81.7 | 78.7 | 74.9 |
| 0.55 | 69.0 | 70.0 | 65.8 | 56.1 | 74.1 | 77.1 | 73.1 | 61.7 | 77.8 | 80.8 | 77.2 | 73.0 | 81.5 | 83.9 | 80.9 | 77.0 |
| 0.75 | 72.1 | 72.1 | 70.0 | 61.2 | 77.4 | 79.6 | 75.9 | 66.2 | 80.7 | 82.5 | 78.9 | 75.0 | 83.5 | 85.7 | 82.7 | 78.4 |
| 1.1 | 75.0 | 75.0 | 72.9 | 66.5 | 79.6 | 81.4 | 78.1 | 70.8 | 82.7 | 84.1 | 81.0 | 77.7 | 85.2 | 87.2 | 84.5 | 80.8 |
| 1.5 | 77.2 | 77.2 | 75.2 | 70.2 | 81.3 | 82.8 | 79.8 | 74.1 | 84.2 | 85.3 | 82.5 | 79.7 | 86.5 | 88.2 | 85.9 | 82.6 |
| 2.2 | 79.7 | 79.7 | 77.7 | 74.2 | 83.2 | 84.3 | 81.8 | 77.6 | 85.9 | 86.7 | 84.3 | 81.9 | 88.0 | 89.5 | 87.4 | 84.5 |
| 3 | 81.5 | 81.5 | 79.7 | 77.0 | 84.6 | 85.5 | 83.3 | 80.0 | 87.1 | 87.7 | 85.6 | 83.5 | 89.1 | 90.4 | 88.6 | 85.9 |
| 4 | 83.1 | 83.1 | 81.4 | 79.2 | 85.8 | 86.6 | 84.6 | 81.9 | 88.1 | 88.6 | 86.8 | 84.8 | 90.0 | 91.1 | 89.5 | 87.1 |
| 5.5 | 84.7 | 84.7 | 93.1 | 81.4 | 87.0 | 87.7 | 86.0 | 83.8 | 89.2 | 89.6 | 88.0 | 86.2 | 90.9 | 91.9 | 90.5 | 88.3 |
| 7.5 | 86.0 | 86.0 | 84.7 | 83.1 | 88.1 | 88.7 | 87.2 | 85.3 | 90.1 | 90.4 | 89.1 | 87.3 | 91.7 | 92.6 | 91.3 | 89.3 |
| 11 | 87.6 | 87.6 | 86.4 | 85.0 | 89.4 | 89.8 | 88.7 | 86.9 | 91.2 | 91.4 | 90.3 | 88.6 | 92.6 | 93.3 | 92.3 | 90.4 |
| 15 | 88.7 | 88.7 | 87.7 | 86.2 | 90.3 | 90.6 | 89.7 | 88.0 | 91.9 | 92.1 | 91.2 | 89.6 | 93.3 | 93.9 | 92.9 | 91.2 |
| 18.5 | 89.3 | 89.3 | 88.6 | 86.9 | 90.9 | 91.2 | 90.4 | 88.6 | 92.4 | 92.6 | 91.7 | 90.1 | 93.7 | 94.2 | 93.4 | 91.7 |
| 22 | 89.9 | 89.9 | 89.2 | 87.4 | 91.3 | 91.6 | 90.9 | 89.1 | 92.7 | 93.0 | 92.2 | 90.6 | 94.0 | 94.5 | 93.7 | 92.1 |
| 30 | 90.7 | 90.7 | 90.2 | 88.3 | 92.0 | 92.3 | 91.7 | 89.8 | 93.3 | 93.6 | 92.9 | 91.3 | 94.5 | 94.9 | 94.2 | 92.7 |
| 37 | 91.2 | 91.2 | 90.8 | 88.8 | 92.5 | 92.7 | 92.2 | 90.3 | 93.7 | 93.9 | 93.3 | 91.8 | 94.8 | 95.2 | 94.5 | 93.1 |
| 45 | 91.7 | 91.7 | 91.4 | 89.2 | 92.9 | 93.1 | 92.7 | 90.7 | 94.0 | 94.2 | 93.7 | 92.2 | 95.0 | 95.4 | 94.8 | 93.4 |
| 55 | 92.1 | 92.1 | 91.9 | 89.7 | 93.2 | 93.5 | 93.1 | 91.0 | 94.3 | 94.6 | 94.1 | 92.5 | 95.3 | 95.7 | 95.1 | 93.7 |
| 75 | 92.7 | 92.7 | 92.6 | 90.3 | 93.8 | 94.0 | 93.7 | 91.6 | 94.7 | 95.0 | 94.6 | 93.1 | 95.6 | 96.0 | 95.4 | 94.2 |
| 90 | 93.0 | 93.0 | 92.9 | 90.7 | 94.1 | 94.2 | 94.0 | 91.9 | 95.0 | 95.2 | 94.9 | 93.4 | 95.8 | 96.1 | 95.6 | 94.4 |
| 110 | 93.3 | 93.3 | 93.3 | 91.1 | 94.3 | 94.5 | 94.3 | 92.3 | 95.2 | 95.4 | 95.1 | 93.7 | 96.0 | 96.3 | 95.8 | 94.7 |
| 132 | 93.5 | 93.5 | 93.5 | 91.5 | 94.6 | 94.7 | 94.6 | 92.6 | 95.4 | 95.6 | 95.4 | 94.0 | 96.2 | 96.4 | 96.0 | 94.9 |
| 160 | 93.8 | 93.8 | 93.8 | 91.9 | 94.8 | 94.9 | 94.8 | 93.0 | 95.6 | 95.8 | 95.6 | 94.3 | 96.3 | 96.6 | 96.2 | 95.1 |
| 200 | 94.0 | 94.0 | 94.0 | 92.5 | 95.0 | 95.1 | 95.0 | 93.5 | 95.8 | 96.0 | 95.8 | 94.6 | 96.5 | 96.7 | 96.3 | 95.4 |
| 250 | 94.0 | 94.0 | 94.0 | 92.5 | 95.0 | 95.1 | 95.0 | 93.5 | 95.8 | 96.0 | 95.8 | 94.6 | 96.5 | 96.7 | 96.5 | 95.4 |
| 315 | 94.0 | 94.0 | 94.0 | 92.5 | 95.0 | 95.1 | 95.0 | 93.5 | 95.8 | 96.0 | 95.8 | 94.6 | 96.5 | 96.7 | 96.6 | 95.4 |
| 355 | 94.0 | 94.0 | 94.0 | 92.5 | 95.0 | 95.1 | 95.0 | 93.5 | 95.8 | 96.0 | 95.8 | 94.6 | 96.5 | 96.7 | 96.6 | 95.4 |
| 400 | 94.0 | 94.0 | 94.0 | 92.5 | 95.0 | 95.1 | 95.0 | 93.5 | 95.8 | 96.0 | 95.8 | 94.6 | 96.5 | 96.7 | 96.6 | 95.4 |
| 450 | 94.0 | 94.0 | 94.0 | 92.5 | 95.0 | 95.1 | 95.0 | 93.5 | 95.8 | 96.0 | 95.8 | 94.6 | 96.5 | 96.7 | 96.6 | 95.4 |
| 500-1000 | 94.0 | 94.0 | 94.0 | 92.5 | 95.0 | 95.1 | 95.0 | 93.5 | 95.8 | 96.0 | 95.8 | 94.6 | 96.5 | 96.7 | 96.6 | 95.4 |

Em 2016 é publicada a 1ª edição da especificação técnica IEC TS 60034-30-2 (*Rotating Electrical Machines – Part 30-2 Efficiency classes of variable speed AC motors (IE-code)*), que abrange motores:

- o De todos os tipos, na gama de potências nominais de 0,12 kW a 1000 kW, não alimentados através da rede - excluindo algumas categorias como, por exemplo, servomotores;
- o Com tensão nominal entre 50 V e 1000 V;
- o Com fator de serviço S1;
- o Com velocidade nominal entre 600 rpm e 6000 rpm

Nesta norma, o rendimento é considerado para 90% da velocidade nominal com binário nominal e, na determinação do rendimento, são incluídas as perdas devidas a distorção harmónica.

Na especificação técnica IEC TS 60034-30-2 (IEC, 2016), são definidas cinco classes distintas de eficiência para os motores elétricos, de IE1 a IE5, conforme indicado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Classes de eficiência, de acordo com IEC TS 60034-30-2, adaptado de (IEC, 2016)

| Classe | Designação |
|--------|---------------------------------|
| IE1 | Eficiência <i>Standard</i> |
| IE2 | Eficiência Elevada |
| IE3 | Eficiência <i>Premium</i> |
| IE4 | Eficiência <i>Super Premium</i> |
| IE5 | Eficiência <i>Ultra-Premium</i> |

Os rendimentos são determinados conforme definido na especificação técnica IEC TS 60034-2-3, datada de 2013. Na Figura 2.3 representam-se as curvas standard de rendimento, definidas na IEC 60034-30-2 (IEC, 2016), para as cinco classes de eficiência (IE1 a IE5).

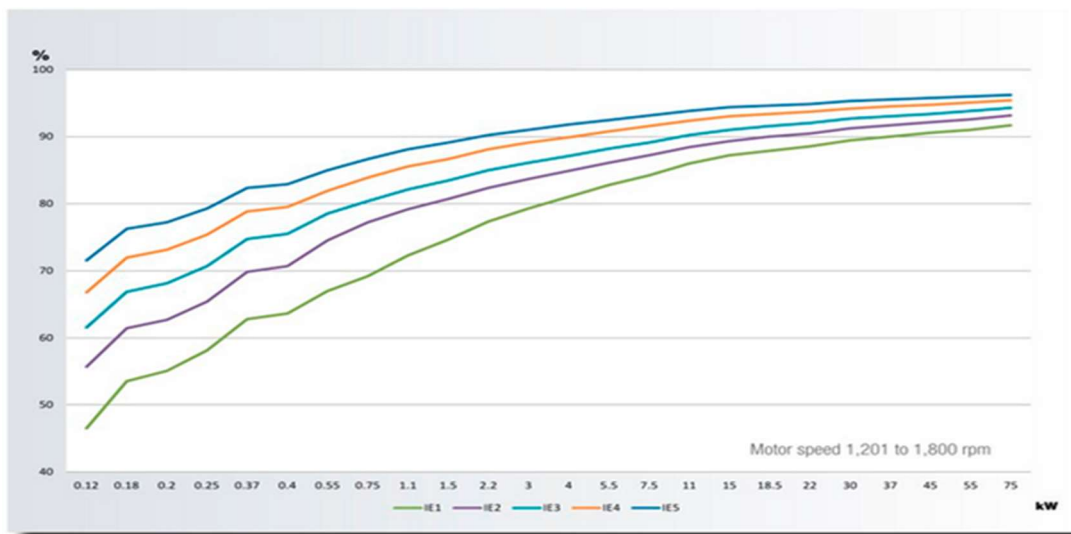


Figura 2.3 - Curvas *standard* de rendimento - IEC 60034-30-2 (2016), obtido de (Bauer, 2018)

Tendo em conta o desenvolvimento das tecnologias de fabrico de motores elétricos e a necessidade da sua integração nas normas vigentes, os procedimentos normativos têm de ser dinâmicos e mantêm-se em evolução contínua.

Na Tabela 2.3 apresenta-se o âmbito de aplicação das normas IEC 60034-30-1 e IEC 60034-30-2, realçando diferentes tipos de motores, as respetivas classes de eficiência, o estado de evolução das tecnologias (diferenciando entre tecnologias maduras e tecnologias emergentes), estimando ainda as respetivas quotas de mercado.

Tabela 2.3 - Âmbito de aplicação das normas IEC 60034-30-1 e IEC 60034-30-2, obtido de (Bauer, 2018)

| IEC Standard | Motors which can be operated directly from AC line voltage | | Motors which cannot be operated directly from AC line voltage | |
|-----------------------|--|----------------------|---|------------------------|
| | 60034-30-1 | | 60034-30-2 | Not applicable |
| Supply voltage | Direct from AC line | Provided by inverter | Require inverter | Servo Drives |
| Motor | Standard Asynchronous Motors | | Motors with special windings and PMSM | Servo Motors |
| Eff. Label | IE1, 2, 3, 4 | | IE1, 2, 3, 4, 5 | none |
| Market share | 60 % | 30 % | < 1 % | 10 % |
| | Established technology | | Emergent technology | Established technology |

The new IEC TS 60034-30-2 standard fosters new motor technologies

A definição de novas classes de elevada eficiência energética (classes IE4 e IE5) e de requisitos mínimos de eficiência para os novos motores, associados a uma crescente consciencialização ambiental, lançaram novos e importantes desafios aos fabricantes de motores elétricos.

O crescimento de uma procura orientada para motores com rendimentos mais elevados e a pressão concorrencial, levou os fabricantes a procurar soluções e a desenvolver as suas gamas de produtos, no sentido de nelas incorporarem equipamentos mais eficientes.

Atualmente, a tecnologia dos motores de indução assíncronos, amplamente utilizada na indústria, permitiu atingir a classe IE4. A definição da classe IE5, em particular, conduziu a desenvolvimentos em tecnologias alternativas, tais como os motores síncronos de relutância (SynRM – *Synchronous Reluctance Motor*), os motores síncronos de ímanes permanentes (PMSM – *Permanent Magnet Synchronous Motor*) ou os motores síncronos de relutância e ímanes permanentes (PMASynRM – *Permanent Magnet Assisted Synchronous Reluctance Motor*), que funcionam acoplados a variadores de velocidade (VSD).

Alguns fornecedores ainda têm as suas gamas restringidas à classe IE4, mas os principais fabricantes de motores elétricos já introduziram no mercado as gamas de produtos de classe de eficiência IE5, para funcionamento com VSD, de que são exemplo, entre outros:

- o ABB – com os seus SynRM até classe IE5, tipo M3AL e M3BL;
- o Siemens/Innomotics – com SynRM e PMSM até classe IE5;
- o Leroy Somer/Nidec – com PMASynRM até classe IE5, tipo xLSHRM, da gama Dyneo+.

Alavancados pela dinâmica do mercado, continuarão a registar-se desenvolvimentos neste domínio. Estão, por exemplo, a decorrer estudos para desenvolvimento de soluções envolvendo estas tecnologias, para ligação direta à rede, sem utilização de VSD (De Almeida et al., 2023).

2.2 Disposições da Diretiva 2009/125/EC e do Regulamento (UE) 2019/1781 – Os MEPS na União Europeia

A necessidade de reduzir o consumo de energia e a emissão de gases com efeito estufa, levaram a que diversos países fossem estabelecendo requisitos mínimos de eficiência energética, também conhecidos como MEPS (*Minimum Energy Performance Standards*), para diversos tipos de equipamentos, incluindo os motores elétricos.

A evolução dos MEPS relativos a motores elétricos na UE, tem sido regulada, em particular, pelo estabelecido na Diretiva 2009/125/EC, também conhecida como a Diretiva ErP (*Energy-related Products*) ou Ecodesign, cujos requisitos têm sido objeto de uma implementação faseada, com o objetivo de incentivar a transição para tecnologias mais eficientes e contribuir para metas mais ambiciosas de eficiência energética e sustentabilidade ambiental, proporcionando um período de transição para os fabricantes e o mercado se ajustarem aos novos requisitos de eficiência energética.

O Regulamento (CE) 640/2009, estabeleceu que:

- a) A partir de 16 de junho de 2011, a classe de eficiência dos motores não pode ser inferior a IE2;
- b) A partir de 1 de janeiro de 2015, a eficiência dos motores com potência efetiva entre 7,5 kW e 375 kW não pode ser inferior à classe IE3 (ou classe IE2, desde que equipados com um VSD);
- c) A partir de 1 de janeiro de 2017, a eficiência dos motores com potência efetiva entre 0,75 kW e 375 kW não pode ser inferior à classe IE3 (ou classe IE2, desde que equipados com um VSD).

O Regulamento (UE) 2019/1781, dando execução à Diretiva 2009/125/EC, revoga o Regulamento (CE) 640/2009 e implementa requisitos adicionais para motores elétricos de corrente alternada trifásica de 0,12 kW a 1000 kW, incluindo a introdução da classe de eficiência IE4.

No âmbito da aplicação deste regulamento incluem-se os motores elétricos de indução sem escovas, comutadores, anéis coletores ou ligações elétricas ao rotor, destinados a funcionar a tensão sinusoidal de 50Hz, 60Hz ou 50/60Hz, com:

- o Dois, quatro, seis ou oito polos;
- o Tensão nominal acima de 50 V e inferior ou igual a 1000 V
- o Potência nominal entre 0,12 kW e 1000 kW, inclusive;
- o Classificados com base em condições de funcionamento em contínuo
- o Aptos a funcionar diretamente ligados à rede elétrica;

Entre outros aspetos, o Regulamento (UE) 2019/1781 estabelece que:

- a) A partir de 1 de julho de 2021:
 - i. A eficiência energética dos motores trifásicos com potência nominal igual ou superior a 0,75 kW e igual ou inferior a 1000 kW, com 2, 4, 6 ou 8 polos, excluindo motores de segurança reforçada «Ex eb», deve corresponder, pelo menos, à classe de eficiência IE3;

- ii. A eficiência energética dos motores trifásicos com potência nominal igual ou superior a 0,12 kW e inferior a 0,75 kW, com 2, 4, 6 ou 8 polos, excluindo motores de segurança reforçada «Ex eb», deve corresponder, pelo menos, à classe de eficiência IE2.
- b) A partir de 01 de julho de 2023:
- i. A eficiência energética dos motores de segurança reforçada «Ex eb» com potência nominal igual ou superior a 0,12 kW e igual ou inferior a 1000 kW, com 2, 4, 6 ou 8 polos, e dos motores monofásicos com potência nominal igual ou superior a 0,12 kW deve corresponder, pelo menos, à classe de eficiência IE2;
 - ii. A eficiência energética dos motores trifásicos com potência nominal igual ou superior a 75 kW e igual ou inferior a 200 kW, com 2, 4 ou 6 polos, deve corresponder, pelo menos, à classe de eficiência IE4 (excluindo motores-freio, motores de segurança reforçada «Ex eb» e outros motores à prova de explosão).

Na Figura 2.4 representam-se as classes de eficiência dos motores elétricos, em função da potência nominal e do número de polos, em vigor a partir de 1 de julho de 2023, conforme disposto pelo Regulamento (UE) 2019/1781.

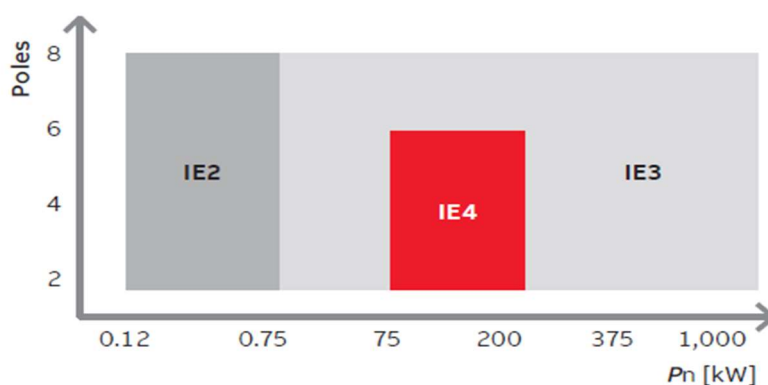


Figura 2.4 - Classes de eficiência dos motores elétricos a partir de 01.07.2023 - Regulamento (UE) 2019/1781, obtido de (ABB, 2022)

As datas aplicáveis aos requisitos indicados, são válidas para novos motores, colocados no mercado pela primeira vez. Os motores de reposição para motores integrados em produtos idênticos, colocados no mercado até 1 de julho de 2022 e que sejam especificamente

comercializados com este propósito, não terão que cumprir os novos requisitos e poderão ser fornecidos de acordo com o Regulamento (EU) 640/2009, até 1 de julho de 2029 (WEG, 2021).

Pode constatar-se que esta regulamentação tem efetivamente transformado o mercado dos motores elétricos, orientando-o para equipamentos mais eficientes.

Como se pode verificar na Figura 2.5, as vendas de motores de classe IE1 e IE2, de baixo rendimento, decaíram acentuadamente e, em 2021, a maioria dos motores vendidos na Europa foram de classe IE3 (69%). É ainda de realçar, que as vendas de motores de classe IE4, de maior eficiência, estão a aumentar (tendo representado cerca de 4% em 2021). No entanto, dado que estes equipamentos têm, tipicamente, uma vida útil longa, o parque instalado de motores elétricos na UE, é ainda muito ineficiente. Estima-se que, em 2020, mais de 70% dos motores instalados na UE continuavam a ser da classe de eficiência IE2 ou inferior e que cerca de 40% tinham mesmo uma eficiência de classe IE1 ou inferior (De Almeida et al., 2023).

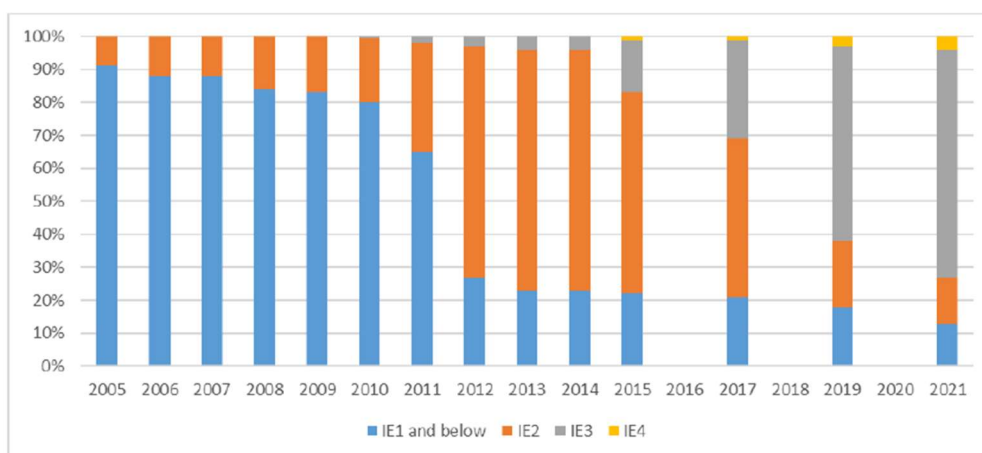


Figura 2.5 - Vendas de motores na UE, por classe de eficiência – Dados CEMP-2021, obtido de (De Almeida et al., 2023)

2.3 Motores elétricos e acionamentos motorizados – Aplicações típicas na indústria e oportunidades para incremento da eficiência energética

De acordo com os dados da IEA, relativos à evolução do consumo mundial de eletricidade entre 1974 e 2019 (Figura 2.6), e à sua desagregação por setor, a indústria tem-se mantido consistentemente como o maior consumidor de energia elétrica, durante todo o período estudado.

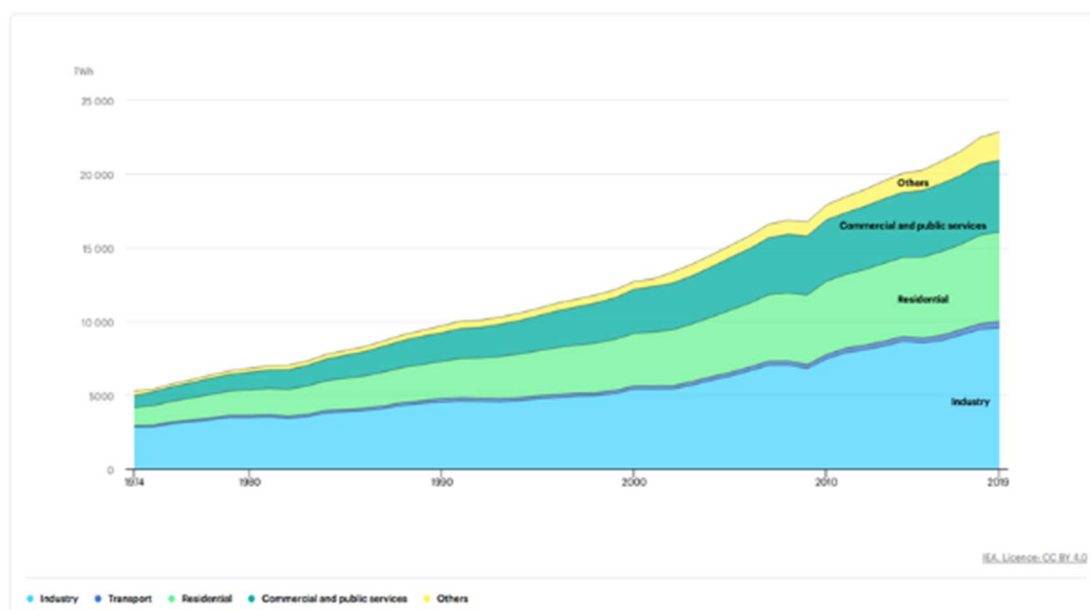


Figura 2.6 - Consumo final de eletricidade por setor, a nível mundial, 1974-2019, obtido de (IEA, 2021c)

Ainda considerando esta análise da IEA por setores, constata-se que, em 2019, o setor industrial foi o que apresentou um maior consumo elétrico a nível mundial, com cerca de 41,9% do consumo total, claramente destacado dos restantes, seguido pelo setor residencial (responsável por 26,6% do total) e pelo setor de comércio e serviços públicos (21,2% do total), conforme se indica na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Consumo final de eletricidade por setor, a nível mundial em 2019, adaptado de (IEA, 2021c)

| Consumo Mundial de Electricidade - Ano 2019 | | |
|---|---------------------|-------------------|
| Sector | Consumo Anual (TWh) | Peso Relativo (%) |
| Indústria | 9 566 | 41,9% |
| Transportes | 420 | 1,8% |
| Residencial | 6 072 | 26,6% |
| Comércio e Serviços Públicos | 4 849 | 21,2% |
| Outros | 1 940 | 8,5% |
| TOTAL: | 22 847 | 100,0% |

A maior parte da energia elétrica utilizada nos países industrializados é consumida em aplicações de motores elétricos. Os acionamentos motorizados são responsáveis por aproximadamente 65% da eletricidade consumida no setor industrial e por 38% do consumo elétrico no sector dos serviços, na UE (IEA, 2023b), (De Almeida et al., 2000).

Os motores elétricos são, como referido, amplamente utilizados na indústria, em inúmeras aplicações, que variam bastante com os diferentes segmentos industriais, adaptando-se às necessidades específicas dos respetivos processos.

Indicam-se de seguida algumas das aplicações mais habituais de motores elétricos, em diversos segmentos industriais (De Almeida et al., 2003):

No **segmento dos minerais não metálicos**, os moinhos, as extrusoras, os cilindros e as grandes máquinas de produção, são responsáveis por cerca de metade do consumo total de eletricidade associado aos motores, especialmente nas gamas de potência mais elevadas. Uma vez que, neste segmento, grande parte das fábricas funciona em regime de laboração contínua, o número médio anual de horas de funcionamento é habitualmente bastante elevado.

Quanto ao **segmento do papel, pasta de papel e impressão**, as cargas centrífugas (bombas, ventiladores e compressores), correspondem a cerca de 92% do consumo da energia elétrica correspondente aos motores. As bombas são, de longe, o tipo de carga motorizada mais importante, representando aproximadamente 57% do consumo total de eletricidade dos motores. O número médio de horas de funcionamento também é, geralmente, elevado.

No que respeita ao **segmento alimentar, de bebidas e tabaco**, as bombas, os ventiladores e os compressores, representam cerca 60% do consumo de eletricidade dos motores, dos quais, aproximadamente metade correspondem a compressores de refrigeração. Outros motores incluem também os misturadores.

