

# EUTRO À TERRA

Revista Técnico-Científica | Nº15 | Junho de 2015

<http://www.neutroaterra.blogspot.com>

*Mantendo o compromisso que temos convosco, voltamos à vossa presença com mais uma publicação. Esta já é a décima quinta edição da nossa revista e continua a verificar-se um interesse crescente pelas nossas publicações, particularmente em países estrangeiros, como o Brasil, Angola, os Estados Unidos e Alemanha. Este facto dá-nos a motivação necessária para continuarmos empenhados no nosso objetivo, ou seja, fazer desta revista uma referência a nível nacional e internacional nas áreas da Engenharia Eletrotécnica em que nos propomos intervir.*

José Beleza Carvalho, Professor Doutor



**Máquinas Elétricas**  
Pág.05



**Energias Renováveis**  
Pág. 31



**Instalações Elétricas**  
Pág. 47



**Telecomunicações**  
Pág. 53



**Segurança**  
Pág. 57



**Gestão de Energia e Eficiência Energética**  
Pág.61



**Automação Domótica**  
Pág. 67

03| Editorial

05| Máquinas Elétricas

Controlo vetorial (FOC) de um motor de indução trifásico aplicado a um veículo elétrico.

Pedro Melo

Manutenção e diagnóstico de avarias em motores de indução trifásicos.

Pedro Melo

31| Energias Renováveis

Aproveitamento hidroelétrico da bacia do Douro: um olhar crítico.

António Machado e Moura

Sistemas Eólicos de Energia mais Leves que o Ar.

André Filipe Pereira Ponte; José Carlos P. Cerqueira; Mário André S. Fonseca

47| Instalações Elétricas

Energia em qualquer situação. Grupos eletrogéneos.

Nelson Gonçalves

53| Telecomunicações

Resenha Histórica da Regulamentação de Infraestruturas de Telecomunicações em Loteamentos, Urbanizações e Conjuntos de Edifícios (ITUR) em Portugal.

António Gomes, Rui Castro, Sérgio Filipe Carvalho Ramos

57| Segurança

Deteção de incêndios em túneis rodoviários.

Carlos Neves

61| Gestão de Energia e Eficiência Energética

Reduza a sua fatura de eletricidade e poupe dinheiro. Como optar pelo melhor comercializador de energia.

Luís Rodrigues, Pedro Pereira, Judite Ferreira

67| Automação e Domótica

SMART CITY – O Futuro já Acontece.

Paulo Gonçalves

70| Autores

## FICHA TÉCNICA

DIRETOR:	José António Beleza Carvalho, Doutor
SUBDIRETORES:	António Augusto Araújo Gomes, Eng.º Roque Filipe Mesquita Brandão, Doutor Sérgio Filipe Carvalho Ramos, Eng.º
PROPRIEDADE:	Área de Máquinas e Instalações Elétricas Departamento de Engenharia Electrotécnica Instituto Superior de Engenharia do Porto
CONTATOS:	jbc@isep.ipp.pt ; aag@isep.ipp.pt
PUBLICAÇÃO SEMESTRAL:	ISSN: 1647-5496

Estimados leitores

Mantendo o compromisso que temos convosco, voltamos à vossa presença com mais uma publicação. Esta já é a décima quinta edição da nossa revista e continua a verificar-se um interesse crescente pelas nossas publicações, particularmente em países estrangeiros, como o Brasil, Angola, os Estados Unidos e Alemanha. Este facto dá-nos a motivação necessária para continuarmos empenhados no nosso objetivo, ou seja, fazer desta revista uma referência a nível nacional e internacional nas áreas da Engenharia Eletrotécnica em que nos propomos intervir. Nesta edição, destacam-se os assuntos relacionados com as máquinas elétricas, as energias renováveis, as instalações elétricas, as telecomunicações, a gestão de energia e a eficiência energética.

Nesta edição da revista, merece particular destaque a colaboração do Professor Doutor Machado e Moura, Professor Catedrático na FEUP, com a publicação de um importante artigo sobre “Aproveitamento Hidroelétrico na Bacia do Douro”. Neste artigo, faz-se uma breve resenha histórica da evolução do aproveitamento dos recursos hídricos nacionais em termos hidroelétricos, bem como uma análise da situação atual. O artigo destaca a insuficiência das obras hidráulicas até agora realizadas a nível das nossas principais bacias, em particular no caso da bacia portuguesa do Douro, e alerta para as nefastas consequências que poderiam advir caso a situação não se alterasse.

Os motores de indução (MI) com rotor em gaiola de esquilo são usados na maioria dos sistemas eletromecânicos e estão muito disseminados nos atuais sistemas de variação de velocidade. A sua simplicidade e robustez, aliadas a baixos preços e ampla gama de potências disponíveis, são as principais razões. Por estas razões, a sua manutenção reveste-se de enorme importância. A monitorização contínua dos equipamentos é o elemento chave dos atuais sistemas de manutenção condicionada. A análise espectral da corrente absorvida pelo motor está muito implantada na indústria, mas apresenta várias limitações. Diversos métodos de deteção e diagnóstico de avarias têm sido desenvolvidos, baseados nas múltiplas grandezas que caracterizam o funcionamento do motor. Nesta edição da revista, apresenta-se dois artigos científicos de enorme valor, que analisam aplicação do controlo vetorial na utilização de MI aplicados aos veículos elétricos, e um artigo sobre manutenção e diagnóstico de avarias em MI trifásicos.

O mercado liberalizado de comercialização de energia elétrica tem evoluído ao longo dos anos e cada vez mais o consumidor de energia tem em seu poder numerosas opções de escolha. Em paralelo com a evolução deste mercado anda o mercado do gás natural. O consumidor, interessado no mercado liberalizado, deve ponderar a sua escolha no caso de ser consumidor de gás natural. Nesta edição da revista apresenta-se um artigo “Reduza a sua fatura de eletricidade e poupe dinheiro. Como optar pelo melhor comercializador de energia”, onde é analisado o processo de decisão da escolha do comercializador de energia mais adequado a cada tipo de perfil de consumidor.

No âmbito das telecomunicações, nesta edição da revista apresenta-se um interessante artigo que faz uma resenha histórica da evolução das telecomunicações e da regulamentação das infraestruturas de telecomunicações em loteamentos, urbanizações e conjuntos de edifícios em Portugal ao longo dos últimos anos.

Nesta edição da revista “Neutro à Terra” pode-se ainda encontrar outros assuntos muito interessantes e atuais, como um artigo sobre Grupos Eletrogéneos e os principais critérios que se devem adotar no seu dimensionamento, um artigo que aborda a Deteção de Incêndios em Túneis Rodoviários, e um artigo muito importante sobre Eficiência na Iluminação de espaços públicos, apresentando-se o caso da cidade de Águeda que foi premiada com o selo *Smart City*.

Fazendo votos que esta edição da revista “Neutro à Terra” vá novamente ao encontro das expectativas dos nossos leitores, apresento os meus cordiais cumprimentos.

Porto, junho de 2