No **segmento dos produtos químicos**, as bombas, ventiladores e compressores representam cerca de 71% do consumo total de eletricidade dos motores. Esta significativa percentagem de cargas controláveis é responsável pelo grande potencial de poupança identificado neste sector. Os motores com potência superior a 130 kW são responsáveis por 63% do consumo total de eletricidade dos motores. Os misturadores, agitadores e dispersores são também aplicações motorizadas comuns nas indústrias químicas.

Relativamente ao **segmento de maquinaria e metais**, numa caracterização visando apenas a indústria metalúrgica ligeira, as bombas, ventiladores e compressores representam apenas 37% do consumo total de eletricidade por motores. As máquinas-ferramentas, o equipamento de manuseamento, os sistemas robóticos, as gruas e as máquinas de processo correspondem à maior parte do consumo por motores (63%). Todos os motores, especialmente os abaixo de 0,75 kW, são utilizados tipicamente com fatores de carga baixos, o que resulta numa queda significativa da eficiência.

O **segmento siderúrgico** inclui dois tipos de operações, nomeadamente: fabrico e moldagem de aço. Na moldagem de aço, a maior parte do consumo de eletricidade por motores

está relacionada a laminadores, lixagem, fundição e acabamento. Na produção de aço, a bombagem para arrefecimento e os ventiladores para extração de poeiras, são cargas importantes em termos de potencial de poupança de eletricidade. Os ventiladores, que são excelentes candidatos à utilização de VSD, são o segundo maior consumidor de energia, sendo principalmente utilizados para extração de poeiras e de gases residuais e para sopragem de ar.

Por fim, no **segmento dos serviços**, as bombas, os ventiladores e os compressores são de longe as cargas mais importantes, representando cerca de 83% do consumo total de eletricidade relacionado com motores. A maioria dos motores, especialmente os mais pequenos, são sobredimensionados. Os motores até 30 kW representam cerca de 86% do consumo de eletricidade por motores, o que os torna um alvo interessante, quando se avaliam potenciais poupanças de energia, através da utilização de motores energeticamente eficientes.

Na Tabela 2.5 indica-se o peso relativo do consumo de energia elétrica dos diferentes tipos de acionamentos motorizados, nos segmentos industriais anteriormente analisados.

Tabela 2.5 - Peso relativo (%) do consumo de eletricidade de acionamentos motorizados, por segmento industrial, adaptado de (De Almeida et al., 2003)

| Segmento industrial | Bombas | Ventiladores | Compressores de ar | Compressores de frio | Transportadores | Outros motores |
|-----------------------------------|--------|--------------|--------------------|----------------------|-----------------|----------------|
| Minerais não metálicos | 6,8% | 21,4% | 16,8% | 0,0% | 6,2% | 48,8% |
| Papel, pasta de papel e impressão | 56,9% | 21,7% | 13,2% | 0,4% | 0,9% | 6,9% |
| Alimentação, bebidas e tabaco | 9,8% | 11,5% | 8,7% | 30,3% | 0,0% | 39,7% |
| Químico | 26,4% | 10,6% | 28,1% | 5,7% | 2,6% | 26,6% |
| Maquinaria e metal | 8,5% | 15,0% | 14,1% | 0,0% | 5,3% | 57,1% |
| Aço e Ferro | 1,4% | 18,3% | 17,2% | 0,0% | 0,0% | 63,1% |

Considerando o consumo global de energia elétrica por motores elétricos e acionamentos motorizados, constata-se que as bombas, os ventiladores e os compressores são, de longe, as cargas mais importantes, representando aproximadamente 63% do total, conforme se indica na Figura 2.7, em que se representa a desagregação do referido consumo global, por tipo de aplicação (Goman et al., 2019). Na parcela "Outros Equipamentos", na Figura 2.7, incluem-se uma grande variedade de cargas associadas principalmente ao processamento de materiais (moinhos, trituradores, laminadores, extrusoras, misturadores, agitadores, centrifugadoras, etc.) e ao manuseamento de materiais (transportadores, elevadores, guindastes, embalamento, etc.).

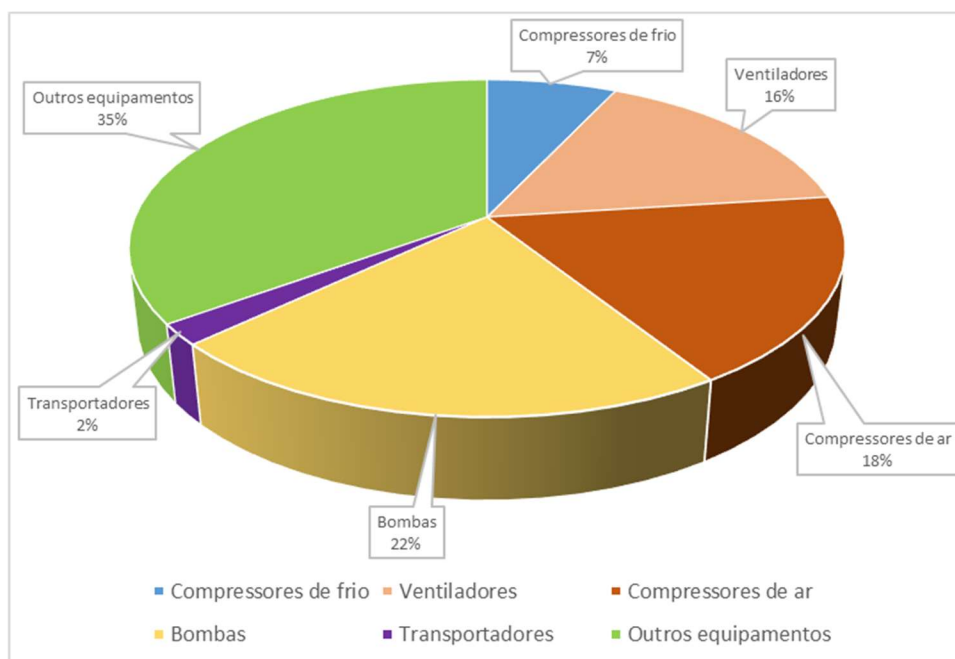


Figura 2.7 - Desagregação do consumo global de eletricidade dos motores, por tipo de aplicação, adaptado de (Goman et al., 2019)

Nos parágrafos e subsecções seguintes, serão analisadas as principais medidas de promoção de eficiência energética, com viabilidade técnica e económica para aplicação nos acionamentos motorizados mais habituais, nos diversos segmentos industriais analisados (Nadel et al., 2002), (De Almeida et al., 2003).

Uma análise de custo-benefício, baseada no custo da energia poupada, demonstra que, de uma forma generalizada e transversal aos vários segmentos industriais e a todos os tipos de aplicações motorizadas, é economicamente viável aplicar os motores elétricos energeticamente eficientes (MEE), em todas as gamas de potência, conduzindo a tempos de retorno do investimento muito interessantes, por vezes inferiores a três anos.

Outra medida de eficiência energética bastante relevante e cujo âmbito de aplicação poderá abranger diversos sistemas, genericamente nos segmentos industriais analisados, diz respeito à utilização de VSD, em acionamentos motorizados. No que respeita aos VSD, há, no entanto, algumas situações em que a introdução de controlos de velocidade variável não é atrativa, especialmente nas gamas de potência mais baixas.

Na Tabela 2.6, indica-se a percentagem de motores em que a aplicação de VSD é, em princípio, economicamente viável, nos diferentes segmentos, por tipo de sistema motorizado.

Tabela 2.6 - Percentagem de motores em que é economicamente viável utilizar VSD, por segmento e por tipo de aplicação, adaptado de (De Almeida et al., 2003)

| Aplicação | Minerais não metálicos | Papel, pasta de papel e impressão | Alimentação, bebidas e tabaco | Química básica | Maquinaria e metal | Aço e Ferro |
|----------------------|------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------|--------------------|-------------|
| Bombas | 36% | 38% | 26% | 37% | 27% | 32% |
| Ventiladores | 39% | 35% | 34% | 40% | 28% | 38% |
| Compressores de ar | 19% | 18% | 15% | 19% | 13% | 18% |
| Compressores de frio | 0% | 27% | 18% | 27% | 0% | 27% |
| Transportadores | 15% | 33% | 0% | 18% | 0% | 13% |
| Outros motores | 36% | 41% | 25% | 40% | 0% | 39% |

A maioria das aplicações de motores elétricos utiliza a velocidade de rotação e o binário de um veio de motor, para acionar um equipamento. Nas secções seguintes analisar-se-ão algumas oportunidades de aumento da eficiência energética, em sistemas acionados por motores elétricos (Nadel et al., 2002), (De Almeida et al., 2003), (IEA, 2011).

2.3.1 Bombas

As bombas são utilizadas para o transporte de fluidos (principalmente água, água potável, esgotos, mas também óleo, entre outros), em sistemas em circuito aberto ou fechado.

As aplicações mais habituais das bombas incluem:

- o **Edifícios** - Bombas para água potável, caldeiras, aquecimento e arrefecimento, bombas de esgoto e bombas de água de incêndio;
- o **Infraestruturas** - Oleodutos, distribuição urbana de água potável e esgotos, aquecimento e arrefecimento urbano;
- o **Indústria** - Sistemas de água limpa e de esgotos, bombas para fluidos de processo (óleo, chocolate, etc.), sistemas de bombas hidráulicas.

A eficiência das bombas varia com o tamanho (caudal, diâmetro, potência) e o tipo de fluido. Um dos fatores com maior impacto é o ponto de funcionamento real *versus* o ponto ótimo de funcionamento.

Os sistemas de caudal constante podem ser dimensionados para funcionar perto do ponto de eficiência máxima. Na maioria das aplicações com carga variável, no entanto, a bomba tem de trabalhar com caudal e pressão variáveis e, por conseguinte, afasta-se do ponto de eficiência ótima.

Em muitas bombas centrífugas – e também ventiladores e compressores -, a potência mecânica aumenta aproximadamente com o cubo do caudal do fluido. Assim, pequenas reduções no caudal podem produzir poupanças de energia significativas. Por exemplo, para mover 80% do caudal nominal, é necessária apenas metade da potência. As cargas centrífugas são, por isso, excelentes candidatas para o controlo da velocidade do motor, em vez de utilizar dispositivos ineficientes de controlo de fluidos, tais como válvulas, limitadores e registos.

Estudos demonstram que, se todas as medidas de eficiência atualmente disponíveis forem sistematicamente aplicadas num sistema de bombas, podem ser obtidas poupanças energéticas de 80% a 90% em bombas de circulação de sistemas de aquecimento e de 40% a 75% em bombas industriais (IEA, 2011). As principais melhorias resultam de tubagens de maiores dimensões, utilização de motores de ímanes permanentes com VSD e de um correto redimensionamento (*downsizing*) das bombas (Figura 2.8).

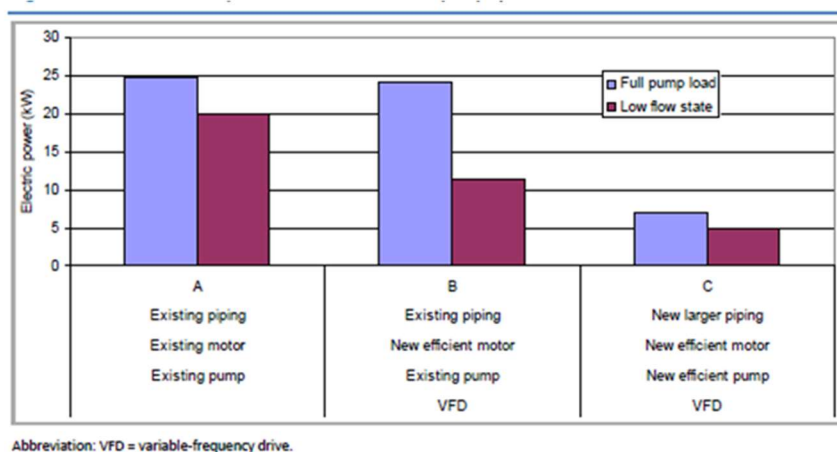


Figura 2.8 - Redução da potência elétrica requerida em sistemas de bombas industriais, obtido de (IEA, 2011)

2.3.2 Ventiladores

Os ventiladores são tipicamente utilizados para o transporte de gases (maioritariamente ar), em aplicações industriais, comerciais e residenciais, em sistemas em circuito aberto (*open-loop*) e em circuito fechado (*closed-loop*).

As aplicações mais habituais dos ventiladores são:

- o **Edifícios** - ventiladores de insuflação, exaustão e recirculação de ar, em combinação com sistemas de aquecimento, arrefecimento, humedificação e desumidificação;
- o **Indústria** - ventiladores para aquecimento, arrefecimento e secagem e ventilação de salas limpas;
- o **Tráfego** - ventilação de túneis.

Tal como referido para as bombas, na Secção 2.3.1, também para o caso dos ventiladores a eficiência varia com o tamanho (caudal, diâmetro, potência) e o tipo de gás. Também neste caso tem relevância o ponto de funcionamento real *versus* o ponto ótimo.

Os sistemas de caudal constante podem ser dimensionados para funcionar próximo do ponto de eficiência máxima. Na maioria das aplicações com carga variável, no entanto, o ventilador tem de trabalhar com caudal e pressão variáveis, afastando-se da sua eficiência ótima. Apenas os grandes ventiladores com pás ajustáveis (ventilação de túneis, em geral), podem evitar esta situação.

Como a potência requisitada varia com o cubo do caudal, uma redução deste último, para adequar-se às necessidades reais da aplicação, permite uma redução no consumo de energia. Por exemplo, para um caudal de ar de 50%, num determinado sistema, a diferença de pressão diminui para 50% e a potência necessária é de apenas 12,5%.

O consumo de energia dos ventiladores depende fortemente da conceção da instalação e dos respetivos componentes, bem como das condições de funcionamento do sistema.

Um estudo sobre um sistema de ventiladores de insuflação de ar permitiu concluir que uma conceção e tecnologia otimizadas, de acordo com o 'estado da arte', permite reduzir o consumo de energia por um fator de 8, e que a sua combinação com uma melhor gestão do tempo, poderá reduzir este consumo por um fator de 62 (IEA, 2011).

De uma forma geral, as ações para incremento da eficiência energética em sistemas de ventilação, inserem-se nas seguintes quatro áreas principais:

- o **Horas de funcionamento** - Um ventilador só deve funcionar quando for necessário e o caudal de ar deve ser adaptado às necessidades reais. O potencial de poupança neste domínio é de até 100%;
- o **Caudal de ar** - A instalação deve ser projetada de acordo com as necessidades reais. A conceção e o controlo do sistema devem considerar casos com necessidades variáveis. O potencial de poupança é de até 80%;
- o **Diferença de pressão** - Sistemas de condutas curtas e uma boa disposição aerodinâmica, o que está também associado a níveis sonoros mais baixos. Podem, porém, ser necessários maiores custos de investimento e de espaço para a instalação. É possível obter diferenças de pressão baixas a velocidades reduzidas (maiores áreas transversais das condutas). O potencial de poupança é de 50% ou mais.
- o **Eficiência total** - A melhor tecnologia disponível pode aumentar significativamente a eficiência total dos ventiladores, motores, variadores e controlos. Como um controlo de frequência causa sempre uma perda adicional, esta técnica deve ser

aplicada apenas quando realmente necessário - nesses casos, o benefício pode ser muito maior do que a perda adicional. O potencial de poupança é de até 50%.

2.3.3 Compressores

As principais aplicações motorizadas que utilizam compressores, são:

- o **Compressores de ar**, para ar comprimido, gás natural liquefeito, transporte de gases, entre outros;
- o **Compressores de refrigeração**; e
- o **Bombas de calor**.

Utilizando-se predominantemente nos seguintes sectores:

- o **Eletrodomésticos** - frigoríficos e congeladores para uso comercial e doméstico - fora do âmbito deste estudo -, geralmente compressores de refrigeração totalmente fechados com <0,2 kW;
- o **Edifícios** - Máquinas de refrigeração para ar condicionado central (de 0,5 kW a 500 kW, ou mais); aparelhos de ar condicionado para salas (de 0,2 kW a 5 kW); sistemas pneumáticos para controlo de movimento;
- o **Indústria** - Arrefecimento de processo, com gamas desde a temperatura ambiente até temperaturas negativas de -30 °C (indústria alimentar) ou menos; Sistemas de ar comprimido para manuseamento de materiais.

Muitos sistemas de compressores funcionam numa gama de eficiência bastante baixa, de apenas 5% a 10%. Na Tabela 2.7, apresentam-se as origens das principais perdas de energia, num sistema de ar comprimido (Falkner & Slade, 2009).

Tabela 2.7: Origem de perdas - sistemas de ar comprimido, adaptado de (Falkner & Slade, 2009)

| Perdas em Sistemas de Ar Comprimido | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|--|
| Origem das Perdas | Potência Útil Transferida (kW) | Perdas (kW) |
| Potência elétrica fornecida | 100 | |
| Ar do compressor | 10 | 90 (calor) |
| Tratamento | 9 | 1 (por exemplo, degradação de filtros) |
| Fugas | 6 | 3 (fugas) |
| Sistema de distribuição | 5,5 | 0,5 (por exemplo, perda de pressão) |
| Sobre-pressão | 5,0 | 0,5 (calor) |

Muitos sistemas de controlo de aplicações pneumáticas e de ar comprimido, podem ser substituídos por sistemas mais eficientes, usando, por exemplo, servomotores ou motores lineares. Os fabricantes estão a avançar lentamente com a introdução de sistemas de compressores novos, avançados e energeticamente eficientes. Os motores de ímanes permanentes e os VSD são soluções importantes, que poderão contribuir para sistemas de refrigeração e de ar comprimido mais otimizados e eficientes.

2.3.4 Outras oportunidades de poupança energética

Nesta secção apresentam-se outras oportunidades de poupança energética, potencialmente aplicáveis em sistemas motorizados dos vários segmentos industriais.

A aplicação das melhores práticas de engenharia é fundamental para melhorar a eficiência dos sistemas acionados por motores elétricos, em particular em áreas como as que se descrevem de seguida:

Custo do ciclo de vida

Na avaliação de qualquer investimento relativo a sistemas industriais, é essencial avaliar o preço de compra e os correspondentes impactos nos custos operacionais, para uma completa avaliação comparativa entre cenários de continuidade com sistemas existentes ou da sua substituição por novos sistemas, ou ainda na comparação entre duas soluções novas, alternativas, podendo assim tomar decisões informadas.

Frequentemente, para componentes mais eficientes, os preços de compra iniciais são mais elevados, mas os respetivos custos operacionais são mais baixos.

A relação custo-benefício deve considerar o valor do investimento em cada sistema motorizado e o seu impacto nos custos operacionais incluindo, em particular, as variações na fatura energética, nos custos de manutenção – abrangendo manutenção preventiva e corretiva, peças e materiais de desgaste – e ainda eventuais custos relacionados com o risco de inoperacionalidade dos sistemas existentes.

Destes, a componente mais importante dos custos operacionais costuma ser, por larga diferença, a eletricidade

Projeto integrado de máquinas

Os motores elétricos fazem frequentemente parte de um sistema de produção industrial complexo. Os fabricantes de máquinas (OEM), concebem máquinas, por

exemplo, para os setores do cimento, plásticos, metais, nutrição, têxteis, entre outros, que incluem aquecimento e arrefecimento, bem como forças lineares e binário de rotação. Muitas máquinas têm uma série de motores diferentes, alguns a funcionar de modo contínuo, outros com funções auxiliares (como ligar/desligar ou por períodos curtos).

Muitos OEM tendem a investir fortemente no desempenho da produção; são em menor número os que investem já na eficiência energética. Como atuam muitas vezes em mercados fortemente competitivos, para manter o preço da máquina baixo tendem, por vezes, a utilizar componentes mais baratos, como motores e acionamentos de motores de baixa eficiência.

No entanto, fruto de uma cada vez maior consciência ambiental da sociedade e do crescente peso da fatura energética na estrutura de custos das empresas, o desempenho energético das máquinas começa a tornar-se um fator diferenciador e um requisito cada vez mais especificado pelos industriais - utilizadores das máquinas -, sendo valorizado também pelos consumidores finais, pelo que tenderá a ser cada vez mais considerado pelos OEM.

Um dos principais elementos que determinam o custo das máquinas, é o critério de máximo desempenho. Isto leva a um sobredimensionamento de muitos componentes, incluindo motores e VSD. Obviamente, também leva a custos iniciais mais elevados, mas deixa o OEM com a (falsa) segurança de um desempenho fiável mesmo fora das margens pré-determinadas.

Soluções integradas

Os fabricantes integram frequentemente o motor, a caixa de velocidades e o VSD com sensores, juntamente com o ventilador ou bomba, num único produto integrado, como um sistema motorizado core. Esta abordagem tem diversas vantagens, tais como:

- Os custos totais do sistema são mais baixos, porque os projetos são combinados e não são necessárias transmissões;
- O volume total do produto é menor, porque não há que destinar espaço para acoplamentos e outros conectores;
- As máquinas são otimizadas, porque os componentes são combinados e perfeitamente alinhados.
- O desempenho é melhor, porque as máquinas integradas funcionam de forma mais adequada e com menor desgaste;

- O controlo do binário e da velocidade pode ser adaptado ao desempenho requerido, com programas e características *standard*.

Alguns fabricantes produzem muitos ou todos estes componentes internamente. Outros trabalham em parceria com fabricantes de componentes, disponibilizando depois sistemas integrados aos seus clientes. Em geral, esta é atualmente uma tendência de desenvolvimento do mercado, particularmente na gama até 30 kW.

Dimensionamento adequado

Máquinas de tamanho desadequado têm, tipicamente, desvantagens em termos de eficiência. No que diz respeito aos motores elétricos, o rendimento máximo dos motores de alta eficiência (dependendo da potência do motor), é atingido entre 75% a 100% da carga nominal. Abaixo dos 50% da potência nominal, a diminuição da eficiência é muito significativa. Em aplicações mais antigas, o pico de eficiência era mais próximo de 100% e a diminuição já era muito relevante abaixo dos 75% da carga nominal.

Esta questão é, obviamente, extensível também a outros componentes do sistema, por exemplo, aplicações como sistemas de bombagem e ventilação, em que dimensões adequadas da tubagem ou condutas, minimizam as velocidades de fluxo e as perdas por fricção.

O dimensionamento correto de um sistema motorizado, requer conhecimentos detalhados sobre o seu funcionamento global, a sua utilização típica e respetivos requisitos. A complexidade destes estudos pode, portanto, ser bastante variável; pode ser relativamente fácil para um sistema de bombagem de água em circuito fechado, por exemplo, mas pode ser bastante mais desafiante noutros casos, tal como num processo complexo de manuseamento de materiais, em que as cargas podem variar dentro de gamas amplas.

Em casos de substituição de equipamentos, uma boa prática de engenharia será iniciar o dimensionamento com a medição dos perfis de carga típicos da máquina, daí resultando uma carga de pico necessária e um binário de arranque, aferidos com precisão.

No caso de máquinas novas, o projeto dependerá de cálculos baseados no conhecimento do manual de engenharia.

De uma forma geral, um novo motor de alto rendimento e de qualidade superior, pode ser dimensionado com menos margem de segurança, porque tem menos perdas

térmicas e pode suportar 10% a 20% de sobrecarga durante um par de horas, repetidamente, sem atingir a temperatura máxima permitida.

Um correto dimensionamento proporciona diversas vantagens: os motores funcionam normalmente de forma mais adequada e durante mais tempo, com menos desgaste, têm menos perdas, e custam menos do que os motores sobredimensionados.

Funcionamento eficiente

Um sistema motorizado bem concebido, também tem de ser operado corretamente. Um funcionamento eficiente significa:

- Evitar operações desnecessárias e tempos de operação em vazio;
- Evitar arranques rápidos e travagens desnecessárias (ciclos e intervalos de produção bem definidos);
- Inexistência de sobrecargas longas desnecessárias (condições de arranque definidas, arranque suave, programa de arranque VSD);
- Verificações mecânicas regulares (deteção de vibrações e mau alinhamento) e manutenção (incidindo sobre rolamentos, ventiladores, poeiras, óleo);
- Controlos elétricos regulares (imagem térmica do motor, picos) e manutenção (monitorização de enrolamentos sobreaquecidos e fases desequilibradas).

O funcionamento eficiente deve também incluir a monitorização global do sistema motorizado, para assegurar a deteção precoce de desgaste e falhas.

Os maiores impactos, em termos da eficiência energética, advêm da integração e otimização sistemáticas e da otimização de todos os componentes mecânicos e elétricos do sistema motorizado completo.

Para além das boas práticas de engenharia atrás referidas, existem ainda outras ações que podem determinar ganhos em termos de eficiência energética e que devem ser consideradas na gestão industrial.

É o caso da decisão entre **reparar ou substituir** um motor elétrico. Os motores de maiores dimensões são em média reparados uma, duas ou mesmo três vezes, durante a sua vida útil. Estima-se que, cada vez que é rebobinado, a sua eficiência diminua entre 1% a 5% - Dependendo da qualidade da intervenção. Este é um fator a ter em conta, ao avaliar oportunidades de investimento.

Atualmente, um motor antigo, com um histórico de funcionamento de 10 a 20 anos, é usualmente um motor ineficiente. Isto indica que, mesmo com rebobinagem e reparação de qualidade, um motor já de si ineficiente, frequentemente ainda piora.

Tipicamente, os custos de reparação de motores mais pequenos (<10 kW), são mais elevados do que os custos de substituição e, por conseguinte, a reparação é economicamente inviável. Os motores maiores e especiais, por vezes customizados em função de necessidades específicas, podem ser reparados e eventualmente rebobinados, sendo fundamental zelar pela qualidade da intervenção, para minimizar a degradação do seu rendimento. A determinação da eficiência, antes e depois de uma rebobinagem, não é ainda uma prática padrão.

Pagar por um motor melhor, comprando um motor menor, considerando que, mediante um dimensionamento adequado, na substituição de um motor existente, o novo motor poderá ter uma potência nominal cerca 20% a 50% inferior. Na gama de potência de 5 kW a 10 kW, por exemplo, estima-se que o preço varie de forma quase linear com a potência e que um motor 30% mais pequeno, seja cerca de 25% mais barato (IEA, 2011).

O **recondicionamento de sistemas existentes** (*upgrade*), permite melhorar o seu desempenho e/ou a eficiência, através da substituição de componentes ou acrescentando novos elementos. Para além da utilização de motores com melhor rendimento, a eficiência energética pode ser melhorada substituindo, por exemplo, correias trapezoidais por correias planas, mudando as caixas de velocidades e eliminando as engrenagens sem-fim, ou adicionando um VSD (se o motor o permitir).

Assim, conclui-se que os sistemas acionados por motores elétricos apresentam um potencial considerável de redução de consumo e de aumento da eficiência energética, através de inúmeras medidas de racionalização e de otimização, como as que foram apresentadas nesta secção. O peso da energia elétrica na estrutura de custos das empresas, a crescente conscientização ambiental e o contínuo desenvolvimento tecnológico, servirão de catalisadores à sua adoção, cada vez mais generalizada.

2.4 Casos práticos de aplicação de motores elétricos de elevada eficiência na indústria

A implementação de projetos de eficiência energética na indústria está intrinsecamente relacionada com a análise da sua viabilidade económica. As empresas avaliam a atratividade dos projetos, em função do seu tempo de retorno e rentabilidade.

Entre as métricas utilizadas para analisar a viabilidade de um investimento, a mais simples corresponde à determinação do **Prazo de Retorno Simples** do investimento, que se pode definir como:

$$\text{Prazo de Retorno Simples (anos)} = \frac{\text{Investimento (€)}}{\text{Benefício Anual (€)}}$$

Trata-se de uma métrica simples e direta, que permite uma análise do tempo necessário para recuperar o investimento realizado. Tem, no entanto, como principais desvantagens, o facto de não considerar o valor gerado na totalidade da vida do projeto nem o custo de oportunidade de capital, ou seja, o retorno potencial pela utilização do capital em projetos alternativos.

O **Valor Atualizado Líquido (VAL)**, entra em consideração com os benefícios do projeto, ao longo da sua vida útil, integrando os fluxos de tesouraria ou **Fluxos de Caixa (CF)**, gerados pelo investimento neste período e também com o custo de oportunidade do capital, pela utilização da **Taxa de Atualização** ou *Discount Rate*. Esta métrica pode calcular-se da seguinte forma:

$$VAL = - \sum_{t=0}^n \frac{INV_t}{(1+i)^t} + \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}$$

Em que:

| | |
|------------|---|
| <i>CF</i> | <i>Fluxo de caixa anual (€), durante a vida útil do projeto, do 'ano 0' ao 'ano n';</i> |
| <i>i</i> | <i>Taxa de atualização (%);</i> |
| <i>INV</i> | <i>Investimento anual (€), durante a vida útil do projeto, do 'ano 0' ao 'ano n';</i> |
| <i>n</i> | <i>Período de vida útil do projeto (anos);</i> |
| <i>t</i> | <i>Cada um dos anos, durante a vida útil do projeto, do 'ano 0' ao 'ano n';</i> |
| <i>VAL</i> | <i>Valor Atualizado Líquido (€).</i> |

Assim, um projeto cujo VAL é positivo, é um projeto que gera valor, pelo que pode considerar-se como tendo viabilidade económica.

Uma análise de custo-benefício do projeto, a partir dos respetivos investimentos – descontados ao longo do tempo com a taxa de atualização - e do VAL, permite-nos chegar ao **Índice de Rentabilidade (IR)**, calculado da seguinte forma:

$$IR = \frac{VAL}{\sum_{t=0}^n \frac{INV_t}{(1+i)^t}} \times 100$$

Em que:

| | |
|------------|--|
| <i>IR</i> | <i>Índice de Rentabilidade (%)</i> ; |
| <i>i</i> | <i>Taxa de atualização (%)</i> ; |
| <i>INV</i> | <i>Investimento anual (€), durante a vida útil do projeto, do 'ano 0' ao 'ano n' ;</i> |
| <i>n</i> | <i>Período de vida útil do projeto (anos)</i> ; |
| <i>t</i> | <i>Cada um dos anos, durante a vida útil do projeto, do 'ano 0' ao 'ano n' ;</i> |
| <i>VAL</i> | <i>Valor Atualizado Líquido (€).</i> |

O IR dá-nos uma medida da rentabilidade relativa do projeto, tendo em conta o investimento necessário e permite comparar as rentabilidades de projetos alternativos.

Outro indicador, também útil na avaliação de investimentos, é a **Taxa Interna de Rentabilidade** (TIR), que corresponde à taxa que, para um determinado projeto, utilizada como taxa de atualização, conduz a um VAL igual a zero.

A TIR pode calcular-se iterativamente, a partir da seguinte condição:

$$VAL = 0 = - \sum_{t=0}^n \frac{INV_t}{(1+TIR)^t} + \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+TIR)^t}$$

Em que:

| | |
|------------|--|
| <i>CF</i> | <i>Fluxo de caixa anual (€), durante a vida útil do projeto, do 'ano 0' ao 'ano n' ;</i> |
| <i>i</i> | <i>Taxa de Atualização (%)</i> ; |
| <i>INV</i> | <i>Investimento anual (€), durante a vida útil do projeto, do 'ano 0' ao 'ano n' ;</i> |
| <i>n</i> | <i>Período de vida útil do projeto (anos)</i> ; |
| <i>t</i> | <i>Cada um dos anos, durante a vida útil do projeto, do 'ano 0' ao 'ano n' ;</i> |
| <i>TIR</i> | <i>Taxa Interna de Rentabilidade (%)</i> ; |
| <i>VAL</i> | <i>Valor Atualizado Líquido (€).</i> |

Ao analisar a viabilidade de um projeto, cada empresa terá uma **Taxa de Rentabilidade Mínima** (TRmin), ou *Hurdle Rate*, que depende do seu custo de capital e do prémio de risco que exige para investir em cada projeto específico, dependendo, em particular, da sua natureza, risco e complexidade.

Assim, se um projeto gera uma TIR superior à TRmin exigida pela empresa para esse investimento, pode considerar-se que o projeto é interessante e tem condições para ser

implementado. Caso contrário, considera-se que o projeto não atinge o nível de rentabilidade mínimo exigido pela a empresa, para esse tipo de investimentos.

As métricas atrás expostas – Prazo de Retorno Simples, VAL, IR, TIR e TRmin -, são complementares e disponibilizam dados úteis para a avaliação e decisão sobre investimentos. É frequente que as empresas utilizem estes indicadores, numa análise multicritérios, como instrumentos de suporte à decisão, para determinar a viabilidade de um projeto e para comparar investimentos alternativos.

Os investimentos em eficiência energética são também, naturalmente, sujeitos a estas análises, cujos resultados, tendo em conta os requisitos de investimento e os benefícios esperados, são determinantes para as decisões sobre a sua implementação.

No caso dos motores elétricos, fazendo uma análise de ciclo de vida, a maior parcela dos custos que lhes estão associados é, de longe, a que corresponde ao seu consumo de energia elétrica, considerando-se que seja, em média, superior a 90% dos custos totais incorridos com o motor elétrico, em toda a sua vida útil (IEA, 2011).

Assim, a análise técnico-económica de investimentos em motores elétricos de elevada eficiência, que se fará nesta secção, incidirá nos investimentos necessários, relativos à aquisição e instalação do novo motor e nos ganhos decorrentes ao nível do consumo de energia.

Não obstante, é importante reter que existem outros ganhos, provavelmente menos significativos, mas não desprezáveis, que também concorrem para a rentabilidade e viabilidade destes investimentos. É o caso da redução dos custos de manutenção, reparação e de stock de peças de reserva, da diminuição dos custos com tempos de paragem não previstos e ainda dos custos relacionados com a degradação da performance dos motores antigos, entre outros.

Estes fatores são frequentemente mais difíceis de determinar, variam para cada caso específico – apresentando uma variabilidade significativa entre empresas e até entre máquinas distintas, numa mesma unidade industrial – e, para serem determinados, exigem uma análise aprofundada das rotinas de manutenção e de exploração de cada equipamento.

A existência de programas de incentivo à implementação de projetos de eficiência energética, permitindo aumentar a sua rentabilidade e diminuir o seu prazo de retorno, também contribui para os tornar mais atrativos para os investidores. São exemplo destes programas de incentivo, em Portugal, o Fundo de Eficiência Energética, o Fundo de Apoio à Inovação, o Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia, bem como iniciativas de apoio à descarbonização na indústria, inseridas no Plano de Recuperação e Resiliência.

De acordo com a informação fornecida no início desta secção, as taxas de atualização aplicadas pelos agentes económicos para descontar custos e receitas futuros, desempenham um papel importante no suporte à tomada de decisão.

A definição da taxa de atualização a considerar para a análise de projetos de investimento, baseia-se frequentemente no conceito de custo médio ponderado do capital, geralmente majorado por um prémio, que depende das características do projeto e da perceção dos riscos que lhe estão associados, do custo de oportunidade de utilização do capital e das práticas empresariais.

Neste contexto, o sistema PRIMES (*Price-Induced Market Equilibrium System*), modelizando o sistema energético e as interações entre os agentes económicos que contribuem para a oferta e para a procura de energia no mercado, é amplamente utilizado na Europa, tanto pelas instituições europeias, como por governos, empresas e outros organismos.

As taxas de atualização consideradas neste sistema, variam tipicamente entre 7,5%, aplicáveis a monopólios regulados, transportes públicos e infraestruturas, até uma taxa de 14,75%, aplicável a alguns investimentos de particulares e famílias (EC, 2021).

Na Tabela 2.8 apresentam-se as taxas de atualização utilizadas no PRIMES, para decisões de investimento relacionadas com a energia, por empresas que não pertencem ao setor energético.

Para investidores industriais, que não sejam consumidores intensivos de energia, o PRIMES preconiza uma taxa de atualização de 9%. No entanto, a rentabilidade exigida pelas empresas para projetos de eficiência energética, é muito variável. Em cada caso, para que o projeto possa ser considerado viável, a respetiva TIR deve ser superior à TRmin exigida pelo investidor.

Tabela 2.8 – Taxas de atualização utilizadas no sistema PRIMES, para investimentos relacionados com energia, por empresas não energéticas de diversos setores, obtido de (EC, 2021)

| Assumptions for EU Reference Scenario 2020 | Discount rates |
|---|----------------|
| Energy intensive industries | 7.5% |
| Non energy intensive industries | 9% |
| Services sectors | 11% |
| Public transport (conventional rail, public road) | 7.5% |
| Public transport (advanced technologies, e.g., high speed rail) | 8.5% |
| Business transport sectors (aviation, heavy goods vehicles, LCVs, maritime) | 9.5% |
| Country risks | None |

A TRmin incorpora um prémio, que depende da perceção do agente económico quanto aos riscos associados ao projeto e que se relaciona com aspetos como: a maturidade das tecnologias utilizadas, a confiança quanto aos benefícios previstos, o nível de incerteza, a capacidade técnica, a possibilidade de acesso ao capital, entre outros (EC, 2021).

Sendo um critério que apresenta uma variabilidade muito significativa, segundo (Andersen et al., 2019), a TRmin requerida pelas indústrias para projetos de eficiência energética, situa-se geralmente entre os 10% e os 20%.

Na Subsecção 2.4.1, serão analisados alguns casos concretos, em que foi estudada a aplicação de motores elétricos de elevada eficiência - das classes de eficiência IE4 e/ou IE5 (IEC, 2016) -, em diversas unidades industriais, em Portugal.

2.4.1 Análises de viabilidade

Nesta subsecção, serão analisados casos concretos em que foi estudada a aplicação de motores das classes de eficiência IE4 ou IE5, em acionamentos motorizados existentes e em serviço, em diversos segmentos industriais.

Nestas análises, foram considerados motores e variadores de velocidade das seguintes marcas:

- o Motores PMASyncRM, de classe de eficiência IE5 ou IE4, da Marca Leroy Somer - Grupo Nidec (Leroy Somer, 2024);
- o Motores assíncronos, de classe de eficiência IE4, da marca Techtop (Dimotor, 2024);
- o Variadores de velocidade da marca Control Techniques – Grupo Nidec (Control Techniques, 2024).

Os três casos apresentados correspondem a estudos de substituição de motores elétricos ineficientes, por motores de elevada classe de eficiência energética.

Assegurada a viabilidade técnica da substituição, é avaliada a viabilidade económica destes projetos, de acordo com os critérios anteriormente definidos neste documento, tendo em conta as características técnicas dos equipamentos existentes e dos equipamentos a propor e as condições de exploração a que estarão sujeitos.

Para a análise da viabilidade destes projetos, importa analisar a totalidade do ciclo de vida dos equipamentos propostos.

Para este efeito, considera-se que o período de vida útil de um motor eléctrico, corretamente explorado e mantido é, em média, de 17 anos (Zuberi & Patel, 2018). Será, portanto, este o horizonte temporal das análises de viabilidade a efetuar.

A seleção dos motores a propor implica também cuidados especiais, para garantir que as suas características elétricas e mecânicas são adequadas e compatíveis com os sistemas acionados.

Assim, é necessário assegurar, entre outros aspetos, que:

- o Os atravancamentos dos novos motores são compatíveis com o espaço disponível;
- o Os novos equipamentos satisfazem as necessidades do sistema quanto à potência, binário e velocidade;
- o Os novos motores admitem as solicitações existentes, em termos de sobrecarga.

Estes aspetos dependem, naturalmente, das características específicas de cada acionamento e das suas condições de utilização.

As fichas técnicas dos novos motores de elevada eficiência, que serão objeto de análise para aferição dos vários requisitos, são apresentadas no Capítulo 5 - Anexos.

A aplicação de motores novos em acionamentos eletromecânicos existentes, obriga muitas vezes a incluir, para além da simples montagem e ligação dos novos equipamentos, vários trabalhos e fornecimentos destinados à adaptação da instalação.

O âmbito destes trabalhos tem de ser definido caso a caso e é bastante variável, dependendo das condições dos sistemas a intervencionar e das características dos novos motores.

Assim, têm de ser detalhadamente identificados e podem incluir, a título de exemplo:

- o Fornecimento de novos cabos elétricos;
- o Montagem de acoplamentos necessários à incorporação dos novos motores;
- o Fornecimento de novos quadros para alojar os variadores de velocidade;
- o Colocação de novas bases adequadas aos motores a fornecer.

Para cada um dos casos práticos a analisar nesta subsecção, foram definidos e orçamentados os materiais e a mão-de-obra necessários, para a inclusão dos novos motores nos sistemas existentes.

Para a análise destes casos, considerar-se-ão ainda os seguintes pressupostos:

- o Taxa de atualização - Será utilizada uma taxa de 9%, em conformidade com o previsto no sistema PRIMES (EC, 2021);
- o Horizonte temporal - De acordo com o referido em (Zuberi & Patel, 2018), considerou-se que a vida útil dos motores elétricos será de, em média, 17 anos, pelo que foi este o período analisado, em cada um dos casos práticos;
- o Condições de exploração - Serão tidas em conta as condições específicas de cada caso, disponibilizadas pelos utilizadores, em particular no que se refere a horas anuais de funcionamento e fator de carga;

- o Preço médio da energia elétrica - Foi considerado o valor facultado por cada empresa.

Nas análises de viabilidade apresentadas na Subsecção 2.6.1, considera-se que:

- o O preço médio para a energia elétrica mantém-se estável e igual ao valor indicado por cada um dos industriais, no período estudado;
- o O investimento ocorre todo no "ano 0";
- o Os fluxos de caixa (CF), resultantes da poupança energética decorrente utilização das novas soluções, ocorrem a partir do "ano 1" e até ao fim da vida útil. Assim, nos casos analisados, o CF do "ano 0" é igual a zero e os restantes serão atualizados de acordo com o ano em que ocorrem.

Na Subsecção 2.6.2, será feita uma análise de sensibilidade, testando a variação do VAL e da TIR, em cada projeto, em função da variação do preço médio da energia elétrica.

De acordo com as projeções de (EC, 2021), baseadas nos cálculos do sistema PRIMES, o preço médio da energia elétrica na UE aumentará moderadamente, entre 2020 e 2050. Considerando estas projeções, este preço médio deverá passar de 151 €/MWh em 2020, para 161 €/MWh em 2050, correspondendo, portanto, a um aumento total de 6,6%, neste período. Se, para efeitos de estudo, se considerar que esta evolução se fará com uma percentagem anual de aumento constante, em todo o período, resultará um aumento anual de cerca de 0,22%.

2.4.1.1 Caso 1 - Substituição de dois motores de corrente contínua (DC), por motores AC de elevada eficiência

Neste primeiro caso, analisa-se a substituição de dois motores de corrente contínua (DC), que acionam uma máquina do processo produtivo de uma indústria pesada, de transformação de metal.

Os motores existentes têm potências nominais de 217 kW e 94 kW e analisou-se a sua substituição por motores AC síncronos de relutância e ímanes permanentes, de classe de eficiência IE5, do fabricante Leroy Somer, tendo-se preconizado a instalação de:

- o Um motor 1500 LSHRM 280MU 220 kW B3 – Classe IE5 - Leroy Somer, com VSD do tipo M700-104-03770E – Control Techniques;
- o Um motor 1500 LSHRM 315SN1 110 kW B3 – Classe IE5 – Leroy Somer, com VSD do tipo M700-094-02000A – Control Techniques.

As fichas técnicas dos motores propostos, apresentam-se no Anexo I.

As características dos variadores de velocidade da marca Control Techniques, poderão ser consultadas em (Control Techniques, 2024).

Na Tabela 2.9 apresentam-se as condições de exploração deste acionamento e, na Tabela 2.10 e na Tabela 2.11, apresentam-se as principais características técnicas dos motores DC existentes e dos motores propostos para a sua substituição.

Em ambos os casos, obtém-se uma considerável melhoria nos rendimentos dos motores. No caso do Motor 1, passa-se de um rendimento de 91,68% do motor DC existente, para um rendimento de 96,90% do novo equipamento (Tabela 2.10) e, no caso do Motor 2, passa-se de um rendimento de 93,96% do motor existente, para um rendimento 96,70%, com a aplicação do novo motor proposto (Tabela 2.11).

Estas melhorias no rendimento traduzem-se numa menor potência absorvida e num menor consumo de energia elétrica, para as mesmas condições de desempenho, conduzindo, portanto, a uma redução na fatura energética da empresa.

Tabela 2.9 – Caso 1: Condições de exploração

| Condições de Exploração | |
|---|-------|
| Horas Funcionamento/ano (h) | 8 232 |
| Fator de carga (%) ⁽¹⁾ | 88% |
| Preço médio da energia elétrica (€/kWh) | 0,117 |

⁽¹⁾ - Definido em relação à potência nominal dos motores DC existentes

Tabela 2.10 – Caso 1: Motor 1, características técnicas do motor existente e do novo motor proposto

| Motor 1 - Motor DC existente | | Motor 1 - Novo motor AC a instalar | |
|---|------------|---|-----------------|
| Marca | ABB | Marca | LEROY SOMER |
| Modelo | DMG225M | Modelo | 1500 LSHRM280MU |
| Potência Nominal (kW) | 217 | Potência Nominal (kW) | 220 |
| Tensão de Excitação (V) | 340 | Tensão (V) | 400 |
| Corrente de Excitação (A) | 7,7 | Corrente (A) | 393 |
| Tensão da Armadura (V) | 440 | Fator de Potência | |
| Corrente da Armadura (A) | 532 | Velocidade (rpm) | 1800 |
| Fator de Potência | | Binário (Nm) | 1167,2 |
| Velocidade (rpm) | 1776 | Rendimento (IEC 61800-9-2) (%) | 96,90% |
| Binário (Nm) | 1166,9 | | |
| Rendimento (%) | 91,68% | | |
| Cálculo (anual, nas Condições de Exploração) | | Cálculo (anual, nas Condições de Exploração) | |
| Potência Absorvida (kW) | 208,29 | Potência Absorvida (kW) | 197,07 |
| Consumo Eletricidade (kWh) | 1 714 678 | Consumo Eletricidade (kWh) | 1 622 273 |
| Custo Eletric. Consumida (€) | 200 617,35 | Custo Eletric. Consumida (€) | 189 805,96 |

Tabela 2.11 – Caso 1: Motor 2, características técnicas do motor existente e do novo motor proposto

| Motor 2 - Motor DC existente | | Motor 2 - Novo motor AC a instalar | |
|---|-----------|---|------------------|
| Marca | SICME | Marca | LEROY SOMER |
| Modelo | ---- | Modelo | 1500 LSHRM315SN1 |
| Potência Nominal (kW) | 94 | Potência Nominal (kW) | 110 |
| Tensão de Excitação (V) | 340 | Tensão (V) | 400 |
| Corrente de Excitação (A) | 2,7 | Corrente (A) | 199 |
| Tensão da Armadura (V) | 420 | Fator de Potência | |
| Corrente da Armadura (A) | 236 | Velocidade (rpm) | 1500 |
| Fator de Potência | | Binário (Nm) | 700,3 |
| Velocidade (rpm) | 1600 | Rendimento (IEC 61800-9-2) (%) | 96,70% |
| Binário (Nm) | 561,1 | | |
| Rendimento (%) | 93,96% | | |
| Cálculo (anual, nas Condições de Exploração) | | Cálculo (anual, nas Condições de Exploração) | |
| Potência Absorvida (kW) | 88,03 | Potência Absorvida (kW) | 85,54 |
| Consumo Eletricidade (kWh) | 724 691 | Consumo Eletricidade (kWh) | 704 189 |
| Custo Eletric. Consumida (€) | 84 788,88 | Custo Eletric. Consumida (€) | 82 390,15 |

A análise da viabilidade do projeto tem de entrar em conta com o investimento necessário para efetuar as alterações preconizadas e com os ganhos decorrentes da utilização de equipamentos mais eficientes, para calcular os principais indicadores de suporte à decisão. Os resultados obtidos para este caso, apresentam-se na Tabela 2.12.

Considerou-se uma taxa de atualização de acordo com o utilizado no modelo PRIMES, para este tipo de indústria (EC, 2021) e um horizonte temporal coincidente com a vida útil esperada dos motores (Zuberi & Patel, 2018).

O investimento total inclui, para além dos equipamentos principais – motores e VSD -, os montantes correspondentes a fornecimentos e serviços para adaptação da instalação, incluindo o fornecimento de novos quadros, para alojamento dos VSD.

Chegou-se a um prazo de retorno simples, do projeto global, de 4,75 anos, incluindo equipamentos e instalação. Nesta métrica, a título indicativo, realça-se que existe uma diferença significativa entre o caso do Motor 1 e o do Motor 2, uma vez que, considerando só o custo dos equipamentos principais – motores e VSD –, pois o custo da instalação foi calculado para a intervenção global, o prazo de retorno simples do Motor 1 é de 2,66 anos e o do Motor 2 é de 7,73 anos.

O VAL é claramente positivo e o projeto global alcança um IR de 79,79%. A TIR calculada é de 20,11%, estando acima do limite superior do intervalo em que, segundo (Andersen et al., 2019), se situam tipicamente as TRmin requeridas pelos investidores industriais, para projetos de eficiência energética.

Estes resultados consideram unicamente os ganhos em termos de eficiência energética, pelo que serão ainda mais significativos, se se entrar em linha de conta com outros benefícios

(e.g., redução de custos de manutenção, diminuição de tempos de paragem), já anteriormente assinalados neste documento, resultantes da renovação dos equipamentos.

Assim, como decorre da análise realizada, este projeto apresenta boas condições para ser considerado economicamente viável e para ser implementado.

Tabela 2.12 – Caso 1: Cálculo dos indicadores para análise da viabilidade económica

| Análise da Viabilidade Económica | |
|---|------------------|
| Vida útil dos motores (anos) | 17 |
| Motor 1 - Substituição de motor DC existente por motor síncrono de relutância e ímanes permanentes, de classe IE5 | |
| Δ Potência Absorvida/ano (kW) | -11,23 |
| Δ Consumo Energia Elétrica/ano (kWh) | -92 404,99 |
| Δ Custo Eletric. Consumida/ano (€) | -10 811,38 |
| <i>Investimento - Motor 1500 LSHRM280MU 220kW(€):</i> | <i>16 905,00</i> |
| <i>Investimento VSD M700-104-03770E e acessórios (€):</i> | <i>11 820,86</i> |
| <i>Prazo de retorno simples Motor+VSD (anos):</i> | <i>2,66</i> |
| Motor 2 - Substituição de motor DC existente por motor síncrono de relutância e ímanes permanentes, de classe IE5 | |
| Δ Potência Absorvida/ano (kW) | -2,49 |
| Δ Consumo Energia Elétrica/ano (kWh) | -20 501,99 |
| Δ Custo Eletric. Consumida/ano (€) | -2 398,73 |
| <i>Investimento - Motor 1500 LSHRM315SN1 110kW (€):</i> | <i>11 044,60</i> |
| <i>Investimento VSD M700-094-02000A e acessórios (€):</i> | <i>7 495,39</i> |
| <i>Prazo de retorno simples Motor+VSD (anos):</i> | <i>7,73</i> |
| Projeto Global - Substituição de dois motores DC existentes, por motores síncronos de relutância e ímanes permanentes, de classe IE5 | |
| Δ Potência Absorvida/ano (kW) | -13,72 |
| Δ Consumo Energia Elétrica/ano (kWh) | -112 906,99 |
| Δ Custo Eletric. Consumida/ano (€) | -13 210,12 |
| <i>Investimento nos motores e VSDs (€):</i> | <i>47 265,85</i> |
| <i>Mão-de-obra e materiais para a instalação (€):</i> | <i>15 510,00</i> |
| Investimento Total (€): | 62 775,85 |
| Taxa de Atualização | 9,0% |
| Prazo de retorno Simples (anos) | 4,75 |
| VAL - Valor Atualizado Líquido (€) | 50 086,53 |
| IR - Índice de Rentabilidade (%) | 79,79% |
| TIR - Taxa Interna de Rentabilidade (%) | 20,11% |

2.4.1.2 Caso 2 - Substituição de um motor de assíncrono, por um motor de elevada eficiência

Neste caso, analisa-se a substituição de um motor assíncrono, de 30 kW, existente numa central de despoeiramento, numa indústria têxtil, por um motor novo de elevada eficiência. O motor existente encontra-se associado a um VSD.

Analisa-se duas alternativas para a sua substituição, nomeadamente:

- o Opção A - Um motor assíncrono T4C 200L-4 B3 1480rpm – Classe IE4 – de marca Techtop, com VSD do tipo H300-064-00630A – Control Techniques;
- o Opção B: Um PMASyncRM 1500 LSHRM 200LQ1 30 kW B3– Classe IE5 – de marca Leroy Somer, com VSD do tipo H300-064-00630A– Control Techniques.

As fichas técnicas dos motores propostos, apresentam-se no Anexo II.

As características dos variadores de velocidade da marca Control Techniques, poderão ser consultadas em (Control Techniques, 2024).

Na Tabela 2.13 apresentam-se as condições de exploração deste acionamento e, na Tabela 2.14, apresentam-se as principais características técnicas do motor assíncrono existente na instalação, bem como dos motores alternativos, propostos para a sua substituição.

O funcionamento do variador de velocidade, devido à modulação do sinal pela sua unidade inversora (PVD – *Pulse Width Modulation*), injeta um conteúdo harmónico, que provoca uma depreciação do rendimento do motor.

Este efeito foi considerado nos cálculos, tendo sido considerada uma redução de 1,5% no rendimento do motor respetivo, de acordo com (Jassim et al., 2021), tanto para o caso do motor existente, como para o novo motor assíncrono proposto, de classe de eficiência IE4 (Opção A).

No caso do novo motor síncrono de relutância e ímanes permanentes, de classe de eficiência IE5 (Opção B), o rendimento é dado em conformidade com a norma IEC 61800-9-2 que, agregando o sistema [VSD + Motor], já incorpora este efeito.

Também neste caso, qualquer das soluções propostas proporciona um aumento do rendimento do motor utilizado, que passa de 90,24% na solução existente, para 93,40% na Opção A e para 94,70%, na Opção B.

Tabela 2.13 – Caso 2: Condições de exploração

| Condições de Exploração | |
|---|-------|
| Horas Funcionamento/ano (h) | 6 912 |
| Fator de carga (%) ⁽¹⁾ | 80% |
| Preço médio da energia elétrica (€/kWh) | 0,125 |

⁽¹⁾ - Definido em relação à potência nominal do motor AC existente

Tabela 2.14 – Caso 2: Características técnicas do motor existente e dos novos motores propostos

| Motor AC assíncrono existente | | Opção A - Novo motor AC assíncrono, classe IE4 | | Opção B - Novo motor AC síncrono de relutância e ímanes permanentes, classe IE5 | |
|---|-------------|---|------------|---|------------------|
| Marca | ABB | Marca | TECHTOP | Marca | LEROY SOMER |
| Modelo | M2AA 200L-4 | Modelo | T4C 200L-4 | Modelo | 1500 LSHRM200LQ1 |
| Potência Nominal (kW) | 30 | Potência Nominal (kW) | 30 | Potência Nominal (kW) | 30 |
| Tensão de Excitação (V) | 400 | Tensão (V) | 400 | Tensão (V) | 400 |
| Corrente de Excitação (A) | 59 | Corrente (A) | 53,68 | Corrente (A) | 57 |
| Fator de Potência | 0,8 | Fator de Potência | 0,85 | Fator de Potência | |
| Velocidade (rpm) | 1470 | Velocidade (rpm) | 1480 | Velocidade (rpm) | 1500 |
| Binário (Nm) | 194,9 | Binário (Nm) | 193,6 | Binário (Nm) | 191,0 |
| Rendimento (%) | 91,74% | Rendimento (%) | 94,90% | Rendimento (IEC 61800-9-2) (%) | 94,70% |
| Rendimento degradado (conteúdo harmónico) (%) | 90,24% | Rendimento degradado (conteúdo harmónico) (%) | 93,40% | | |
| Cálculo (anual, nas Condições de Exploração) | | Cálculo (anual, nas Condições de Exploração) | | Cálculo (anual, nas Condições de Exploração) | |
| Potência Absorvida (kW) | 26,60 | Potência Absorvida (kW) | 25,70 | Potência Absorvida (kW) | 25,34 |
| Consumo Eletricidade (kWh) | 183 830 | Consumo Eletricidade (kWh) | 177 609 | Consumo Eletricidade (kWh) | 175 172 |
| Custo Eletric. Consumida (€) | 22 978,73 | Custo Eletric. Consumida (€) | 22 201,13 | Custo Eletric. Consumida (€) | 21 896,52 |

Na Tabela 2.15, apresenta-se a análise da viabilidade económica do projeto, comparando a Opção A e a Opção B, com base nos ganhos resultantes do aumento de eficiência energética - em cada uma das opções - e nos respetivos valores de investimento.

O valor do investimento, em cada uma das opções, inclui o custo dos equipamentos principais – motor e VSD -, bem como o montante relativo aos fornecimentos e serviços necessários para a substituição do motor existente, pela nova solução.

O investimento necessário na Opção B, é cerca de 19,6% superior ao investimento correspondente à opção A, devido à diferença de preço dos respetivos motores. O motor de relutância e ímanes permanentes, de classe IE5, é cerca de 48% mais caro do que o motor IE4. Os custos correspondentes ao VSD e à instalação, são iguais nas duas opções.

Tal como para o Caso 1, considerou-se uma taxa de atualização de 9%, de acordo com o utilizado no modelo PRIMES, para este tipo de indústria (EC, 2021) e um horizonte temporal de 17 anos, coincidente com a vida útil esperada dos motores (Zuberi & Patel, 2018).

Ambas as opções apresentam um VAL positivo, pelo que se pode considerar que, nas condições indicadas, qualquer das opções gera valor.

Comparando as duas soluções, pode concluir-se que o valor mais elevado do investimento, correspondente à Opção B, é compensado pela sua maior eficiência energética, uma vez que esta opção apresenta resultados melhores, ao nível dos indicadores analisados, tendo um VAL, um IR e uma TIR superiores aos da Opção A.

Segundo (Andersen et al., 2019), a TRmin requerida pelas indústrias para projetos de eficiência energética, situa-se geralmente entre os 10% e os 20%. A Opção B apresenta uma TIR de 19,27%, muito próxima do limite superior deste intervalo. A TIR calculada para a Opção A é de 16,05%, também dentro do intervalo referido, embora inferior à da Opção B.

No caso da Opção B, pode considerar-se que existem boas possibilidades de poder ser aceite como projeto de investimento, pela maioria dos investidores. No caso da Opção A, embora todos os indicadores analisados apontem para a sua viabilidade económica, uma vez que a sua TIR se situa sensivelmente a meio de um intervalo de valores típicos para a TRmin, alguns investidores poderão considerar que a sua rentabilidade não é suficientemente atrativa, para este tipo de investimentos. Adicionalmente, o prazo de retorno simples da Opção B é de 4,93 anos, sendo inferior ao da Opção A, que é de 5,74 anos.

Assim, pela análise efetuada, a Opção B, que corresponde à substituição do motor assíncrono existente, por um motor síncrono de relutância e ímanes permanentes, apresenta maior viabilidade económica e tem mais probabilidades de cumprir todos os critérios de aceitação, para aprovação do investimento.

Tabela 2.15 – Caso 2: Cálculo dos indicadores para análise da viabilidade económica

| Análise da Viabilidade Económica | | | |
|--|-----------------|---|-----------------|
| Opção A - Novo motor AC assíncrono, classe IE4 (versus motor existente) | | Opção B - Novo motor AC síncrono de relutância e ímanes permanentes, classe IE5 (versus motor existente) | |
| Vida útil dos motores (anos) | 17 | Vida útil dos motores (anos) | 17 |
| Δ Potência Absorv./ano (kW) | -0,90 | Δ Potência Absorv./ano (kW) | -1,25 |
| Δ Consumo Elétrico/ano(kWh) | -6 220,79 | Δ Consumo Elétrico/ano(kWh) | -8 657,71 |
| Δ Custo Eletric. Cons./ano (€) | -777,60 | Δ Custo Eletric. Cons./ano (€) | -1 082,21 |
| <i>Investimento - Motor T4C 30kW 4P 200B3 IE4 (€):</i> | <i>1 822,41</i> | <i>Investimento - Motor 1500 LSHRM200LQ1 30kW IE5 (€):</i> | <i>2 697,33</i> |
| <i>Investimento VSD H300-064-00630A e acessórios (€):</i> | <i>1 687,56</i> | <i>Investimento VSD H300-064-00630A e acessórios (€):</i> | <i>1 687,56</i> |
| <i>Mão-de-obra e materiais para a instalação (€):</i> | <i>950,00</i> | <i>Mão-de-obra e materiais para a instalação (€):</i> | <i>950,00</i> |
| Investimento Total (€): | 4 459,97 | Investimento Total (€): | 5 334,89 |
| Taxa de Atualização | 9,0% | Taxa de Atualização | 9,0% |
| Prazo de retorno Simples (anos) | 5,74 | Prazo de retorno Simples (anos) | 4,93 |
| VAL - Valor Atualizado Líquido (€) | 2 183,55 | VAL - Valor Atualizado Líquido (€) | 3 911,14 |
| IR - Índice de Rentabilidade (%) | 48,96% | IR - Índice de Rentabilidade (%) | 73,31% |
| TIR - Taxa Interna de Rentabilidade (%) | 16,05% | TIR - Taxa Interna de Rentabilidade (%) | 19,27% |

2.4.1.3 Caso 3 - Substituição de um motor de assíncrono, sem variação de velocidade, por um motor de elevada eficiência

Neste caso, analisa-se a substituição de um motor de indução assíncrono, de 11 kW, existente numa indústria têxtil e utilizado numa aplicação industrial sem necessidade de velocidade variável, por um motor novo de elevada eficiência.

Analisa-se duas alternativas para a sua substituição:

- o Opção A: Um motor assíncrono T4C 160M-4 B5 1475rpm – Classe IE4 – de marca Techtotop, sem VSD;
- o Opção B: Um PMASyncRM 1500 LSHRM 160MR1 11 kW B5 – Classe IE4 – de marca Leroy Somer, com VSD do tipo F600-044-00240A – Control Techniques.

As fichas técnicas dos motores propostos, apresentam-se no Anexo III.

As características do variador de velocidade da marca Control Techniques, poderão ser consultadas em (Control Techniques, 2024).

Neste caso, para a potência requerida para o acionamento, o motor síncrono de relutância e ímanes permanentes proposto pelo fabricante Leroy Somer, enquadra-se na classe de eficiência IE4.

Na Tabela 2.16 apresentam-se as condições de exploração deste acionamento e, na Tabela 2.17, apresentam-se as principais características técnicas, quer do motor assíncrono existente na instalação, quer das alternativas estudadas para a sua substituição.

Esta aplicação não necessita de velocidade variável, pelo que a Opção A considera a substituição do motor existente, por um motor assíncrono de classe de eficiência IE4, sem VSD. O motor síncrono de relutância e ímanes permanentes, destina-se a ser explorado com variação de velocidade, pelo que, na Opção B, considera-se o fornecimento deste motor, com um variador de velocidade compatível.

Constata-se que qualquer das opções propostas para a substituição do motor existente, conduz a uma considerável melhoria na eficiência energética do acionamento, uma vez que se passaria de um rendimento de 81,53% do motor existente, para um rendimento de 94,13% na opção A e para um rendimento de 94,10% na opção B.

O rendimento previsto na Opção B, é determinado em conformidade com a norma IEC 61800-9-2, considerando o rendimento do conjunto Motor + VSD. Neste caso, o rendimento do sistema é ligeiramente inferior ao rendimento do motor de classe IE4, previsto na Opção A.

Tabela 2.16 – Caso 3: Condições de exploração

| Condições de Exploração | |
|---|-------|
| Horas Funcionamento/ano (h) | 4 704 |
| Fator de carga (%) ⁽¹⁾ | 75% |
| Preço médio da energia elétrica (€/kWh) | 0,110 |

⁽¹⁾ - Definido em relação à potência nominal do motor AC existente

Tabela 2.17 – Caso 3: Características técnicas do motor existente e dos novos motores propostos

| Motor AC assíncrono existente | | Opção A - Novo motor AC assíncrono, classe IE4 | | Opção B - Novo motor AC síncrono de relutância e ímanes permanentes, classe IE4 | |
|---|-------------------|---|------------------|---|------------------|
| Marca | <i>(Ilegível)</i> | Marca | TECHTOP | Marca | LEROY SOMER |
| Modelo | <i>(Ilegível)</i> | Modelo | T4C 160M-4 | Modelo | 1500 LSHRM160MR1 |
| Potência Nominal (kW) | 11 | Potência Nominal (kW) | 11 | Potência Nominal (kW) | 11 |
| Tensão de Excitação (V) | 380 | Tensão (V) | 400 | Tensão (V) | 400 |
| Corrente de Excitação (A) | 25 | Corrente (A) | 20,57 | Corrente (A) | 21 |
| Fator de Potência | 0,82 | Fator de Potência | 0,82 | Fator de Potência | |
| Velocidade (rpm) | 1460 | Velocidade (rpm) | 1475 | Velocidade (rpm) | 1500 |
| Binário (Nm) | 72,0 | Binário (Nm) | 71,2 | Binário (Nm) | 70,0 |
| Rendimento (%) | 81,53% | Rendimento (%) | 94,13% | Rendimento (IEC 61800-9-2) (%) | 94,10% |
| Rendimento degradado (conteúdo harmónico) (%) | <i>(Sem VSD)</i> | Rendimento degradado (conteúdo harmónico) (%) | <i>(Sem VSD)</i> | | |
| Cálculo (anual, nas Condições de Exploração) | | Cálculo (anual, nas Condições de Exploração) | | Cálculo (anual, nas Condições de Exploração) | |
| Potência Absorvida (kW) | 10,12 | Potência Absorvida (kW) | 8,76 | Potência Absorvida (kW) | 8,77 |
| Consumo Eletricidade (kWh) | 47 602 | Consumo Eletricidade (kWh) | 41 228 | Consumo Eletricidade (kWh) | 41 241 |
| Custo Eletric. Consumida (€) | 5 236,24 | Custo Eletric. Consumida (€) | 4 535,13 | Custo Eletric. Consumida (€) | 4 536,54 |

Na Tabela 2.18, apresenta-se a análise da viabilidade económica deste projeto, comparando as alternativas, tendo em consideração o valor dos respetivos investimentos e os correspondentes ganhos resultantes do aumento da eficiência energética.

Tal como na análise dos casos anteriores, considerou-se uma taxa de atualização de 9%, de acordo com o utilizado no modelo PRIMES, para este tipo de indústria (EC, 2021) e um horizonte temporal de 17 anos, coincidente com a vida útil esperada dos motores (Zuberi & Patel, 2018).

No que respeita ao investimento necessário, o motor considerado na Opção B é cerca de 32,5% mais caro do que o da Opção A, o que, associado ao facto de o motor previsto na Opção B necessitar de um VSD, torna o investimento necessário à Opção B significativamente mais elevado do que o da Opção A, que não inclui VSD, uma vez que esta aplicação industrial não necessita de velocidade variável.

As consideráveis melhorias no rendimento do motor, face ao motor existente, conduzem a ganhos energéticos que asseguram um VAL positivo em qualquer das opções e um prazo de retorno simples de 2,36 anos na Opção A e de 4,50 anos na Opção B.

Qualquer das opções apresenta ainda uma TIR superior a 20%, que se considera ser o limite até ao qual a maioria dos investidores coloca a sua TRmin, para projetos de eficiência energética (Andersen et al., 2019), sendo de destacar o valor elevado da TIR calculada para a Opção A, de 42,21%.

Assim, pode considerar-se que ambas as alternativas reúnem as condições para serem consideradas economicamente viáveis e aprovadas para investimento, mas, da comparação entre as duas, ressalta que a Opção A, que considera a utilização de um motor assíncrono de classe IE4, apresenta melhores valores em todos os indicadores e, portanto, maior viabilidade.

Tabela 2.18 – Caso 3: Cálculo dos indicadores para análise da viabilidade económica

| Análise da Viabilidade Económica | | | |
|---|-----------------|--|-----------------|
| Opção A - Novo motor AC assíncrono, classe IE4 (versus motor existente) | | Opção B - Novo motor AC síncrono de relutância e ímanes permanentes, classe IE4 (versus motor existente) | |
| Vida útil dos motores (anos) | 17 | Vida útil dos motores (anos) | 17 |
| Δ Potência Absorv./ano (kW) | -1,35 | Δ Potência Absorv./ano (kW) | -1,35 |
| Δ Consumo Elétrico/ano(kWh) | -6 373,68 | Δ Consumo Elétrico/ano(kWh) | -6 360,93 |
| Δ Custo Eletric. Cons./ano (€) | -701,10 | Δ Custo Eletric. Cons./ano (€) | -699,70 |
| Investimento - Motor T4C 160M-4 11kW 200B3 IE4 (€): | 981,63 | Investimento - Motor 1500 LSHRM160MR1 11kW IE5(€): | 1 300,73 |
| Investimento VSD e acessórios (€): | (Sem VSD) | Investimento VSD F600-044-00240A e acessórios (€): | 895,66 |
| Mão-de-obra e materiais para a instalação (€): | 675,00 | Mão-de-obra e materiais para a instalação (€): | 950,00 |
| Investimento Total (€): | 1 656,63 | Investimento Total (€): | 3 146,39 |
| Taxa de Atualização | 9% | Taxa de Atualização | 9% |
| Prazo de retorno Simples (anos) | 2,36 | Prazo de retorno Simples (anos) | 4,50 |
| VAL - Valor Atualizado Líquido (€) | 4 333,35 | VAL - Valor Atualizado Líquido (€) | 2 831,61 |
| IR - Índice de Rentabilidade (%) | 261,58% | IR - Índice de Rentabilidade (%) | 90,00% |
| TIR - Taxa Interna de Rentabilidade (%) | 42,21% | TIR - Taxa Interna de Rentabilidade (%) | 21,42% |

2.4.2 Análises de sensibilidade

As condições de exploração de um acionamento, influem na rentabilidade potencial de um projeto de melhoria da eficiência energética. Quanto mais intensiva for a utilização da energia elétrica, mais significativo será o ganho resultante da implementação da solução.

Com efeito, a variação do custo anual da energia elétrica, resultante da implementação de uma nova solução, com um motor elétrico mais eficiente, por comparação com a situação inicial, pode ser calculada como:

$$\Delta C = P_n \cdot H \cdot F_c \cdot P_e \cdot \left(\frac{1}{\eta_2} - \frac{1}{\eta_1} \right)$$

Em que:

ΔC Variação do custo anual de energia elétrica (€);

P_n Potência nominal (W);

H Total de horas de funcionamento no ano (h);

F_c Fator de carga, em relação à potência nominal;

P_e Preço médio da energia elétrica (€/Wh)

η_1 Rendimento do motor inicialmente existente (%);

η_2 Rendimento do novo motor ou sistema (%).

Assim, considerando que a potência nominal se mantém, o ganho resultante da melhoria do rendimento, será diretamente proporcional ao número de horas de funcionamento no ano e ao fator de carga em relação à potência nominal.

Como se constata, o custo anual com energia elétrica, variará também, linearmente, em função das alterações do preço médio de energia elétrica.

Na Figura 2.9 representa-se o comportamento da TIR e do VAL do Caso 1, em função da variação anual do preço médio de energia elétrica. Os dados apresentados referem-se a uma análise da sensibilidade destas variáveis, em função de variações anuais do preço médio de energia elétrica, entre -9,3% e +9,3%, durante todo o período estudado, considerando que as restantes condições de exploração se mantêm inalteradas. Este intervalo foi selecionado de forma a permitir abarcar o valor que conduz a um VAL nulo (Ponto C).

Conforme anteriormente referido, a TIR do projeto, com um preço médio de energia elétrica constante, é de 20,11% (Ponto A). A TIR varia linearmente com o preço médio da energia elétrica.

Testando uma variação anual do preço médio de energia elétrica de -2,0%, ao longo da vida útil dos equipamentos, obtém-se uma TIR de 17,71% (Ponto B), ainda dentro do intervalo de aceitação possível (zona assinalada a amarelo, na Figura 2.9), em que se situam as TRmin habitualmente requeridas pelos investidores, para projetos de eficiência energética (Andersen et al., 2019).

Neste projeto, a TIR atinge o valor da taxa de atualização, isto é 9% (Ponto C), situação na qual o VAL se anula e em que pode considerar-se que o projeto não gera valor, no caso de se verificar uma variação anual do preço médio de energia elétrica de -9,25%, ao longo de todo o período em análise, o que, face às perspetivas de evolução indicadas em (EC, 2021), se afigura muito improvável.

Inversamente, uma variação positiva origina um aumento da TIR que, se se vier a verificar um aumento anual de 1% do preço médio da energia elétrica ao longo do período estudado, por exemplo, atinge o valor de 21,31% (ponto D).

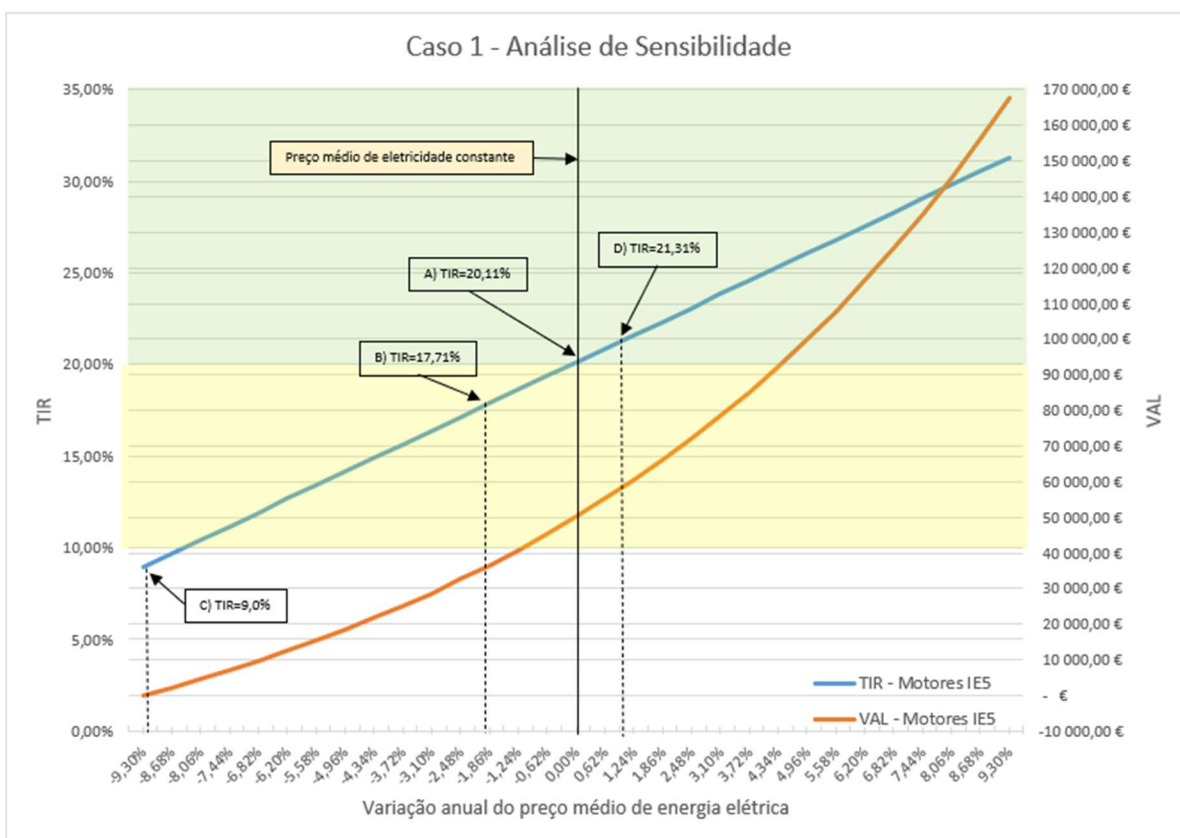


Figura 2.9 – Caso 1: TIR e VAL - Evolução em função da variação do preço médio da energia elétrica

Na Figura 2.10 representa-se o comportamento da TIR e do VAL do Caso 2, para a Opção B, de utilização de um motor de classe de eficiência IE5, em função da variação anual do preço médio de energia elétrica.

Analisou-se a sensibilidade das variáveis TIR e VAL, em função de variações anuais do preço médio de energia elétrica, entre -10,5% e +10,5%, durante o período estudado, considerando que as restantes condições de exploração se mantêm inalteradas. Este intervalo foi selecionado de forma a permitir abarcar o valor que conduz a um VAL nulo (Ponto H).

Conforme anteriormente referido, a TIR do projeto, com um preço médio de energia elétrica constante, é de 19,27% (Ponto E), muito próximo do valor de 20%, limite até ao qual a maioria das empresas fixa a sua TRmin (Andersen et al., 2019). A TIR de 20,0% é alcançada se se vier a verificar uma variação anual do preço de energia elétrica de +0,61% (Ponto F).

Verificando-se uma redução do preço médio da energia elétrica de, por exemplo, -2,0% em cada ano, a TIR fixar-se-á em 16,89% (Ponto G), ainda dentro do intervalo de possível aceitação (zona assinalada a amarelo, na Figura 2.10), ficando a sua implementação dependente da TRmin requerida por cada investidor.

Para que a TIR se reduzisse até 9% (valor da taxa de atualização considerada), caso em que o VAL se anularia, o preço da energia elétrica teria de apresentar, em todo o período analisado, uma variação anual de -8,61% (Ponto H), o que se estima ser muito improvável, tendo em conta a projeção feita em (EC, 2021).

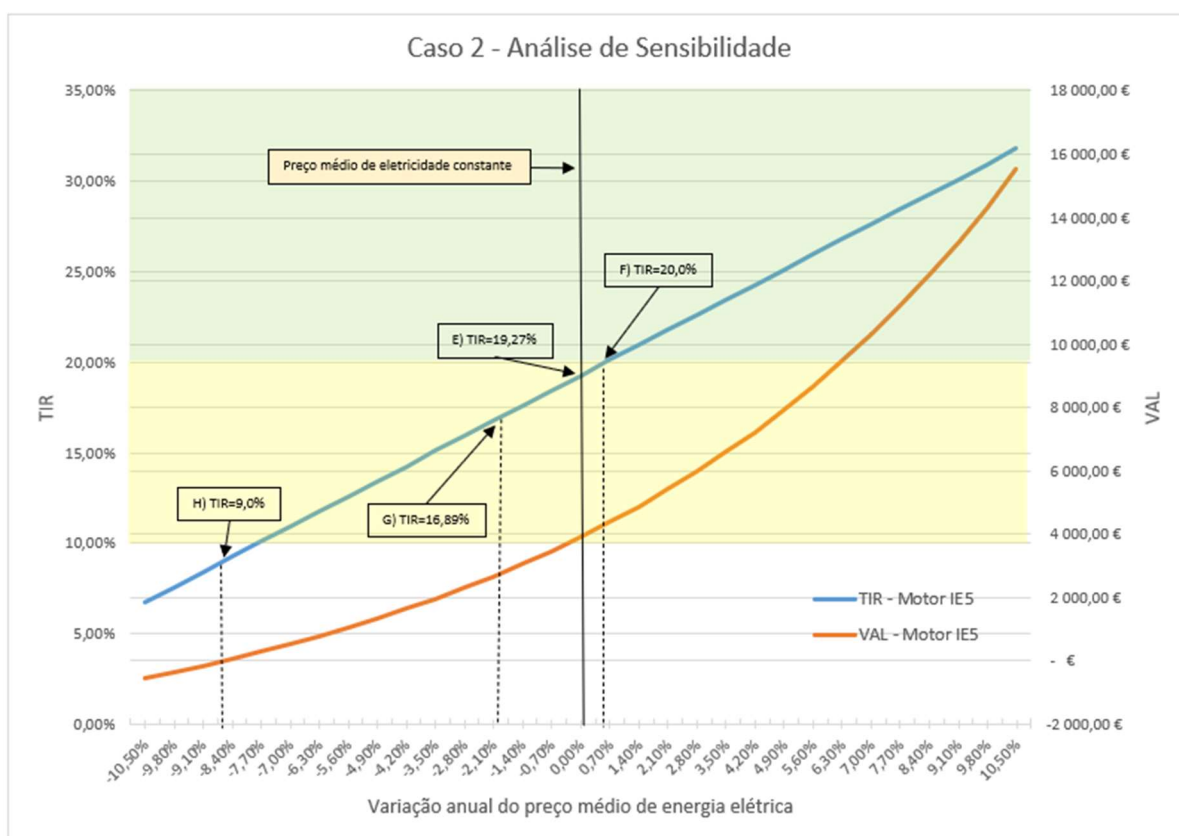


Figura 2.10 – Caso 2: TIR e VAL - Evolução em função da variação do preço médio da energia elétrica

Por fim, na Figura 2.11 representa-se o comportamento da TIR e do VAL em função da variação anual do preço médio da energia elétrica, para a Opção A do Caso 3, em que se considera a utilização de um motor AC assíncrono, de classe IE4, sem VSD.

Analisou-se a sensibilidade das variáveis TIR e VAL, em função de variações anuais do preço médio de energia elétrica, entre -15,75% e +15,75%, durante todo o período estudado, considerando que as restantes condições de exploração se mantêm inalteradas. Este intervalo foi selecionado de forma a permitir abarcar o valor que conduz a TIR=20% (Ponto J).

A TIR do projeto, considerando o preço da energia elétrica constante em todo o período, é de 42,21% (Ponto I), claramente acima do limiar de 20% até ao qual se estabelecem as TRmin da maioria dos investidores.

O limiar TIR = 20% só se atinge para uma variação muito significativa – e improvável, segundo as projeções de (EC, 2021) – do preço da energia elétrica, de -15,59% (Ponto J).

Se se considerar que, no ciclo de vida do projeto, a variação anual do preço da energia elétrica se irá situar num intervalo de $\pm 4,0\%$, por exemplo, a TIR deste projeto oscilará entre 36,53% (Ponto K) e 47,90% (Ponto L), assegurando, em qualquer dos casos, níveis de rentabilidade muito apreciáveis.

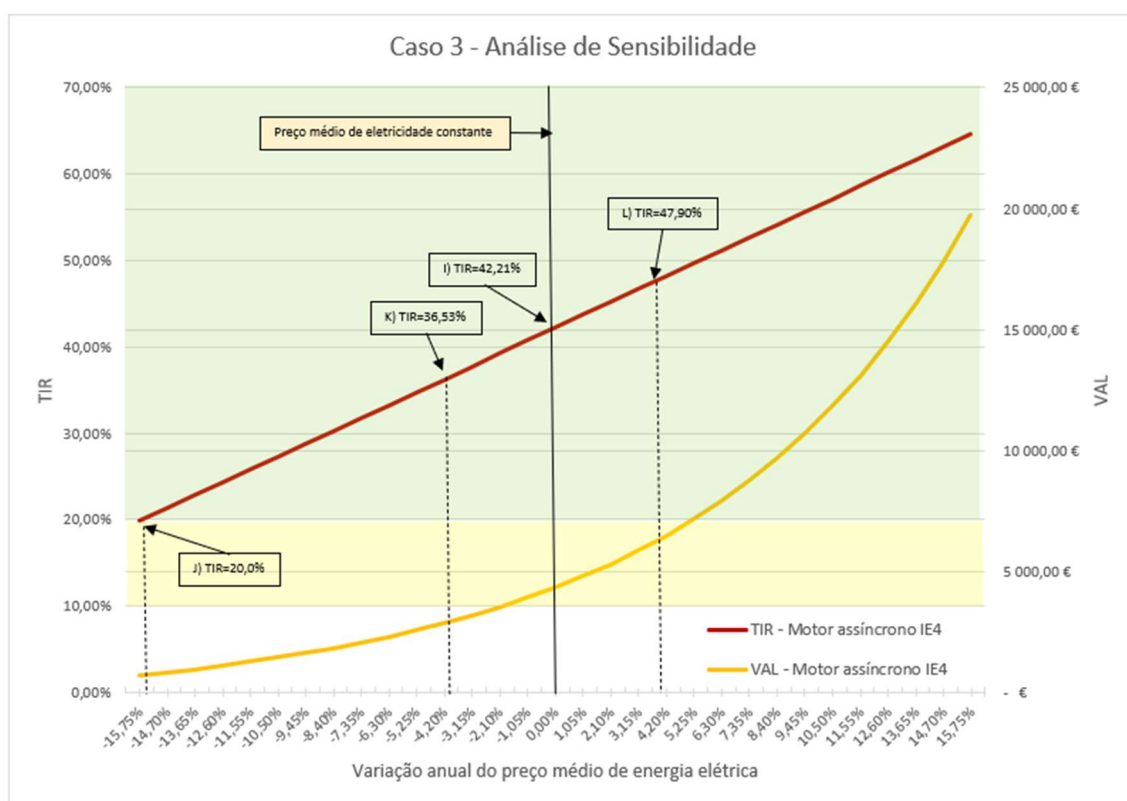


Figura 2.11 – Caso 3: TIR e VAL - Evolução em função da variação do preço médio da energia elétrica

2.5 Conclusões

A eficiência energética é reconhecidamente um dos principais vetores de desenvolvimento, que poderão contribuir decisivamente para o cumprimento dos objetivos traçados no Acordo de Paris (UN, 2015), em relação à redução de emissões de gases com efeito de estufa.

A melhoria da eficiência dos sistemas acionados por motores elétricos (EMDS), que se estima que correspondam a cerca de 53% do consumo mundial de eletricidade e a 65% da energia elétrica consumida na indústria (IEA, 2016), (IEA, 2023b), constitui uma das medidas com maior impacto na prossecução destes objetivos.

Os EMDS apresentam um considerável potencial de redução de consumos, quer pela utilização de motores elétricos mais eficientes, quer pela adoção de medidas que incidam sobre a melhoria do desempenho energético do sistema integrado, conforme foi discutido neste documento. Neste contexto, o desenvolvimento de motores elétricos de elevada eficiência tem vindo a ser alavancado pela definição de novas classes de eficiência, em particular as classes IE4 e IE5 e pela definição de MEPS que enquadram a sua aplicação, de que é exemplo a Diretiva Eurodesign, na UE.

A definição destas normas e diretivas, associada à pressão de mercado - fruto da necessidade de redução de custos energéticos pelas empresas -, a uma crescente consciencialização ambiental e ao efeito da concorrência entre os fabricantes dos equipamentos, tem induzido desenvolvimentos tecnológicos que têm permitido a introdução no mercado de motores elétricos mais eficientes, nomeadamente os PMSM, SyncRM e PMASyncRM, de classe de eficiência IE5.

As soluções de motores elétricos de classe IE5 ainda não estão maduras e há fabricantes que, para já, ainda não as estão a disponibilizar, mas constituem uma tendência de mercado que condicionará desenvolvimentos futuros. Note-se, no entanto, que os motores elétricos de elevada eficiência, no estado atual de desenvolvimento tecnológico, permitem ganhos energéticos significativos, que já conduzem muitas vezes a projetos com níveis de rentabilidade interessantes, que satisfazem as exigências dos investidores para projetos desta natureza e permitem a sua implementação.

Em particular, na fase atual do ciclo de vida destas tecnologias, a existência de programas de incentivo à implementação de soluções energeticamente eficientes, poderá ser um catalisador importante para a sua difusão, contribuindo para aumentar a rentabilidade dos projetos e diminuir o seu prazo de retorno, tornando-os, assim, mais atrativos para os investidores.

Como perspetivas de futuro, será de esperar que se continuem a registar desenvolvimentos que permitam disponibilizar equipamentos ainda mais eficientes e que as tecnologias no domínio dos motores elétricos de elevada eficiência atinjam um maior grau de maturidade, sejam disponibilizadas por um maior número de fabricantes e se tornem economicamente mais acessíveis.

É também expectável que os agentes do mercado diminuam a sua perceção de risco em relação a investimentos relacionados com o aumento da eficiência energética, passando a requerer taxas de rentabilidade progressivamente menos exigentes, fruto de uma crescente consciencialização ambiental, de um melhor conhecimento e domínio das soluções e da

constatação dos resultados e vantagens resultantes dos projetos já implementados - que constituirão referências importantes para alavancar novos investimentos.

Da conjugação destes fatores, será de prever que os projetos de implementação de motores elétricos de elevada eficiência aumentem progressivamente a sua rentabilidade e atratividade e que a sua adoção se venha a tornar mais generalizada.

DESCRIÇÃO DETALHADA DO *CURRICULUM VITAE*

Neste capítulo apresenta-se uma descrição detalhada do *Curriculum Vitae* do candidato, incluindo a formação académica, outras formações complementares e a experiência profissional adquirida ao longo de toda a carreira.

No âmbito da experiência profissional, são também elencados os principais projetos desenvolvidos, sobretudo no setor industrial e no setor das infraestruturas.

3.1 Formação académica

- A) Licenciatura pré-Bolonha (curso de 5 anos letivos de duração), em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Ramo de Energia e Sistemas, no Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, concluída em 1994, com a classificação final de 14 valores (14/20).

No âmbito deste curso, foi realizado um trabalho final de curso subordinado ao tema “Estudo da integração da cascata hipossíncrona em redes de baixa potência de curto-circuito”, aplicado à construção de uma central de aproveitamento de energia das ondas, na Ilha do Pico - Açores, orientado pelo Professor José Ferreira de Jesus e pelo Professor Gil Domingos Marques, a que foi atribuída a classificação final de 19 valores (19/20);

- B) Conclusão do MBA – *Master in Business Administration*, na Faculdade de Ciências Económicas e Empresariais da Universidade Católica Portuguesa, em 2003, com a classificação final de 16 valores (16/20);

- C) Frequência e conclusão do PGER – Programa de Gestão de Energias Renováveis, também na Faculdade de Ciências Económicas e Empresariais da Universidade Católica Portuguesa, em 2007.

Os correspondentes certificados de habilitações, apresentam-se no Anexo IV.

3.2 Outros cursos de formação

Foram ainda realizados vários cursos de formação, em paralelo com o desenvolvimento da atividade profissional, de que se destacam os seguintes:

- o Formação Pedagógica Inicial de Formadores, ministrado pela Talentus, em 2006, que conferiu acesso ao Certificado de Aptidão Profissional de Formador, pelo Sistema Nacional de Certificação Profissional, em 2007;
- o "*Solution Selling® for Sales Execution*", ministrado por SPI – Sales Performance International, em 2010;
- o "*Sistemas e dispositivos de controlo de fumo*", ministrado pela APSEI – Associação Portuguesa de Segurança, em 2012;
- o "*On the Way to the Future - Level II*", ministrado pela Porto Business School, entre 2019 e 2020;
- o "*Negotiations*", ministrado por Wharton – University of Pennsylvania, em 2022;
- o "*International Leadership and Organizational Behavior*", ministrado pela Università Bocconi (Milão), em 2022;
- o "*Introduction to Negotiation: A Strategic Playbook for Becoming a Principled and Persuasive Negotiator*", ministrado pela Yale University, em 2023;
- o "*Corporate Strategy*", University of London – UCL School of Management, em 2023.

Os certificados correspondentes a estes cursos de formação, apresentam-se no Anexo V.

3.3 Experiência profissional

O percurso profissional iniciou-se imediatamente após a conclusão da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, em 1994, tendo-se desenvolvido predominantemente no domínio dos sistemas de energia, em áreas como:

- o Equipamentos para as redes de distribuição e transporte de energia elétrica, nomeadamente, transformadores de potência e de distribuição, quadros elétricos BT e MT, seccionadores e disjuntores de AT e subestações móveis;
- o Fornecimento de energia elétrica no âmbito do sistema elétrico não vinculado, em MT e BTE;
- o Integração de soluções de aproveitamento de energias renováveis para produção de energia elétrica;
- o Desenvolvimento de soluções eficientes para produção de energia elétrica e térmica, nomeadamente, centrais de cogeração e trigeração;
- o Implementação de soluções de eficiência energética, tais como: integração de variação de velocidade, utilização de motores elétricos de elevado rendimento, *software* de monitorização e gestão de energia.

Indicam-se nas subsecções seguintes, as principais experiências profissionais.

3.3.1 Efacec Energia, Máquinas e Equipamentos Elétricos, S.A.

Ingresso em 1994, como Engenheiro de Projeto, dedicado ao projeto elétrico e mecânico de equipamentos de MT, em particular no domínio dos quadros elétricos MT, do tipo fixo ou extraível, para aplicações industriais, para *utilities*, ou para instalações terciárias de grande dimensão. Estas funções incluíam:

- o Dimensionamento dos equipamentos, análise de especificações técnicas e de cadernos de encargos, seleção de equipamentos, elaboração de propostas, negociação, acompanhamento de gabinetes de projeto e departamentos técnicos dos clientes, interface com os departamentos fabris;
- o Lançamento de encomendas em produção, elaboração de esquemas elétricos e de listas de material;
- o Conhecimento aprofundado de equipamentos de proteção, analógicos e digitais, equipamentos de medida e de contagem de energia, controlo, comando e automação. Desenvolvimento de relações com os principais fabricantes.

Alguns projetos relevantes nesta função, incluem:

- o Ampliação da Central Elétrica de Belo Jardim, da EDA, Eletricidade dos Açores, S.A. através do *main contractor* BWSC – Burmeister & Wain Scadinavian Contractor, que incluiu o fornecimento de um quadro elétrico MT (36 kV), extraível (gama Qbn7, da Efacec), com disjuntores de tecnologia de corte em SF₆ e proteções digitais de fabrico CEE;

- o CP – Comboios de Portugal – quadros elétricos de Média Tensão (12 kV), com disjuntores de tecnologia de corte em SF₆, para estações da Linha de Cascais;
- o *Retrofit* de quadros elétricos MT, com substituição de disjuntores de grande volume de óleo, por disjuntores de tecnologia de corte em SF₆ ou vácuo, incluindo a sua adaptação elétrica (corrente nominal e corrente de curto-circuito) e mecânica (atravancamentos, posicionamento das tomadas de corrente, carros de extração).

Em 1998 foi abraçado o desafio de uma expatriação em França, desempenhando as funções de representante da empresa naquele mercado, baseado em Paris, abrangendo todo o território francês, dedicado ao fornecimento de equipamentos e soluções de MT e de AT, tendo, entre outras, as seguintes responsabilidades:

- o Criação de uma rede de agentes técnico-comerciais, cobrindo todo o território francês;
- o Desenvolvimento de serviço após-venda local para dar suporte aos clientes;
- o Homologação dos produtos (celas MT e transformadores de potência e de distribuição), junto da EDF – Electricité de France e, nomeadamente, do EDF Lab Les Renardières;
- o Interação com os Departamentos de I&D das fábricas da Efacec, baseados em Portugal, para desenvolver produtos adaptados à regulamentação local;
- o Representação da empresa junto de entidades oficiais, nacionais e regionais;
- o Desenvolvimento do negócio neste mercado, focando na prospeção de novos clientes e parceiros de negócio.

Realçam-se de seguida alguns projetos relevantes, desenvolvidos no âmbito desta função:

- o Quadros elétricos de Média Tensão (24 kV), do tipo modular (gama Normafix, da Efacec), para ampliação da rede elétrica interna da Verrerie et Cristallerie d'Arques (Arques, Lille);
- o Transformador de distribuição seco encapsulado (gama Powercast, da Efacec), para instalação na Torre Eiffel, em Paris.

No ano 2000, deu-se a nomeação para o cargo de Chefe de Departamento – Mercado Nacional, cargo em que se manteve até 2004 e que incluía uma forte componente de gestão da equipa técnico-comercial dedicada ao fornecimento de equipamentos e soluções de MT e AT, atuando em diversos segmentos, tais como: indústria, terciário e serviços, *utilities*, instaladores elétricos e eletromecânicos. Estas funções incluíam:

- o Colaboração com gabinetes de projeto e auditores, contribuindo para o desenvolvimento de soluções e elaboração de especificações técnicas e de cadernos de encargos;
- o Dimensionamento de equipamentos, elaboração de propostas, negociações comerciais e contratuais, registo e seguimento de encomendas;
- o Análises técnicas: correntes de curto-circuito, coordenação de proteções, automação, capitalização de perdas em transformadores, compensação de fator de potência, *retrofit* e recondicionamento de equipamentos;
- o Interação com as fábricas, acompanhamento do fabrico, verificação da conformidade com especificações técnicas e gestão de projetos;
- o Gestão de forças de vendas, participação em congressos, feiras e eventos.

De entre os projetos mais relevantes, desenvolvidos no âmbito destas funções, destacam-se:

- o Contratos-quadro com a EDP Distribuição, para fornecimento de quadros extraíveis de MT (12 kV, 17,5 kV e 36 kV); quadros modulares MT, transformadores de potência AT/MT, transformadores de distribuição MT/BT, disjuntores e seccionadores de AT (72 kV) e órgãos de corte de rede (OCR);
- o Cavernas para armazenamento de gás em Sines – através da ABB Lummus, incluindo quadros elétricos MT, com disjuntores de tecnologia de corte no vácuo e proteções digitais de marca CEE;
- o Cogeração Fafen (EDP) – Brasil – Disjuntores e seccionadores AT, transformadores de potência com regulação em carga, quadros elétricos extraíveis MT e transformadores de distribuição imersos em óleo;
- o Transformadores de potência com regulação em carga para a EDA – Eletricidade dos Açores, desenvolvimento da solução técnica e economicamente mais vantajosa, considerando a capitalização de perdas no Cobre e no Ferro;
- o Transformadores secos encapsulados, para as novas linhas do Metro do Porto;
- o Equipamento MT, para o projeto de reformulação e ampliação da rede elétrica de MT da Portucel – Centro Fabril de Cacia.

3.3.2 União Fenosa Comercial – Sucursal em Portugal

Em 2004, iniciou-se um novo desafio profissional, na União Fenosa Comercial – Sucursal em Portugal, como Diretor da Delegação de Lisboa e Portugal Sul, responsável pela gestão da Delegação e pela liderança da equipa, que se dedicava ao fornecimento de energia elétrica

para clientes industriais e do setor terciário, integrados no SENV, alimentados em AT, MT e BTE e ao desenvolvimento de serviços diferenciadores e geradores de valor acrescentado. De uma forma geral, estas funções incluíam:

- o Análise das características de fornecimento (nível de tensão, potência contratada, potência em horas de ponta, ciclo semanal ou diário) e perfil de consumo de clientes alimentados em AT, MT ou BTE, aderentes ao SENV, cálculos para fornecimento de energia elétrica e elaboração de propostas;
- o Acompanhamento da legislação e regulamentação em vigor e contacto com as entidades oficiais responsáveis pela gestão do SENV - ERSE, REN e EDP Distribuição - e com as principais associações do setor (Cogen, associações representativas dos grandes consumidores de energia elétrica, entre outras);
- o Desenvolvimento de soluções de eficiência energética (alteração de perfis de consumo, compensação de energia reativa, utilização de equipamentos mais eficientes e variação de velocidade), análise da viabilidade da passagem de pontos de consumo de BTE para MT (investimento, redução da fatura energética, cálculo do período de retorno);
- o Análises técnicas-económicas: Otimização das faturas energéticas através das melhores opções tarifárias, eficiência energética e integração de soluções de energia renovável (solar, biomassa, biogás);
- o Interação com o gabinete de cálculo da Unión Fenosa, baseado em Espanha;
- o Gestão de forças de vendas, participação em congressos, feiras e eventos.

Indicam-se de seguida alguns projetos relevantes, que foram desenvolvidos no âmbito destas funções:

- o Fornecimento de energia elétrica em MT e/ou BTE, no âmbito do mercado liberalizado, a clientes como, por exemplo: McDonalds Portugal (rede própria e franquias), Tate & Lyle, Matcerâmica ou Inditex Portugal;
- o Contributos técnicos e regulamentares para o mercado liberalizado de energia elétrica, junto de entidades reguladoras e operadoras do sistema (ERSE, DGEG, REN e EDP Distribuição) e outras organizações representativas do setor (grandes consumidores de energia elétrica, eficiência energética, energias renováveis);
- o Soluções para fornecimento de energia elétrica no âmbito do SENV, a clientes com centrais de cogeração ou trigeração e a pontos de consumo abrangidos pelo regime de interruptibilidade.

3.3.3 Dalkia, Energia e Serviços, S.A. – Grupo Veolia Environment e Grupo EDF

O ano 2006 foi marcado por um novo desafio profissional, na Dalkia, Energia e Serviços, S.A., tendo assumido as funções de Diretor de Desenvolvimento, responsável coordenação de uma equipa técnico-comercial de desenvolvimento de negócio, cobrindo todo o território nacional e dedicando-se à prestação de serviços de manutenção, gestão e condução de instalações técnicas, numa ótica de valorização e eficiência energética, para empresas de média e grande dimensão, nos setores da indústria, dos serviços, das *utilities* e em entidades públicas. Incluindo, nomeadamente:

- o Desenvolvimento soluções energeticamente eficientes (cogeração, trigeriação) e de aproveitamento de energias renováveis (mormente, solar térmico, solar fotovoltaico e de concentração, biomassa e biogás), a fim de reduzir custos e diminuir a pegada ecológica dos clientes;
- o Gestão de projetos e integração e liderança de equipas multidisciplinares (engenharia, análise financeira, análise contratual, impacto ambiental, qualidade, ambiente e segurança, negociação), para construção de soluções complexas e de elevado valor acrescentado;
- o Estudos de viabilidade financeira, análise de retorno de investimento, impacto ambiental, poupança energética e engenharia social;
- o Análises técnicas: energia elétrica e térmica, produção de vapor e de energia elétrica, centrais de ar comprimido, estações de tratamento de água e de águas residuais, valorização energética de resíduos sólidos urbanos e de biomassa, fontes renováveis de produção de energia, redução de consumos energéticos;
- o Negociação e estabelecimento de relações com entidades parceiras (consórcios, parceiros de negócio, clientes e fornecedores);
- o Interação com os gabinetes de projeto internacionais do Grupo Veolia, integrando as melhores práticas e o conhecimento adquirido noutros clientes, dos mais diversos setores de atividade, em todo o mundo;
- o Integração de diversas especialidades técnicas, tais como: eletricidade, automação, mecânica, AVAC e estruturas.

Indicam-se de seguida alguns projetos relevantes, desenvolvidos no âmbito destas funções:

- o Projeto, construção chave-na-mão, operação e manutenção da *utility island* da Artenius, em Sines, incluindo cogeração com turbina a gás, para produção de vapor (para o processo industrial) e eletricidade (para injeção na rede), central de ar comprimido e ETAR;
- o Projeto, construção chave-na-mão, operação e manutenção da central fotovoltaica na sede da Logoplaste, em Cascais, para produção de energia elétrica para injeção na rede (até 50% da energia produzida) e o restante para autoconsumo;
- o Prestação de serviços de manutenção multitécnica (eletricidade, AVAC, UPS, mecânica, civil), em clientes como: EPAL, MAR Shopping (Matosinhos), sede do Banif (Lisboa), Somague (Sintra);
- o Conceção técnica de central fotovoltaica com tecnologia de concentração da radiação (CPV), estudo de viabilidade técnico-económica e obtenção de ponto de ligação à rede elétrica, na região do Algarve;
- o Conceção técnica, elétrica e mecânica, dimensionamento das equipas de operação e de manutenção para centrais de biomassa florestal, estabelecimento de consórcios com parceiros da especialidade de civil e da fileira florestal e análise da viabilidade técnico-económica do projeto, para apresentar a concurso da Direção-Geral de Energia e Geologia.

3.3.4 Stanley Security Portugal, Lda. – Stanley Black & Decker Corporation

Deu-se depois a integração na Stanley Security Portugal, em 2010, assumindo as funções de Diretor, responsável pelo desenvolvimento de negócio nos domínios do fornecimento de equipamentos e soluções de segurança eletrónica, tais como, sistemas de proteção contra incêndios, videovigilância, controlo de acessos e deteção de intrusão, assegurando a liderança das equipas de inovação, desenvolvimento comercial e de apoio ao cliente.

Estas funções incluíam também a definição da estratégia empresarial, focado no crescimento da carteira de clientes e na deteção e conversão de *leads* em reais oportunidades de negócio, nomeadamente:

- o Projeto, implementação, manutenção e supervisão de sistemas eletrónicos de segurança e a interação com clientes, prescritores e fabricantes de soluções;
- o Articulação com soluções complementares de segurança, nomeadamente vigilância humana - estática e rondas - e central de monitorização de alarmes;

- o Reestruturação das equipas e da gama de soluções oferecidas, reforçando a estratégia e visando a orientação para o mercado e a adequação às necessidades dos clientes;
- o Desenvolvimento de ofertas customizadas, adequadas a segmentos específicos: retalho, *gas stations*, *utilities*, indústria, setor bancário e transportes;
- o Desenvolvimento de soluções técnicas inovadoras e tecnologicamente evoluídas, tais como: reconhecimento de matrículas, georreferenciação, identificação biométrica, vídeo analítica.

Alguns projetos relevantes desenvolvidos:

- o Conceção, implementação, manutenção e supervisão de sistemas de segurança eletrónica nas subestações elétricas da REN, incluindo sistemas de controlo de acessos, proteção contra intrusão, videovigilância e proteção contra incêndios;
- o Renovação dos sistemas de videovigilância nas barragens do Tejo-Mondego da EDP Produção de Energia;
- o Implementação e manutenção de sistemas de segurança eletrónica em vários centros comerciais da Sonae Sierra (incluindo sistemas de controlo de acessos, deteção de intrusão, videovigilância e proteção contra incêndios);
- o Remodelação dos sistemas de segurança eletrónica da Barragem de Belver – EDP Produção de Energia;
- o Implementação e manutenção de sistemas de segurança eletrónica em instituições bancárias (por exemplo BBVA, Banco Popular) e organismos públicos (por exemplo, o SEF – Serviço de Estrangeiros e Fronteiras);
- o Implementação do sistema de *Customer Relationship Management* (CRM), da empresa, para planeamento, gestão, seguimento e monitorização da atividade comercial e desenvolvimento de negócios.

3.3.5 Schneider Electric Portugal, Lda.

A partir de 2014, e até 2018, deu-se a integração na Schneider Electric Portugal, na função de Responsável de Grandes Contas e Clientes Estratégicos, que abrangia a gestão de uma gama alargada de produtos, serviços e soluções, incluindo soluções de eficiência energética, energias renováveis, Scada, *software* de monitorização e gestão de energia e de manutenção, transformadores de potência e de distribuição, quadros elétricos de MT e BT, automação, soluções para fornecimento de energia socorrida, AVAC, variação de velocidade, bem como serviços de instalação e manutenção, incluindo:

- o Particular foco nos segmentos: Telecomunicações, Automóvel, Transportes, Papel e Pasta de Papel e Minas, Metais e Minerais;
- o Desenvolvimento de sólidas relações com a gestão de topo das empresas clientes. Conhecimento das grandes tendências de cada segmento e previsão dos investimentos a realizar pelos clientes;
- o Gestão de projetos multidisciplinares, incluindo especialistas de várias áreas (energia, proteções, automação, Scada, IT, variação de velocidade, *softwares*), projetistas, prestadores de serviços e parceiros de consórcio;
- o Interação com as estruturas corporativas da Schneider Electric, para gestão de contas globais e estratégicas e desenvolvimento de soluções específicas para os segmentos de atividade dos clientes. Utilização de ferramentas avançadas para gestão de relacionamento com clientes - CRM;
- o Desenvolvimento de parcerias e consórcios, participação em concursos públicos, processos de negociação diversos (leilões invertidos, leilões eletrónicos, negociação presencial, discussões contratuais).

De entre os projetos desenvolvidos no decurso deste período, destacam-se:

- o Ampliação das instalações de produção da Almina – Minas do Alentejo (Aljustrel), com fornecimento de quadros elétricos BT industriais (gama Okken, da Schneider Electric), transformadores de distribuição herméticos até 3MVA, fontes de alimentação ininterrupta e unidades industriais de AVAC;
- o Fornecimento de quadros elétricos MT, de distribuição primária, com disjuntores extraíveis, para diversas subestações, no âmbito do projeto de ampliação da rede elétrica da STEG - Société Tunisienne de l'Électricité et du Gaz, na Tunísia;
- o Implementação de um sistema integrado de gestão de energia na Somincor – Lundin Mining (Castro Verde), incluindo instalação de sensores e equipamentos de medida em múltiplas localizações, para aquisição de dados e seu posterior tratamento por *software* dedicado (*Power Monitoring Expert*, da Schneider Electric), permitindo monitorizar as grandezas relevantes, tais como: perfis de consumo desagregados, consumos de energia ativa e reativa, potência, equilíbrio de fases, conteúdo harmónico;
- o *Retrofit* de quadros elétricos MT na The Navigator Company (Setúbal) e na SN Seixal, com substituição de disjuntores a óleo, por disjuntores de tecnologia de corte em SF₆ ou no vácuo, incluindo a sua adaptação elétrica (corrente nominal, corrente

- de curto-circuito) e mecânica (atravancamentos, posicionamento das tomadas de corrente, carros de extração);
- o Remodelação das instalações de MT da Visteon (Palmela), com fornecimento de quadro elétrico MT modular (gama SM6, da Schneider Electric) e transformador MT/BT hermético;
 - o Fornecimento e manutenção de sistemas eletrónicos de gestão do mecanismo de interruptibilidade elétrica (sistemas EMCC – Telvent/Schneider Electric), homologados pela REN, em grandes consumidores de energia elétrica, tais como: The Navigator Company, SN Seixal, SN Maia e Lusosider.

3.3.6 Efacec Power Solutions, SGPS, S.A.

Deu-se depois o ingresso na Efacec Power Solutions, em 2018, desempenhando o cargo de Diretor Comercial – Equipamentos de AT e MT, com responsabilidades a nível mundial, nesta multinacional de origem portuguesa.

Este cargo abrangia os equipamentos de AT e MT fabricados pela empresa, utilizando tecnologias de corte em SF₆ e no vácuo, a integração de sistemas de proteção, com responsabilidades a nível global, na liderança e gestão de equipas em Portugal e em afiliadas do Grupo Efacec em vários países e no desenvolvimento de relações com clientes e parceiros nacionais e internacionais, nomeadamente:

- o Estabelecimento e desenvolvimento de sólidas relações com clientes nos sectores industrial, *utilities* e instaladores e ainda com prescritores/projetistas;
- o Gestão da rede internacional de agentes técnico-comerciais, distribuidores e parceiros de negócio;
- o As principais geografias trabalhadas, foram: Portugal e Europa, América do Sul, Norte de África, Angola e Moçambique, Médio Oriente e Austrália;
- o Análise de cadernos de encargos e de especificações técnicas, definição de soluções técnicas, preparação e negociação de propostas, seguimento de processos de homologação;
- o Liderança de equipas comerciais e de *tendering* da Efacec, baseadas em Portugal, Espanha, Argentina e República Checa. Foco nos investimentos em I&D, para o desenvolvimento de soluções adaptadas às necessidades dos clientes nacionais e internacionais e no seguimento das mais atualizadas soluções e tecnologias adotadas no setor;

- o Implementação e utilização de sistemas de gestão do relacionamento com clientes, manutenção e análise de dados de CRM e definição estratégica dos planos comercial e de marketing;
- o Participação em congressos, feiras e eventos.

Destacam-se os seguintes projetos relevantes, desenvolvidos no âmbito destas funções:

- o Fornecimento de quadros elétricos MT, equipados com disjuntores extraíveis, de tecnologia de corte no vácuo (gama Normacel, da Efacec), com sistema avançado de proteção contra arcos internos, para a DEWA – Dubai Electricity & Water Authority (Dubai);
- o Ampliação das instalações de produção da Almina – Minas do Alentejo (em Aljustrel), com fornecimento de quadros elétricos MT, com disjuntores extraíveis de tecnologia de corte no vácuo (gama Normacel, da Efacec), transformadores de potência equipados com regulador em carga e transformadores de distribuição do tipo hermético;
- o Contratos-programa para fornecimento de celas MT modulares ou compactas (gammas Normafix e Fluofix, da Efacec), nos níveis de tensão 12 kV, 17.5 kV, 24 kV ou 36 kV - dependendo das redes existentes nas diferentes geografias - e postos de transformação MT/BT compactos, em betão ou metálicos, para diversas *utilities*, em Portugal (EDP Distribuição), Espanha (Iberdrola, Endesa, Naturgy), França (Ene-dis) e República Checa.

3.3.7 Harker Solutions, S.A.

A partir do mês abril de 2023, foram assumidas as funções de Diretor Comercial na Harker Solutions, com responsabilidades no fornecimento de equipamentos e desenvolvimento de soluções para conversão e transmissão de potência, acionamentos e controlo de velocidade.

A atividade inclui também o desenvolvimento de soluções de engenharia, envolvendo as especialidades elétrica, mecânica e de automação e projetos de eficiência energética, nomeadamente:

- o Disponibilização de equipamentos de fabricantes reputados e com elevado desempenho, de entre os quais se destacam: motores elétricos (Leroy Somer), variadores de velocidade (Control Techniques), correntes (Renold), correias e carretos,

juntas e acoplamentos, redutores e engrenagens, sistemas automáticos de lubrificação, eletrobombas (Xylem, Lowara, Flygt) e pneumática (Emerson);

- o Desenvolvimento de soluções técnicas para a indústria, *utilities* e clientes do setor logístico, incluindo a análise de especificações técnicas e o levantamento das condições da instalação, para definição das melhores soluções a propor, tendo em conta critérios de fiabilidade, durabilidade, competitividade e eficiência energética;
- o Soluções de engenharia nos domínios elétrico, mecânico, de automação e acionamentos, para *retrofit* de diversos tipos de máquinas (extrusoras, teares, laminadoras, torcedoras, empacotadoras) e *upgrade* de soluções existentes;
- o Permanente acompanhamento de parceiros fabricantes internacionais, para manter as soluções preconizadas sempre atualizadas com as mais recentes tecnologias e tendências e com as melhores práticas de cada setor;
- o Definição da estratégia de desenvolvimento da empresa e liderança e motivação de equipas;
- o Gestão de forças de vendas, participação em congressos, feiras e eventos.

No âmbito destas funções, têm sido desenvolvidos diversos projetos relevantes, de que se destacam:

- o *Retrofit* de máquinas de produção na Cotesi – Companhia de Têxteis Sintéticos, S.A., incluindo a componente elétrica (novos quadros elétricos e cablagem), de automação e de mecânica e o fornecimento de equipamentos: variadores de velocidade (Control Techniques), moto-redutores e redutores (Motovario), eletrobombas (Lowara);
- o Fornecimento de equipamentos energeticamente eficientes para a Cordex S.A.: variadores eletrónicos de velocidade (Control Techniques) e motores elétricos (até classe de eficiência IE5, gama Dyneo+, da Leroy Somer);
- o Colaboração com auditores e prescritores, na análise de instalações elétricas de unidades industriais, na ótica do aumento da eficiência energética e da rentabilidade, nomeadamente com utilização de VSD, substituição de motores DC por AC, utilização de motores de classe de eficiência elevada (IE4 ou IE5) e análises de viabilidade técnica e económica de investimentos.

3.4 Outras atividades profissionais

- Projeto de instalações de utilização de energia elétrica em BT, para moradia unifamiliar no Concelho do Seixal;
- Formador responsável pela disciplina de "Manutenção Industrial" – Curso de "Gestão de Energia na Indústria", promovido pela ADENE (7 edições);
- Consultoria em domínios técnicos e de estratégia empresarial.

BIBLIOGRAFIA

ABB. (2022). EU MEPS Efficiency requirements for low voltage motors - Revised Commission Regulation (EU) 2019/1781. (Product Note). <https://library.e.abb.com/public/>

Andersen, K. S., Dockweiler, S., & Klinge Jacobsen, H. (2019). Squaring the energy efficiency circle: evaluating industry energy efficiency policy in a hybrid model setting. <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/96546/>

Bauer (Bauer Gear Motors). (2018). International standard IEC TS 60034-30-2 for variable speed motors. (Catalogue). <https://pdf.directindustry.com/pdf/bauer-gear-motor/international-standard-iec-ts-60034-30-2/119285-919201.html>

Carvalho, J. A. B. de. (2016). Eficiência Energética em Equipamentos de Força-Motriz. Neutro à Terra, (18). <https://doi.org/10.26537/neutroaterra.v0i18.466>

Comissão Europeia. (2019). Regulamento (UE) 2019/1781 da Comissão de 1 de outubro de 2019 que estabelece requisitos de conceção ecológica para motores elétricos de corrente alternada trifásica [Regulamento 2019/1781]. Jornal Oficial da União Europeia, L 274/1. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/1781/oj>

Control Techniques. (2024). Download Control Techniques Product Datasheets [website]. <https://acim.nidec.com/drives/control-techniques/downloads/data-sheets> (Consultado em 14.02.2024)

De Almeida, A. T., Fonseca, P., Ferreira, F., Guisse, F., Blaise, J., Clair, E., Diop, A., Previ, A., Domini, A. C., Pillo, M. di, Russo, S., Falkner, H., Reichert, J., Tönsing, E., Malmose, K. (2000). Improving the penetration of energy-efficient motors and drives. Report prepared for the European Commission, SAVE II. Coimbra, ISR-University of Coimbra, Portugal

De Almeida, A. T., Fonseca, P., & Bertoldi, P. (2003). Energy-efficient motor systems in the industrial and in the services sectors in the European Union: characterisation, potentials, barriers and policies. *Energy*, 28(7), 673-690.

De Almeida, A.T., Ferreira, F.J.T.E., Fong, J. (2023). Perspectives on Electric Motor Market Transformation for a Net Zero Carbon Economy. *Energies* 2023, 16, 1248. <https://doi.org/10.3390/en16031248>

De Souza, D. F., Salotti, F. A. M., Sauer, I. L., Tatizawa, H., de Almeida, A. T., & Kanashiro, A. G. (2022, March 9). A performance evaluation of three-phase induction electric motors between 1945 and 2020. MDPI. <https://doi.org/10.3390/en15062002>

Dimotor. (2024). Descarga Catálogos Techttop. <https://dimotor.com/catalogos/descargas-motores/techttop>. (Consultado em 14.02.2024)

EC (European Commission). (2021). EU reference scenario 2020: Energy, transport and GHG emissions: trends to 2050, Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2833/35750>

Falkner, H., & Slade, M. (2009). Categorising the efficiency of industrial air compressors. *Proceedings EEMODS'09*, 14, 17.

Goman, V., Oshurbekov, S., Kazakbaev, V., Prakht, V., & Dmitrievskii, V. (2019). Energy efficiency analysis of fixed-speed pump drives with various types of motors. *Applied Sciences*, 9(24), 5295. <https://doi.org/10.3390/app9245295>

IEA (International Energy Agency). (2011). *Energy Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems*, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-policy-opportunities-for-electric-motor-driven-systems>

IEA (International Energy Agency). (2016). *World Energy Outlook 2016*, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2016>

IEA (International Energy Agency). (2017). *World Energy Outlook 2017*, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2017>

IEA (International Energy Agency). (2021a). *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

IEA (International Energy Agency). (2021b). *World Energy Outlook 2021*, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>

IEA (International Energy Agency). (2021c). World electricity final consumption by sector, 1974-2019, IEA, Paris. Licence: CC BY 4.0. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-electricity-final-consumption-by-sector-1974-2019>

IEA (International Energy Agency). (2023a). Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach - 2023 Update. <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach>

IEA (International Energy Agency). (2023b). World Energy Outlook 2023. Paris. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>

IEA-4E Energy Efficient End-use Equipment. (2015, November 22). Energy efficiency roadmap for electric motors and motor systems. 4E Energy Efficient End-use Equipment. https://www.iea-4e.org/publications/?sf_s=energy+efficiency+roadmap+for+electric+motors+and+motor+systems

IEC (International Electrotechnical Commission). (2016). IEC TS 60034-30-2:2016; Rotating electrical machines - Part 30-2: Efficiency classes of variable speed AC motors (IE-code).

Jassim, A. H., Hussein, A. A., & Abbas, L. F. (2021). Study the performance of three-phase induction motor under imbalanced non-sinusoidal supply. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1058(1), 012035. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1058/1/012035>

Leroy Somer. 2024. Leroy-Somer Electric Motors & Alternators [website]. <https://acim.nidec.com/motors/leroy-somer/about-us/leroy-somer>. (Consultado 14.02.2024)

Melo, P. M. A. D. S. (2021). Evolução das classes de rendimento de motores elétricos. Neutro à Terra, N.º 23 (2019): Revista Técnico-Científica (Primeiro Semestre). <https://doi.org/10.34630/NEUTROATERRA.VI23.4456>

Nadel, S., Elliot, R. N., Shepard, M., Greenberg, S., Katz, G., & De Almeida, A. T. (2002). Energy-Efficient Motor Systems: A Handbook on Technology, program, and Policy Opportunities. American Council for an Energy-Efficient Economy.

Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia. (2009). Diretiva 2009/125/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 21 de outubro de 2009 que estabelece um quadro para a fixação de requisitos de conceção ecológica aplicáveis aos produtos relacionados com a energia. Jornal Oficial da União Europeia, L 285/10.

Trianni, A., Cagno, E., & Accordini, D. (2019). A review of energy efficiency measures within electric motors systems. Energy procedia, 158, 3346-3351.

UN (United Nations). (2015). United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), The Paris Agreement; UNFCCC: Paris, France. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

WEG. (2021). Novo Regulamento UE para a Eficiência Energética 2019/1781 - Motores Elétricos de Baixa Tensão e Variadores de Velocidade. https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h7b/h0d/WEG_Brochura_Eficiencia_Energetica-Portugal.pdf

Zuberi, M. J., & Patel, M. K. (2018). Cost-effectiveness analysis of energy efficiency measures in the Swiss chemical and pharmaceutical industry. *International Journal of Energy Research*, 43(1), 313–336. <https://doi.org/10.1002/er.4267>

5

ANEXOS

- Anexo I - Fichas técnicas dos novos motores - Caso 1 - Secção 2.4
 - I.1 Motor Leroy Somer 110 kW - Classe IE5
 - I.2 Motor Leroy Somer 220 kW - Classe IE5
- Anexo II - Fichas técnicas dos novos motores - Caso 2 - Secção 2.4
 - II.1 Motor Techtop 30 kW - Classe IE4
 - II.2 Motor Leroy Somer 30 kW - Classe IE5
- Anexo III - Fichas técnicas dos novos motores - Caso 3 - Secção 2.4
 - III.1 Motor Techtop 11 kW - Classe IE4
 - III.2 Motor Leroy Somer 11 kW - Classe IE4
- Anexo IV - Formação académica - Certificados
 - IV.1 Licenciatura "Pré-Bolonha"
 - IV.2 MBA - *Master in Business Administration*
 - IV.3 PGER - Programa de Gestão de Energias Renováveis
- Anexo V - Outros cursos de formação - Certificados

Anexo I - Fichas técnicas dos novos motores - Secção 2.4 - Caso 1

I.1 Motor Leroy Somer 110 kW - Classe IE5



Ficha técnica

N.º:

Data : 10 oct. 2023

| Permanent Magnet Motors com opções | |
|--|--|
| 1500 LSHRM 315SN1 110kW B3 400VY/460VY/400VD | |
| IC416A ; Motor Parasufos em aço inoxidável ; Ventilação forçada axial 230/400V 3ph 200W ; Codificador absoluto 10/30V SinCos SSI Single-turn KUBLER ; Rolamento de rolos dianteiro com anel de deflexão atual na frente ; Rolamento isolamento na parte de trás (IB) ; | |

Utilização : Ambiente Uso corrente ; Ambiência Não corrosivo ; Finition - ; Zona Não específico ; Utilização velocidade variável ; Temperatura ambiente -20 +50 °C ; Altitude máxima 1000 m.

Composição do motor : Carter em liga de alumínio ; Protector dianteiro em ferro fundido ; Protector traseiro em ferro fundido.



| Definição do motor | | |
|------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Tipo de proteção | - | Use |
| Classe de rendimento | IE5 | Utilização velocidade variável |
| Número de fases de rede | 3 | Tensão de rede (V) |
| Número de velocidades | Velocidade variável | 400 |
| Polaridade | 4P | Acoplamento |
| Série do motor | LSHRM | DY |
| Altura do eixo do motor (mm) | 315 | Tensão de acoplamento (V) |
| Código comprimento | SN1 | 400VY/460VY/400VD |
| Potência atribuída GV (kW) | 110,000 | Frequência de base do motor (Hz) |
| Velocidade de sincronismo (min-1) | 1500 | 50 |
| Velocidade mecânica máxima (min-1) | 2800 | Posição de funcionamento |
| | | IM1001(IMB3) |
| | | Índice de proteção |
| | | IP55 |
| | | Índice de arrefecimento |
| | | IC416A |
| | | Classe de isolamento |
| | | F |
| | | Acabamento |
| | | - |
| | | Binário de inércia do motor J (kg.m2) |
| | | 0,7409000 |
| | | Peso do motor (kg) |
| | | 480,0 |
| | | faixa de temperatura ambiente (°C) |
| | | -20 +50 |
| | | etiqueta Regulamento |

| Definições comuns | |
|-----------------------|---|
| Tonalidade da pintura | RAL9005 |
| Sistema de pintura | C4M (1 x Ph-Zn PU primer (60µm +/- 20%) - 1 x acrylic polyurethane finish (50µm +/- 20%)) |

| Interface mecânica do motor | | |
|------------------------------------|---|--|
| Dimensões flange de motor | - | Material do veio |
| Tipo de veio principal | Extremidade do veio normalizado CE1 | Veio em aço |
| Diâmetro do veio principal (mm) | 80m6 | Tonalidade material do veio |
| Comprimento do veio principal (mm) | 170 | - |
| Montagem rolamento dianteiro | Bloqueado | 2ª extremidade do veio |
| Tipo de rolamento dianteiro | Rolamento de rolos dianteiro com anel de deflexão atual na frente | Diâmetro do veio secundário (mm) |
| Rolamento dianteiro | NU320 | - |
| Tipo de lubrificação | Chumaceiras com lubrificadores | Comprimento veio secundário (mm) |
| | | - |
| | | Tipo de rolamento traseiro |
| | | Rolamento isolamento na parte de trás (IB) |
| | | Rolamento lado NDE |
| | | 6218 |

| Interface elétrica do motor | | |
|---------------------------------------|------------------|------------------------------------|
| Tipo de ligação da rede | Caixa de bornes | Tipo de cabo |
| Material de ligação da rede | Liga de alumínio | - |
| Posição de fixação da ligação da rede | A | Material da prensa-estopa |
| Orientação da ligação da rede | elevado | - |
| Posição relativa da ligação da rede | 0 | Tipo de prensa-estopa principal |
| | | - |
| | | Posição da prensa-estopa principal |
| | | Direita (1) |

LEROY-SOMER

The information contained in this data-sheet is for guidance only and does not form part of any contract. The accuracy cannot be guaranteed as our company have an ongoing process of development and reserve the right to change the specification of their products without notice.
 Motors Leroy-Somer S.A.S. Siège social : Bp Marcelin Leroy, CS 10015, 16915 Angoulême Cedex 9, France. Capital social : 65 800 512 €, RCS Angoulême 338 567 258.
 Control Techniques Limited, Registered Office: The Gio, Newtown, Powys SY16 3BE, Registered in England and Wales, Company Reg. No. 01236886.

Versão V8.261

N.º:

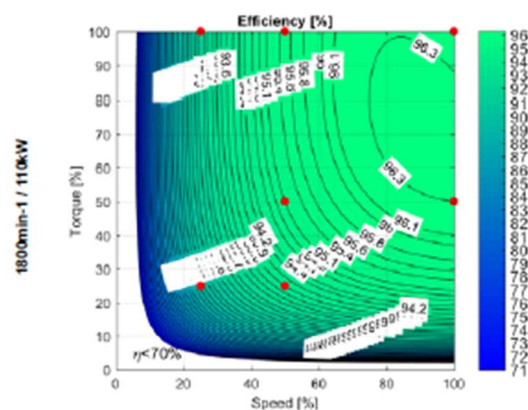
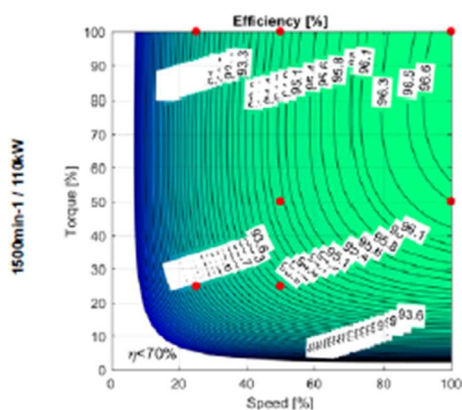
Data : 10 oct. 2023

Permanent Magnet Motors com opções - 1500 LSHRM 315SN1 110kW B3 400VY/460VY/400VD

| Opções do motor | | Material cobertura | Cobertura metálica |
|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Nível de vibração | A | Cobertura impermeável | - |
| Tipo de equilíbrio | Meia chaveta (H) | Tipo de arrefecimento | Ventilação forçada axial |
| Tipo de impregnação (HR e T) | < 95% : (T) | Características ventilação forçada | 230/400V 3ph 200W |
| Proteção térmica bobinagem | 1xPT1000 + 1xCTP (bobinagem) | Tipo de codificador | Codificador absoluto |
| Resistência de reaquecimento | - | Características do codificador | 10/30V SinCos SSI Single-turn KUBLER |
| Posição dos orifícios de purga | 6H | Material dos parafusos | Parafusos em aço inoxidável |
| Material da placa de características | Placa de identificação em alumínio | Adaptação para sensor de vibrações | - |
| Proteção térmica chumaceira | - | | |
| Sistema de isolamento reforçado | - | | |

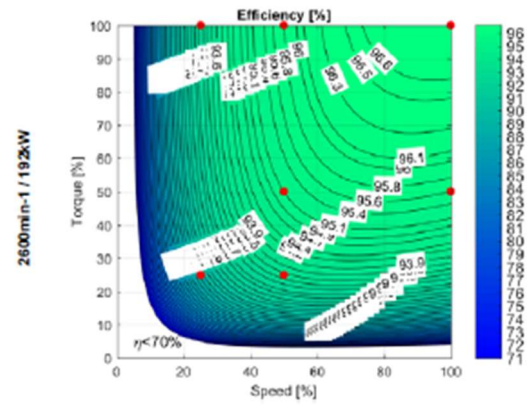
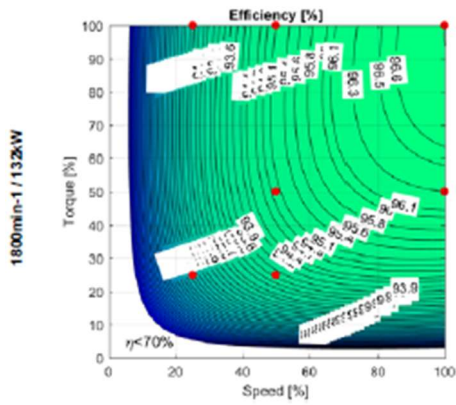
Características do motor (alimentação na rede)

| Nn (min-1) | fn (Hz) | Pn (kW) | Tensão (V) | In (A) | Binário (Nm) | | | | | Imax (A) | Mmax (N.m) | Rendimento (IEC 61800-9-2) | | | | | | Niveau pression acoustique (dB(A)) | |
|------------|---------|---------|------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|------------|----------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|
| | | | | | Mn (10% Nn) (N.m) | Mn (20% Nn) (N.m) | Mn (33% Nn) (N.m) | Mn (50% Nn) (N.m) | Mn (N.m) | | | 25% Nn & 25% Mn (%) | 25% Nn & 100% Mn (%) | 50% Nn & 25% Mn (%) | 50% Nn & 50% Mn (%) | 50% Nn & 100% Mn (%) | 100% Nn & 50% Mn (%) | | 100% Nn & 100% Mn (%) |
| 1500 | 50 | 110 | 400 Y | 195 | 595,0 | 700,0 | 700,0 | 700,0 | 700,0 | 280 | 1051,0 | 88,00 | 89,90 | 93,20 | 94,60 | 94,60 | 96,50 | 96,70 | 71 |
| 1800 | 60 | 110 | 400 Y | 195 | 595,0 | 700,0 | 700,0 | 700,0 | 700,0 | 280 | 1051,0 | 89,10 | 91,70 | 93,60 | 95,10 | 95,50 | 96,30 | 96,20 | 76 |
| | | 132 | 460 Y | 202 | 595,0 | 700,0 | 700,0 | 700,0 | 698,0 | 280 | 1051,0 | 88,70 | 91,00 | 93,40 | 95,00 | 95,10 | 96,30 | 96,80 | 76 |
| 2600 | 86.6 | 192 | 400 D | 342 | 595,0 | 700,0 | 700,0 | 700,0 | 703,0 | 485 | 1051,0 | 89,10 | 92,50 | 93,20 | 95,10 | 95,80 | 95,60 | 96,80 | 83 |





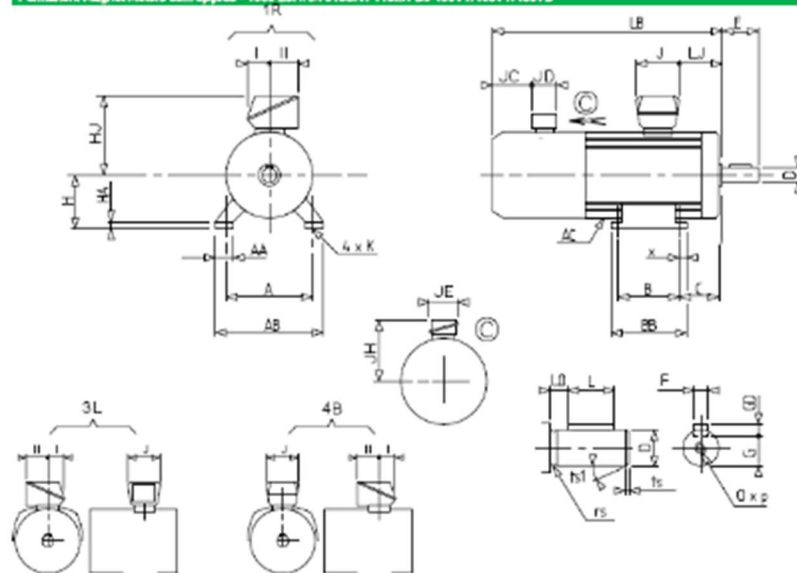
Ficha técnica



Nº:

Data: 10 oct. 2023

Permanent Magnet Motors com apóios - 1500 LSHRM 315GN1 110kW B3 400V/460V/400V0



| | |
|-----|--------|
| A | 508 |
| AA | 140 |
| AB | 599 |
| AC | 479,00 |
| AD1 | 45 |
| B | 406 |
| BB | 537 |
| C | 216,0 |
| D | 80m6 |
| E | 170 |
| F | 22 |
| G | 71 |
| GD | 14 |
| H | 315 |
| HA | 50 |
| HU | 494,0 |
| I | 180 |
| II | 235 |
| J | 420 |
| K | 28 |
| L | 140 |
| LB | 1072,0 |
| LJ | 4,0 |
| LO | 15 |
| O | M20 |
| P | 42 |
| r | 0,8 |
| ts | 1 |
| ts1 | 45 |
| x | 40 |

LEROY-SOMER

The information contained in this document is for guidance only and does not form part of any contract. The accuracy cannot be guaranteed as our company have an ongoing process of development and reserve the right to change the specification of their products without notice.
 Minors Leroy-Somer SAS (Sole social) - 36100015 Leroy - 361015 Angoulême Cedex 9, France. Capital social : 67 800 517 €; RCS Angoulême 539 367 236
 General Techniquan Limited. Registered Office: The Civic, Worcester, Powys WR14 3SE. Registered in England and Wales. Company Reg. No. 01226986.

Venda 155.261

I.2 Motor Leroy Somer 220 kW - Classe IE5



Ficha técnica

N.º:

Data : 10 oct. 2023

Permanent Magnet Motors com opções

1500 LSHRM 280MU 220kW B3 400VY/460VY/400VD

IC416A ; Motor Parafusos em aço inoxidável ; Ventilação forçada axial 230/400V 3ph 150W ; Codificador absoluto 10/30V SinCos SSI Single-tum KUBLER ; Rolamento de esferas dianteiro com anel de deflexão atual na frente ; Rolamento isolamento na parte de trás (IB) ;

Utilização : Ambiente Uso corrente ; Ambiência Não corrosivo ; Finition - ; Zona Não específico ; Utilização velocidade variável ; Temperatura ambiente -20 +45 °C ; Altitude máxima 1000 m.

Composição do motor : Carter em liga de alumínio ; Protector dianteiro em ferro fundido ; Protector traseiro em ferro fundido.



Definição do motor

| Definição do motor | | Use | Utilização velocidade variável |
|------------------------------------|---------------------|--|--------------------------------|
| Tipo de proteção | - | Tensão de rede (V) | 400 |
| Classe de rendimento | IE5 | Acoplamento | DY |
| Número de fases de rede | 3 | Tensão de acoplamento (V) | 400VY/460VY/400VD |
| Número de velocidades | Velocidade variável | Frequência de base do motor (Hz) | 50 |
| Polaridade | 4P | Posição de funcionamento | IM1001(IMB3) |
| Série do motor | LSHRM | Índice de proteção | IP55 |
| Altura do eixo do motor (mm) | 280 | Índice de arrefecimento | IC416A |
| Código comprimento | MU | Classe de isolamento | F |
| Potência atribuída GV (kW) | 220,000 | Acabamento | - |
| Velocidade de sincronismo (min-1) | 1500 | Binário de inércia do motor J (kg.m ²) | 2,4304000 |
| Velocidade mecânica máxima (min-1) | 3600 | Peso do motor (kg) | 820,0 |
| | | faixa de temperatura ambiente (°C) | -20 +45 |
| | | etiqueta Regulamento | |

Definições comuns

| | |
|-----------------------|---|
| Tonalidade da pintura | RAL9005 |
| Sistema de pintura | C4M (1 x Ph-Zn PU primer (60µm +/- 20%) - 1 x acrylic polyurethane finish (50µm +/- 20%)) |

Interface mecânica do motor

| Interface mecânica do motor | | Material do veio | Veio em aço |
|------------------------------------|---|----------------------------------|--|
| Dimensões flange de motor | - | Tonalidade material do veio | - |
| Tipo de veio principal | Extremidade do veio normalizado CEI | Ø extremidade do veio | - |
| Dímetro do veio principal (mm) | 80m6 | Dímetro do veio secundário (mm) | - |
| Comprimento do veio principal (mm) | 170 | Comprimento veio secundário (mm) | - |
| Montagem rolamento dianteiro | Bloquesado | Tipo de rolamento traseiro | Rolamento isolamento na parte de trás (IB) |
| Tipo de rolamento dianteiro | Rolamento de esferas dianteiro com anel de deflexão atual na frente | Rolamento lado NDE | 6317 |
| Rolamento dianteiro | 6317 | | |
| Tipo de lubrificação | Chumaceiras com lubrificadores | | |

Interface elétrica do motor

| | | | |
|---------------------------------------|------------------|------------------------------------|-------------|
| Tipo de ligação da rede | Caixa de bornes | Tipo de cabo | - |
| Material de ligação da rede | Liga de alumínio | Material da prensa-estopa | - |
| Posição de fixação da ligação da rede | A | Tipo de prensa-estopa principal | - |
| Orientação da ligação da rede | elevado | Posição da prensa-estopa principal | Direita (1) |
| Posição relativa da ligação da rede | 0 | | |

LEROY-SOMER

The information contained in this data-sheet is for guidance only and does not form part of any contract. The accuracy cannot be guaranteed as our company have an ongoing process of development and reserve the right to change the specification of their products without notice.

Moteurs Leroy-Somer SAS. Siège social : Bd Marcelin Leroy, CS 10015, 16915 Angoulême Cedex 9, France. Capital social : 65 800 512 €, RCS Angoulême 338 567 258. Control Techniques Limited. Registered Office: The Gira, Newtown, Powys SY16 3BE. Registered in England and Wales. Company Reg. No. 01236886.

Versão V8.261



N.º:

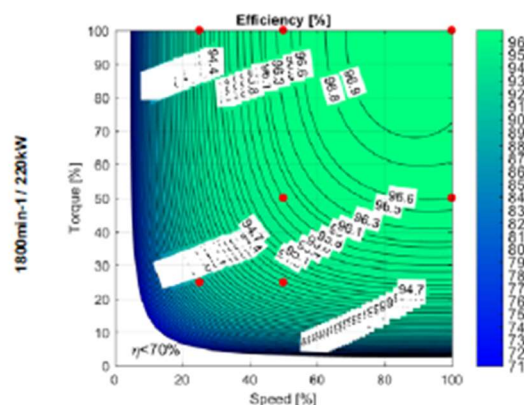
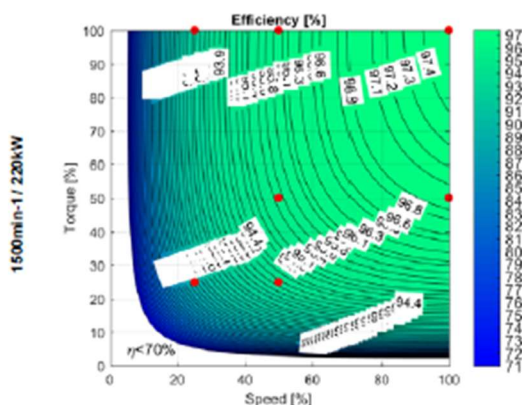
Data : 10 oct. 2023

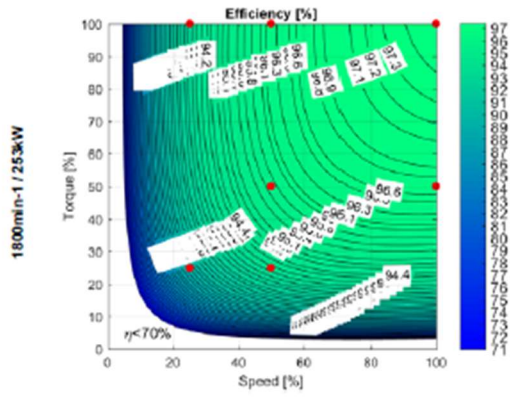
Permanent Magnet Motors com opções - 1500 LSHRM 280MJ 220kW B3 400VY/460VY/400VD

| Opções do motor | | Opções do motor | |
|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Nível de vibração | A | Material cobertura | Cobertura metálica |
| Tipo de equilíbrio | Meia chaveta (H) | Cobertura impermeável | - |
| Tipo de impregnação (HR e T) | < 95% (T) | Tipo de arrefecimento | Ventilação forçada axial |
| Proteção térmica bobinagem | 1xPT1000 + 1xCTP (bobinagem) | Características ventilação forçada | 230/400V 3ph 150W |
| Resistência de reaquecimento | - | Tipo de codificador | Codificador absoluto |
| Posição dos orifícios de purga | 6H | Características do codificador | 10/30V SinCos SSI Single-turn KUBLER |
| Material da placa de características | Placa de identificação em alumínio | Material dos parafusos | Parafusos em aço inoxidável |
| Proteção térmica chumaceira | - | Adaptação para sensor de vibrações | - |
| Sistema de isolamento reforçado | - | | |

Características do motor (alimentação na rede)

| Nn (min-1) | fn (Hz) | Pn (kW) | Tensão (V) | In (A) | Binário (Nm) | | | | | Imax (A) | Mmax (N.m) | Rendimento (IEC 61800-3-2) | | | | | | Niveau pression acoustique (dB(A)) | |
|------------|---------|---------|------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|------------|----------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|
| | | | | | Mn (10% Nn) (N.m) | Mn (20% Nn) (N.m) | Mn (33% Nn) (N.m) | Mn (50% Nn) (N.m) | Mn (N.m) | | | 25% Nn & 25% Mn (%) | 25% Nn & 100% Mn (%) | 50% Nn & 25% Mn (%) | 50% Nn & 50% Mn (%) | 50% Nn & 100% Mn (%) | 100% Nn & 50% Mn (%) | | 100% Nn & 100% Mn (%) |
| 1500 | 50 | 220 | 400 Y | 400 | 980,0 | 1401,0 | 1401,0 | 1401,0 | 1401,0 | 548 | 1821,00 | 89,10 | 92,20 | 93,80 | 95,50 | 95,90 | 97,00 | 97,50 | 76 |
| 1800 | 60 | 220 | 400 Y | 393 | 980,0 | 1401,0 | 1401,0 | 1401,0 | 1167,0 | 548 | 1821,00 | 89,80 | 93,50 | 93,90 | 95,80 | 96,40 | 96,60 | 96,90 | 81 |
| | | 253 | 460 Y | 393 | 980,0 | 1401,0 | 1401,0 | 1401,0 | 1343,0 | 548 | 1821,00 | 89,40 | 93,10 | 93,80 | 95,70 | 96,20 | 96,70 | 97,50 | 81 |

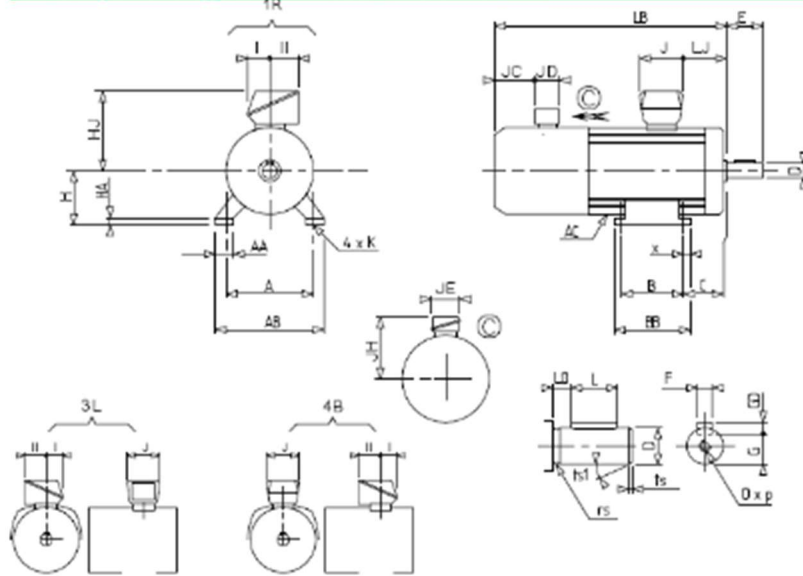




Nº:

Data : 10 oct. 2023

Permanent Magnet Motors com opções - 1500 LSHPM 230MJ 220W B3 400V/460V/400VD



| | | | |
|-----|--------|---|----|
| A | 457 | x | 40 |
| AA | 85 | | |
| AB | 533 | | |
| AC | 506,00 | | |
| AD1 | 45 | | |
| B | 419 | | |
| BB | 405 | | |
| C | 190,0 | | |
| D | 80x6 | | |
| E | 170 | | |
| F | 22 | | |
| G | 71 | | |
| GO | 14 | | |
| H | 280 | | |
| HA | 35 | | |
| HJ | 555,0 | | |
| I | 180 | | |
| II | 235 | | |
| J | 420 | | |
| JC | 142,5 | | |
| JD | 87 | | |
| JE | 104 | | |
| JH | 351 | | |
| K | 24 | | |
| L | 140 | | |
| LB | 1225,0 | | |
| LJ | 34,5 | | |
| LO | 15 | | |
| O | M20 | | |
| p | 42 | | |
| rs | 0,8 | | |
| ts | 1 | | |
| ts1 | 45 | | |

LEROY-SOMER

The information contained in this data sheet is for guidance only and does not form part of any contract. The accuracy cannot be guaranteed as our companies have an ongoing process of development and reserve the right to change the specification of their products without notice.
 Minirent Leroy-Somer SAS, Siège social - 86100 Lenoirville, CS 13012, 86915 Engendres Cedex 9, France. Capital social : 62 890 512 K. RCS Engendres 888 367 218.
 Cleantech Systems Limited Registered Office: The One, Newnham, Fenny Stratford MK16 9BP. Registered in England and Wales. Company Reg. No. 01218088.

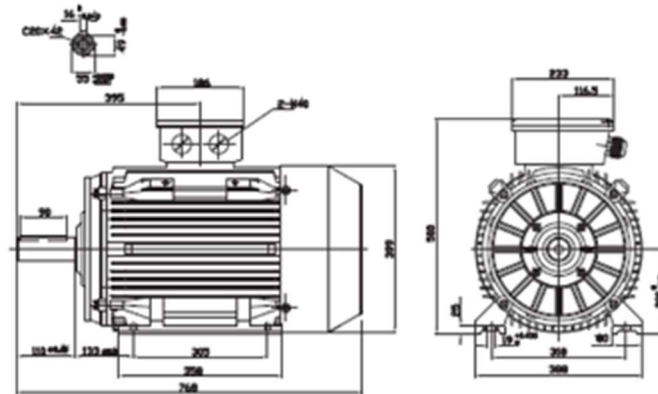
Verde V8.361

Anexo II - Fichas técnicas dos novos motores - Secção 2.4 - Caso 2

II.1 Motor Techtop 30 kW - Classe IE4



| | | | | |
|-----------------|---------------------------|-------------------|----|------|
| Type T4C 200L-4 | Cod. N200L430,03B5CC0000T | Mounting position | IM | B3 |
| | | | IM | 1001 |



| Electrical data | | | | General data | | | |
|-----------------------------|--------|---------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------|---|
| Rated motor power | 30 | | Kw | Frame size | 200 | | |
| Rated motor speed | 1480 | | min ⁻¹ 50Hz | Mounting | B3 | | |
| | 1780 | | min ⁻¹ 60Hz | Weight | 223 | Kg | |
| Rated motor frequency | 50 | | Hz | Casing material | Cast iron | | |
| Rated motor voltage(+/-10%) | 400 | | VΔ/50Hz | Protection | IP | 55 | |
| | 600 | | VY/50Hz | Insulation class/Temperature rise | F | / | B |
| | 480 | | VΔ/60Hz | Tropicalization | Yes | | |
| | 830 | | VY/60Hz | Vibration class | A | | |
| Rated motor torque | 193.66 | | Nm (Mn) | Duty | S1 | | |
| Rated motor current | 53.68 | VΔ/50Hz | A (ln) | Direction of rotation | Bidirectional | | |
| | 31.03 | VY/50Hz | A (ln) | Method of cooling | IC | 411 | |
| Starting motor current | 9 | | xln | Cable entry | 2-M40x1,5+1M16x1,5 | | |
| Starting motor torque | 2.5 | | xMn | Standards | IEC/DIN/ISO/VD/EN | | |
| Breakdown motor torque | 2.8 | | xMn | Execute at Standard | IEC 60034-1 | | |
| Starting | | | D.O.L. | Feet removable | Yes | | |
| Efficiency class | IE4 | | | Paintwork | n/a | Not painted | |
| Efficiency | 50Hz | 60Hz | | Thermal protections | PTC 130°C | | |
| | 94.9 | - | 100% load | Site conditions | | | |
| | 95.2 | - | 75% load | Ambient temperature | from -20°C to +40°C | | |
| | 94 | - | 50% load | Altitude above sea level | 1000 m | | |
| Power factor cosφ | 0.85 | - | 100% load | | | | |

| Mechanical data | | | | |
|-------------------------|---|---------------------------------------|--------------------------|-----------|
| Noise level | LpA | 70 | dB(A) | |
| | LwA | 79 | dB(A) | |
| Moment of inertia | 0.2944 | | Kgm ² | |
| Bearings type | | | NSK | |
| Lubricants for bearings | See installation and maintenance manual | | Bearing DE side | 6312ZZ-C3 |
| | | | Bearing NDE side | 6312ZZ-C3 |
| | | | Average bearing lifetime | 40000 h |
| | | Relubrication interval L1 DE bearing | life h | |
| | | Relubrication interval L1 NDE bearing | life h | |
| | | Compensation ring | NDE SIDE standard | |

There may be differences between rating plate and calculated values.

SHANGHAI TOP MOTOR CO., LTD
NO.303 Kangliu Road Kangqiao Town, Pudong, Shanghai, 201315, China
TeL: +86-21-68192006

www.techtop.com

II.2 Motor Leroy Somer 30 kW - Classe IE5



Ficha técnica

N.º:

Data : 20 déc. 2023

| |
|---|
| Permanent Magnet Motors com opções |
| 1500 LSHRM 200LQ1 30kW B3 400VY/460VY/400VD |
| Motor Parafusos em aço inoxidável; Rolamento de rolos dianteiro; Rolamento de esferas traseiro; |

Utilização: Ambiente Uso corrente; Ambiência Não corrosivo; Finition -; Zona Não específico; Utilização velocidade variável; Temperatura ambiente -20 +50 °C; Altitude máxima 1000 m.

Composição do motor: Carter em liga de alumínio; Protector dianteiro em ferro fundido; Protector traseiro em ferro fundido.



| Definição do motor | | |
|------------------------------------|---------------------|--|
| Tipo de proteção | - | Utilização velocidade variável |
| Classe de rendimento | IE5 | Tensão de rede (V) |
| Número de fases de rede | 3 | 400 |
| Número de velocidades | Velocidade variável | Acoplamento |
| Polaridade | 4P | DY |
| Série do motor | LSHRM | Tensão de acoplamento (V) |
| Altura do eixo do motor (mm) | 200 | 400VY/460VY/400VD |
| Código comprimento | LQ1 | Frequência de base do motor (Hz) |
| Potência atribuída (CV (kW)) | 30,000 | 50 |
| Velocidade de sincronismo (min-1) | 1500 | Posição de funcionamento |
| Velocidade mecânica máxima (min-1) | 5000 | IM1001(IMB3) |
| | | Índice de proteção |
| | | IP55 |
| | | Índice de arrefecimento |
| | | IC411 |
| | | Classe de isolamento |
| | | F |
| | | Acabamento |
| | | - |
| | | Binário de inércia do motor J (kg.m ²) |
| | | 0,1169000 |
| | | Peso do motor (kg) |
| | | 152,0 |
| | | faixa de temperatura ambiente (°C) |
| | | -20 +50 |
| | | etiqueta Requilamento |

| Definições comuns | |
|-----------------------|---|
| Tonalidade da pintura | RAL9005 |
| Sistema de pintura | C4M (1 x Ph-Zn PU primer (60µm +/- 20%) - 1 x acrylic polyurethane finish (50µm +/- 20%)) |

| Interface mecânica do motor | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Dimensões flange de motor | - | Material do veio |
| Tipo de veio principal | Extremidade do veio normalizado CEI | Veio em aço |
| Diâmetro do veio principal (mm) | 55m6 | Tonalidade material do veio |
| Comprimento do veio principal (mm) | 110 | - |
| Montagem rolamento dianteiro | Bloqueado | 2ª extremidade do veio |
| Tipo de rolamento dianteiro | Rolamento de rolos dianteiro | - |
| Rolamento dianteiro | NU312 | Diâmetro do veio secundário (mm) |
| Tipo de lubrificação | Lubrificação permanente | - |
| | | Comprimento veio secundário (mm) |
| | | - |
| | | Tipo de rolamento traseiro |
| | | Rolamento de esferas traseiro |
| | | Rolamento lado NDE |
| | | 6312 |

| Interface elétrica do motor | | |
|---------------------------------------|------------------|---|
| Tipo de ligação da rede | Calca de bornes | Tipo de cabo |
| Material de ligação da rede | Liga de alumínio | - |
| Posição de fixação da ligação da rede | A | Material da prensa-estopa |
| Orientação da ligação da rede | elevado | Prensa-estopa não fornecida, orifícios roscados com tampões plásticos |
| Posição relativa da ligação da rede | 0 | Tipo de prensa-estopa principal |
| | | 1xM40 + 1xM16; Com tampões |
| | | Posição da prensa-estopa principal |
| | | Direita (1) |

LEROY-SOMER

The information contained in this data sheet is for guidance only and does not form part of any contract. The accuracy cannot be guaranteed as our company have an ongoing process of development and reserve the right to change the specification of their products without notice.

Moteurs Leroy-Somer SAS, Siège social : Bd Marcelin Leroy, CS 10015, 16915 Angoulême Cedex 9, France. Capital social : 65 800 512 €, RCS Angoulême 338 567 258.

Control Techniques Limited, Registered Office: The Girs, Newtown, Powys SY16 3BE, Registered in England and Wales. Company Reg. No. 01226886.

Versão V8.254



N.º:

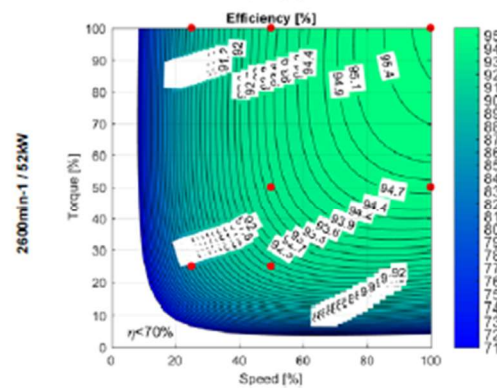
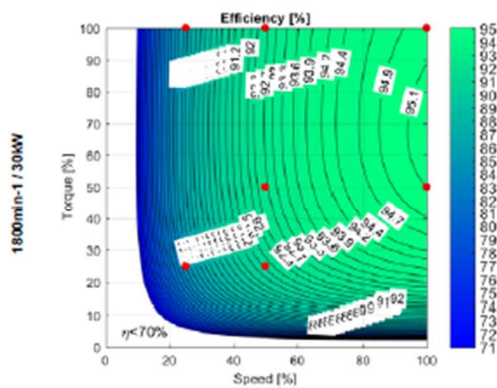
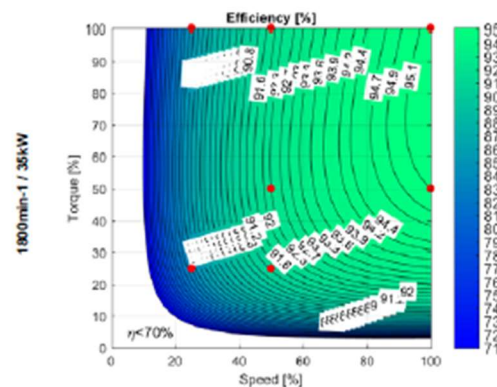
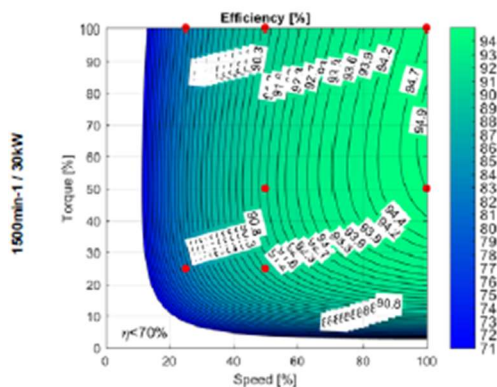
Data : 20 déc. 2023

Permanent Magnet Motors com opções - 1500 LSHRM 200LQ1 30kW B3 400V/460V/400VD

| | | Opções do motor | |
|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Nível de vibração | A | Material cobertura | Cobertura metálica |
| Tipo de equilíbrio | Meia chaveta (H) | Cobertura impermeável | - |
| Tipo de impregnação (HR e T) | < 95% : (T) | Tipo de arrefecimento | - |
| Proteção térmica bobinagem | 1xPT1000 + 1xCTP (bobinagem) | Características ventilação forçada | - |
| Resistência de reaquecimento | - | Tipo de codificador | - |
| Posição dos orifícios de purga | 6H | Características do codificador | - |
| Materiais da placa de características | Placa de identificação em alumínio | Material dos parafusos | Parafusos em aço inoxidável |
| Proteção térmica chumaceira | - | Adaptação para sensor de vibrações | - |
| Sistema de isolamento reforçado | - | | |

Características do motor (alimentação na rede)

| Nn (min-1) | fn (Hz) | Fn (kW) | Tensão (V) | In (A) | Binário (Nm) | | | | | Imax (A) | Mmax (N.m) | Rendimento (IEC 61800-9-2) | | | | | Niveau pression acoustique (dB(A)) | | |
|------------|---------|---------|------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|------------|----------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| | | | | | Mn (10% Nn) (N.m) | Mn (20% Nn) (N.m) | Mn (33% Nn) (N.m) | Mn (50% Nn) (N.m) | Mn (N.m) | | | 25% Nn & 25% Mn (%) | 25% Nn & 100% Mn (%) | 50% Nn & 25% Mn (%) | 50% Nn & 50% Mn (%) | 50% Nn & 100% Mn (%) | | 100% Nn & 50% Mn (%) | 100% Nn & 100% Mn (%) |
| 1500 | 50 | 30 | 400 Y | 57 | 153,0 | 191,0 | 191,0 | 191,0 | 191,0 | 88 | 287,00 | 82,70 | 82,70 | 90,30 | 91,50 | 90,50 | 94,90 | 94,70 | 64 |
| 1800 | 60 | 30 | 400 Y | 55 | 153,0 | 191,0 | 191,0 | 191,0 | 184,0 | 88 | 287,00 | 84,70 | 86,40 | 91,30 | 92,60 | 92,60 | 95,10 | 95,00 | 67 |
| 2600 | 86,6 | 52 | 400 D | 99 | 153,0 | 191,0 | 191,0 | 191,0 | 190,0 | 153 | 287,00 | 85,60 | 88,00 | 91,30 | 93,20 | 93,40 | 94,80 | 95,70 | 76 |





Ficha técnica

LEROY-SOMER

The information contained in this data-sheet is for guidance only and does not form part of any contract. The accuracy cannot be guaranteed as our company have an ongoing process of development and reserve the right to change the specification of their products without notice.

Moteurs Leroy-Somer SAS. Siège social : Bd Marcellin Leroy, CS 10015, 16915 Angoulême Cedex 9, France. Capital social : 65 800 512 €, RCS Angoulême 338 567 258.

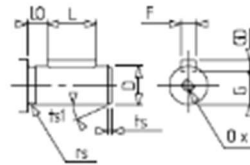
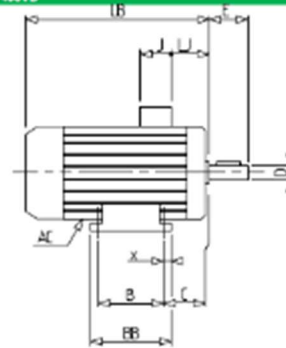
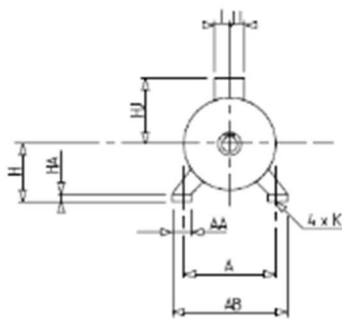
Control Techniques Limited. Registered Office: The Gro, Newtown, Powys SY16 3BE. Registered in England and Wales. Company Reg. No. 01236586.

Versão V8.264

N.º:

Data : 20 deo. 2023

Permanent Magnet Motors com apólios - 1500 LSP1B4 200LQ1 3&W B3 400VY480VY400V0



| | |
|-----|--------|
| A | 318 |
| AA | 108 |
| AB | 378 |
| AC | 350.00 |
| AD1 | 45 |
| B | 305 |
| BB | 365 |
| C | 133.0 |
| D | 55m6 |
| E | 110 |
| F | 16 |
| G | 49 |
| GD | 10 |
| H | 200 |
| HA | 30 |
| HJ | 290.0 |
| I | 119 |
| II | 141 |
| J | 231 |
| K | 10.5 |
| L | 97 |
| LB | 558.0 |
| LJ | 47.0 |
| LO | 13 |
| O | M20 |
| p | 42 |
| rs | 0.8 |
| ts | 1 |
| ts1 | 45 |
| x | 30 |

LEROY-SOMER

The information contained in this document is for guidance only and does not form part of any contract. The accuracy cannot be guaranteed as our company have an ongoing process of development and reserve the right to change the specification of their products without notice.
 Motoren Leroy-Somer S.p.A. - Via S. Maria della Croce, 1 - 41013 Salsomaggiore (Cremona) - Italy - Capital social: €1.800.000.000 - Registro Imposte: 03087370154 - BIC: LEROIIT33
 General Technics Limited - Registered Office: The One, Newton, Poyser Street, SOE - Registered in England and Wales - Company Reg. No. 41250864

Sheet: VS 244

Anexo III - Fichas técnicas dos novos motores - Secção 2.4 - Caso 3.

III.1 Motor Techtop 11 kW - Classe IE4



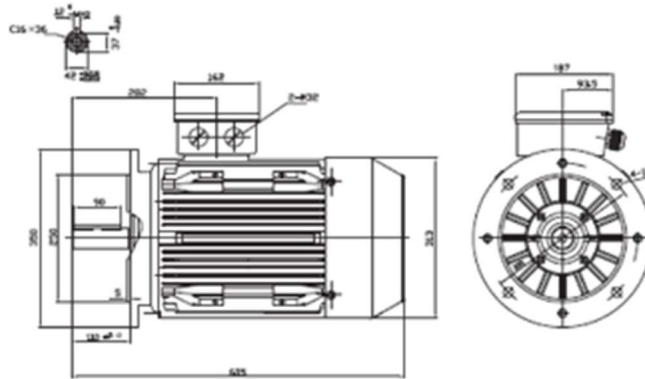
Data sheet for three-phase squirrel-cage motor

Type T4C 160M-4

Cod. N160M411,05B5CC0000T

Mounting position

| | |
|----|------|
| IM | B5 |
| IM | 3001 |



| Electrical data | | | | General data | | | |
|-----------------------------|-------|---------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------|---|
| Rated motor power | 11 | | Kw | Frame size | 160 | | |
| Rated motor speed | 1475 | | min ⁻¹ 50Hz | Mounting | B5 | | |
| | 1770 | | min ⁻¹ 60Hz | Weight | - | Kg | |
| Rated motor frequency | 50 | | Hz | Casing material | Cast iron | | |
| Rated motor voltage(+/-10%) | 400 | | VΔ/50Hz | Protection | IP | 55 | |
| | 690 | | VY/50Hz | Insulation class/Temperature rise | F | / | B |
| | 480 | | VΔ/60Hz | Tropicalization | Yes | | |
| | 830 | | VY/60Hz | Vibration class | A | | |
| Rated motor torque | 71.25 | | Nm (Mn) | Duty | S1 | | |
| | 20.57 | VΔ/50Hz | A (In) | Direction of rotation | Bidirectional | | |
| Rated motor current | 11.89 | VY/50Hz | A (In) | Method of cooling | IC | 411 | |
| | 10 | | xIn | Cable entry | 2-M32x1.5+1M16x1.5 | | |
| Starting motor current | 2.5 | | xMn | Standards | IEC/DIN/ISO/VDE/EN | | |
| Breakdown motor torque | 3 | | xMn | Execute at Standard | IEC 60034-1 | | |
| Starting | | | D.O.L. | Feet removable | Yes | | |
| Efficiency class | IE4 | | | Paintwork | n/a | Not painted | |
| Efficiency | 50Hz | 60Hz | | Thermal protections | PTC 130°C | | |
| | 93.3 | - | 100% load | Site conditions | | | |
| | 93.5 | - | 75% load | Ambient temperature | from -20°C to +40°C | | |
| | 92.8 | - | 50% load | Altitude above sea level | 1000 m | | |
| Power factor cosφ | 0.82 | - | 100% load | | | | |

| Mechanical data | | | |
|---------------------------------------|---|----|---------------------------------------|
| Noise level | LpA | 67 | dB(A) |
| | LwA | 78 | dB(A) |
| Moment of inertia | 0.1030 | | Kgm ² |
| Bearings type | NSK | | Relubrication interval L1 DE bearing |
| Lubricants for bearings | See installation and maintenance manual | | Relubrication interval L1 NDE bearing |
| | | | Compensation ring |
| | | | NDE SIDE |
| Bearing DE side | 6309ZZ-C3 | | |
| Bearing NDE side | 6309ZZ-C3 | | |
| Average bearing lifetime | 40000 | | h |
| Relubrication interval L1 DE bearing | life | | h |
| Relubrication interval L1 NDE bearing | life | | h |

There may be differences between rating plate and calculated values.

SHANGHAI TOP MOTOR CO., LTD
NO.303 Kangliu Road Kangqiao Town, Pudong, Shanghai, 201315, China
Tel: +86-21-68192006

www.techtop.com

III.2 Motor Leroy Somer 11 kW - Classe IE4



Ficha técnica

N.º:

Data : 20 déc. 2023

| |
|--|
| Permanent Magnet Motors com opções |
| 1500 LSHFM 160MR1 11kW B5 400VY/460VY/400VD |
| Motor Parafusos em aço inoxidável ; |

Utilização : Ambiente Uso corrente ; Ambiente Não corrosivo ; Finition - ; Zona Não específico ; Utilização velocidade variável ; Temperatura ambiente -20 +50 °C ; Altitude máxima 1000 m.

Composição do motor : Carter em liga de alumínio ; Protector dianteiro em ferro fundido ; Protector traseiro em ferro fundido.



| Definição do motor | | |
|------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Tipo de protecção | - | Utilização velocidade variável |
| Classe de rendimento | IE4 | Tensão de rede (V) |
| Número de fases de rede | 3 | Acoplamento |
| Número de velocidades | Velocidade variável | Tensão de acoplamento (V) |
| Polaridade | 4P | Frequência de base do motor (Hz) |
| Série do motor | LSHFM | Posição de funcionamento |
| Altura do eixo do motor (mm) | 160 | Índice de protecção |
| Código comprimento | MR1 | Índice de arrefecimento |
| Potência atribuída GV (kW) | 11,000 | Classe de isolamento |
| Velocidade de sincronismo (min-1) | 1500 | Acabamento |
| Velocidade mecânica máxima (min-1) | 6700 | Binário de inércia do motor J (kg.m²) |
| | | Peso do motor (kg) |
| | | faixa de temperatura ambiente (°C) |
| | | etiqueta Regulamento |

| Definições comuns | |
|-----------------------|---|
| Tonalidade da pintura | RAL9005 |
| Sistema de pintura | C4M (1 x Ph-Zn PU primer (60µm +/- 20%) - 1 x acrylic polyurethane finish (50µm +/- 20%)) |

| Interface mecânica do motor | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Dimensões flange de motor | FF300 | Material do veio |
| Tipo de veio principal | Extremidade do veio normalizado CE1 | Tonalidade material do veio |
| Diâmetro do veio principal (mm) | 42x6 | 2ª extremidade do veio |
| Comprimento do veio principal (mm) | 110 | Diâmetro do veio secundário (mm) |
| Montagem rolamento dianteiro | Bloqueado | Comprimento veio secundário (mm) |
| Tipo de rolamento dianteiro | Rolamento de esferas dianteiro | Tipo de rolamento traseiro |
| Rolamento dianteiro | 6309 | Rolamento lado NDE |
| Tipo de lubrificação | Lubrificação permanente | |

| Interface elétrica do motor | | |
|---------------------------------------|------------------|------------------------------------|
| Tipo de ligação da rede | Caixa de bornes | Tipo de cabo |
| Material de ligação da rede | Liga de alumínio | Material da prensa-estopa |
| Posição de fixação da ligação da rede | A | Tipo de prensa-estopa principal |
| Orientação da ligação da rede | elevado | Posição da prensa-estopa principal |
| Posição relativa da ligação da rede | 0 | |

LEROY-SOMER

The information contained in this data-sheet is for guidance only and does not form part of any contract. The accuracy cannot be guaranteed as our company have an ongoing process of development and reserve the right to change the specification of their products without notice.

Versão V8.264

Mitsubashi Leroy-Somer SAS. Siège social : Bd Marcelin Leroy, CS 10015, 16615 Angoulême Cedex 9, France. Capital social : 65 800 512 €, RCS Angoulême 338 567 258. Control Techniques Limited. Registered Office: The Gira, Newtown, Powys SY16 3BE. Registered in England and Wales. Company Reg. No. 01226886.

N.º:

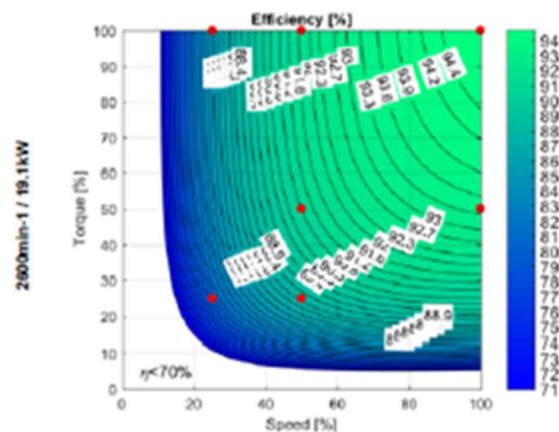
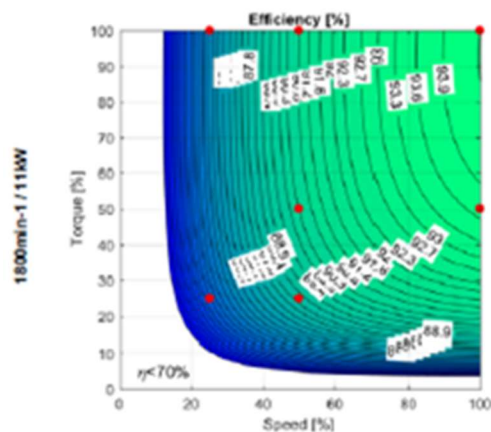
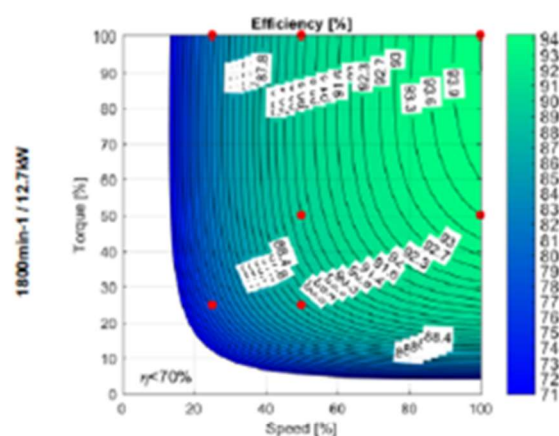
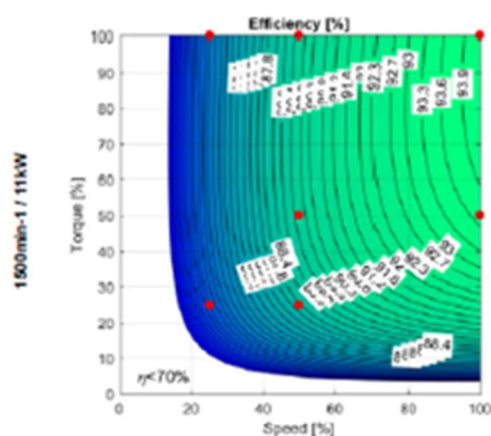
Data : 20 dec. 2023

Permanent Magnet Motors com opções - 1500 LSHRM 160MR1 11kW B5 400VY/460VY/400VD

| Opções do motor | | Material cobertura | Cobertura metálica |
|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Nível de vibração | A | Cobertura impermeável | - |
| Tipo de equilíbrio | Mela chaveta (H) | Tipo de arrefecimento | - |
| Tipo de impregnação (HR e T) | < 95% : (T) | Características ventilação forçada | - |
| Proteção térmica bobinagem | 1xPT1000 + 1xCTP (bobinagem) | Tipo de codificador | - |
| Resistência de reaquecimento | - | Características do codificador | - |
| Posição dos orifícios de purga | 6H | Material dos parafusos | Parafusos em aço inoxidável |
| Materiais da placa de características | Placa de identificação em alumínio | Adaptação para sensor de vibrações | - |
| Proteção térmica chumaceira | - | | |
| Sistema de isolamento reforçado | - | | |

Características do motor (alimentação na rede)

| Nn (min-1) | fn (Hz) | Pn (kW) | Tensão (V) | In (A) | Binário (Nm) | | | | | Imax (A) | Mmax (N.m) | Rendimento (IEC 61800-9-2) | | | | | | | | Niveau pression acoustique (dB(A)) |
|------------|---------|---------|------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|------------|----------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----|------------------------------------|
| | | | | | Mn (10% Nn) (N.m) | Mn (20% Nn) (N.m) | Mn (33% Nn) (N.m) | Mn (50% Nn) (N.m) | Mn (N.m) | | | 25% Nn & 25% Mn (%) | 25% Nn & 100% Mn (%) | 50% Nn & 25% Mn (%) | 50% Nn & 50% Mn (%) | 50% Nn & 100% Mn (%) | 100% Nn & 50% Mn (%) | 100% Nn & 100% Mn (%) | | |
| 1500 | 50 | 11 | 400 Y | 21 | 46,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 33 | 105,00 | 78,80 | 81,40 | 87,70 | 89,60 | 89,60 | 93,70 | 94,10 | 61 | |
| 1800 | 60 | 11 | 400 Y | 20 | 46,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 33 | 105,00 | 79,70 | 83,40 | 88,10 | 90,30 | 90,80 | 93,70 | 94,20 | 64 | |
| 2600 | 86.6 | 15.1 | 400 D | 38 | 46,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 56 | 105,00 | 80,40 | 85,20 | 88,00 | 90,80 | 91,70 | 93,40 | 94,70 | 73 | |





Ficha técnica

LEROY-SOMER

The information contained in this data-sheet is for guidance only and does not form part of any contract. The accuracy cannot be guaranteed as our company have an ongoing process of development and reserve the right to change the specification of their products without notice.

Moteurs Leroy-Somer SAS. Siège social: Bd Marcelin Leroy, CS 10015, 16915 Angoulême Cedex 9, France. Capital social: 65 800 512 €, RCS Angoulême 338 567 258.

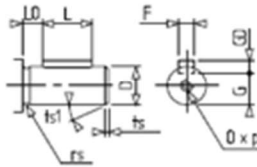
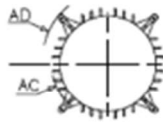
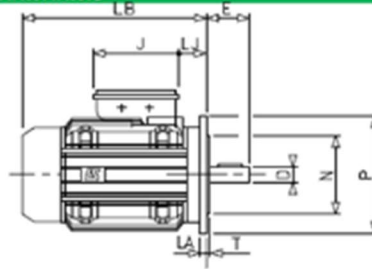
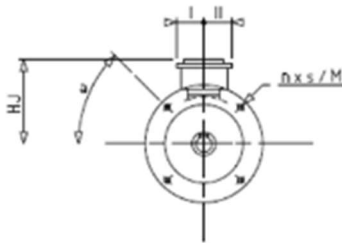
Control Techniques Limited. Registered Office: The Girs, Newtown, Powys SY16 3BE. Registered in England and Wales. Company Reg. No. 01236886.

Versão VS.264

Nº:

Data : 20 dec. 2023

Permanent Magnet Motors com opções - 1500 LSHRM 160MR1 11kW B5 400VY/460VY/400VD



| | |
|-----|--------|
| a | 45 |
| AC | 272.00 |
| AD1 | 45 |
| D | 426.6 |
| E | 110 |
| F | 12 |
| G | 37 |
| GD | 8 |
| HJ | 223.0 |
| I | 79 |
| II | 79 |
| J | 194 |
| L | 100 |
| LA | 15.5 |
| LB | 495.0 |
| LJ | 64.0 |
| LO | 6 |
| M | 300 |
| N | 250 |
| n | 4 |
| O | M16 |
| P | 350 |
| p | 36 |
| rs | 0.8 |
| S | 18.5 |
| T | 5 |
| ts | 1 |
| ts1 | 45 |


LEROY-SOMER

The information contained in this datasheet is for guidance only and does not form part of any contract. The accuracy cannot be guaranteed as our company have an ongoing process of development and reserves the right to change the specification of their products without notice.
 Motore Leroy-Somer SAS, Siège social : 84 Marville Leroy, CS 10012, 14013 Angoulême Cedex 9, France. Capital social : 45 800 212 €. RCS Angoulême 339 267 226.
 Control Techniques Limited, Registered Office: The Goo, Newton, Poyser Street, 185, Registered in England and Wales. Company Reg. No. 01226885.

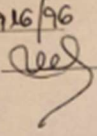
Versão V8.204

Anexo IV - Formação académica - Certificados

IV.1 Licenciatura "Pré-Bolonha"

 INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Secretaria dos Serviços Académicos

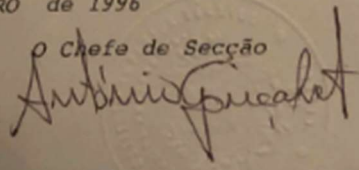
Impresso... 25000
Esp. de Cert. 575000
Urgência... 0500
Total 600500

Registo nº 2916/96
Conferido por: 

ANTÓNIO GONÇALVES VICENTE, CHEFE DE SECÇÃO DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO


CERTIFICA, em cumprimento do despacho exarado em requerimento arquivado nesta Secretaria, que dos livros competentes consta VASCO MANUEL FERREIRA MARTINS ----- portador do Bilhete de Identidade 8806426 ----- natural de MOÇAMBIQUE ----- filho de VASCO FERREIRA MARTINS ----- e de MARIA ALBERTINA ALVES ----- concluiu o curso de ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES - deste Instituto, em 11 de JULHO de 1994 ----- com a classificação final de 14 (catorze) valores.----- pelo que tem direito ao grau académico de licenciado, tendo requerido a respectiva carta.-----

Secretaria dos Serviços Académicos do Instituto Superior Técnico, em Lisboa, 03 de SETEMBRO de 1996

O Chefe de Secção


Aluno 32871 Pag. 1 de 1

IV.2 MBA - *Master in Business Administration*


MBA

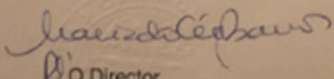
CERTIFICADO

O Director da Faculdade de Ciências Económicas e Empresariais da Universidade Católica Portuguesa certifica, para os devidos efeitos que **Vasco Manuel Ferreira Martins**, portador do B.I. nº 8806426, concluiu em 31 de Julho de 2003 a parte curricular do **Mestrado em Administração e Gestão de Empresas - MBA em Gestão Geral** da Escola de Pós-Graduação em Ciências Económicas e Empresariais da Universidade Católica Portuguesa, com a média final de 16 (dezassex) valores, tendo obtido as seguintes classificações:

| | | |
|---|---------------|---------|
| <u>Disciplinas Nucleares:</u> | | |
| Comportamento Organizacional | 15 (quinze) | valores |
| Contabilidade Financeira | 15 (quinze) | " |
| Economia Aplicada | 18 (dezoito) | " |
| Estratégia Empresarial | 16 (dezassex) | " |
| Finanças | 16 (dezassex) | " |
| Gestão de Informação | 17 (dezassex) | " |
| Marketing | 16 (dezassex) | " |
| Métodos Quantitativos | 18 (dezoito) | " |
| Sistemas de Controlo de Gestão | 13 (treze) | " |
| <u>Disciplinas Generalistas e Optativas Livres:</u> | | |
| Direito da Empresa | 17 (dezassex) | " |
| E-Business/M-Commerce | 15 (quinze) | " |
| Entrepreneurship e Projecto de Negócio | 16 (dezassex) | " |
| Estratégias de Retalho | 15 (quinze) | " |
| Ética Empresarial | 16 (dezassex) | " |
| Fiscalidade | 15 (quinze) | " |
| Fusões e Aquisições | 18 (dezoito) | " |
| Gestão da Inovação | 17 (dezassex) | " |
| Gestão de Marcas | 15 (quinze) | " |
| Gestão de Operações | 15 (quinze) | " |
| Macroeconomia | 17 (dezassex) | " |

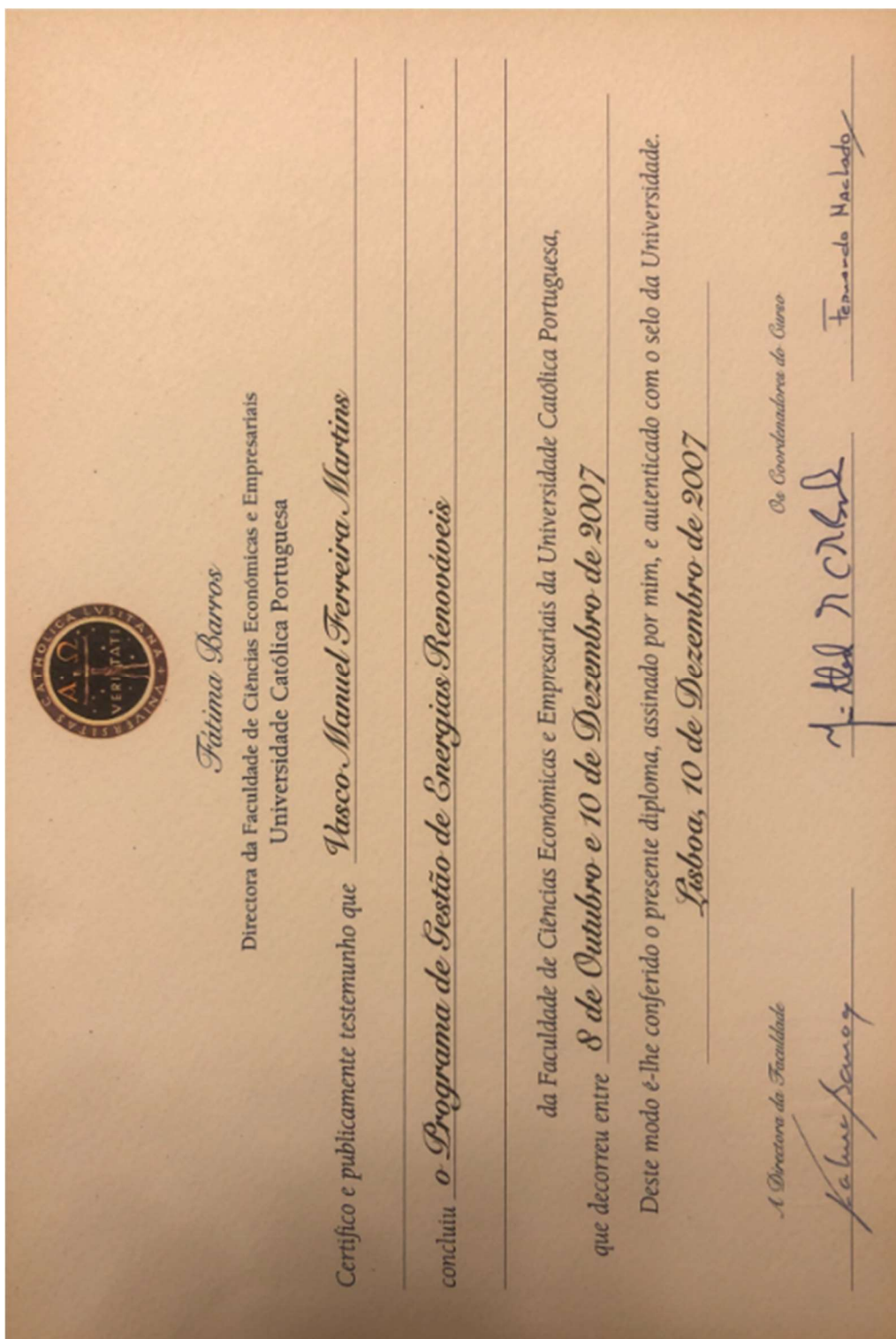
Por ser verdade e me ter sido pedido, mandei passar este certificado que vai por mim assinado e autenticado com o selo branco desta Universidade.

Lisboa, 19 de Dezembro de 2003


O Director

www.fcee.ucp.pt
Escola de Pós-Graduação em Ciências Económicas e Empresariais
Universidade Católica Portuguesa, Palma de Cima 1649-023 Lisboa. Tel.: 217 270 250/31 Fax: 217 270 224

IV.3 PGER - Programa de Gestão de Energias Renováveis



Anexo V - Outros cursos de formação - Certificados



TALENTUS
ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FORMADORES
E TÉCNICOS DE FORMAÇÃO

CERTIFICADO DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL
(Dec. Reg. n.º 35/2002 de 23 de Abril)

Certifica-se que, **Vasco Manuel Ferreira Martins**, natural de Moçambique, nascido a 08/01/1970, de nacionalidade portuguesa, do sexo masculino e portador do Bilhete de Identidade n.º 8806426, emitido pelo Arquivo de Identificação de Lisboa em 06/09/2005, concluiu, com aproveitamento, em 22/04/2006, o Curso de Formação Profissional:

**Formação Pedagógica Inicial de Formadores
- a distância -**

que decorreu em Lisboa de 04/02/2006 a 22/04/2006, com a duração total de 100 horas, tendo obtido a classificação final de Muito Bom (*).

Coimbra, 22 de Maio de 2006

O Responsável pela Entidade Formadora

TALENTUS
ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FORMADORES
E TÉCNICOS DE FORMAÇÃO
Noé Rodrigues Lopes (Dir.)

Certificado N.º 0100/2006

(*) Escala: Insuficiente, Suficiente, Bom, Muito Bom

Talentus - Associação Nacional de Formadores e Técnicos de Formação
NIPC: 503787485 - Rua Antero de Quental, 265 - Sala 1005 - 3000 - 033 Coimbra - Portugal
Tel: 239 837 981 Fax: 239 841 873 E-Mail: sede@talentus.pt HomePage: www.talentus.pt



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 65/92, de 23 de Maio e Decreto-Regulamentar n.º 68/94, de 24 de Novembro)

Certifica-se que **VASCO MANUEL FERREIRA MARTINS** nascido em 1970.01.08, natural de Moçambique, portador de Bilhete de Identidade nº 8806426 emitido pelo Arquivo de Identificação de Lisboa, em 2005.09.06, possui, desde 2007.02.16, competências pedagógicas para exercer a profissão de **FORMADOR (WF)**, 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.

Lisboa, 16 de Fevereiro de 2007

 O Delegado Regional

(Rui Patrício)

Certificado nº EDF 435277/2007 DL

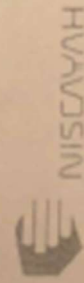
Válido até 2012.02.16

Certificate of Completion

This is to certify that

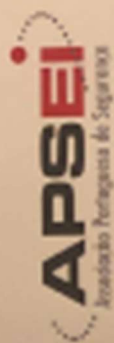
Vasco Martins

has successfully completed a course in
**Solution Selling® for Sales
Execution**



October 12, 2010





Certificado N.º: 0014.FUMO.2.2012.F

Válido até: 10/05/2017

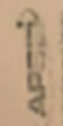
CERTIFICADO DE FORMAÇÃO

Certifico-se que **Vasco Manuel Ferreira Martins**, nascido a 08/01/1970, nacionalidade Portuguesa, sexo **Masculino**, portador do documento de identificação n.º 8906426, foi **Aprovado** na Formação Específica de

Sistemas e Dispositivos de Controlo de Fumo

que decorreu nos dias 07, 08 e 11 de Maio de 2012, com a duração total de 21 horas.

Esta formação específica é parte integrante do **Curso Inicial de Técnico Responsável de Segurança contra Incêndio em Edifícios**, ao abrigo do Despacho n.º 10738/2011.



O Responsável pela Formação Formadora

Assina e Assinatura

1000-142 Lisboa | Tel: 219 327 831 | Fax: 219 427 831

Associação Portuguesa de Segurança

Associação Portuguesa de Segurança

Maria João Cavale

Lisboa, 11 de Maio de 2012



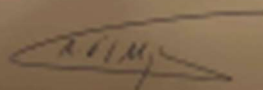
APSEI - Associação Portuguesa de Segurança
Rua da Cavaleiros 195, 1600-016 Lisboa
Tel: 219 427 831 | Fax: 219 327 831 | Contribuinte N.º 505 151 327

CERTIFICADO

Certifica-se que **Vasco Martins** portador do documento de identificação n.º 8806426, concluiu com assiduidade o programa **On the Way to the Future – Level II** organizado pela Porto Business School, para a EFACEC com a duração de 42 horas letivas, que decorreu entre 27 de novembro de 2019 e 30 de setembro de 2020.

Porto, 7 de fevereiro de 2021

O Presidente da Direção



(Faint text, likely name of the Director)



Yale

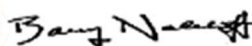
July 3, 2023

Vasco Martins

has successfully completed

**Introduction to Negotiation: A Strategic Playbook for
Becoming a Principled and Persuasive Negotiator**

an online non-credit course authorized by Yale University and offered through Coursera



Professor Tony Ruback, D.Phil.
Yale School of Management
Yale University

COURSE
CERTIFICATE



Verify at:
<https://www.coursera.com/verify/0227838952326>
Coursera has confirmed the identity of this individual and their
participation in the course.



**UNIVERSITY
OF LONDON**

**UCL
SCHOOL OF
MANAGEMENT**

May 25, 2023

Vasco Martins

has successfully completed

Corporate Strategy

an online non-credit course authorized by University of London and UCL School of
Management and offered through Coursera



Peter Alexander
Associate Professor
Strategy
UCL School of Management
University of London

COURSE
CERTIFICATE



Verify at:
<https://www.coursera.com/verify/0227838952326>
Coursera has confirmed the identity of this individual and their
participation in the course.



2024

VASCO MARTINS

Relatório nos Termos do Despacho n.º 20/2010 para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, por Licenciados “Pré-Bolonha”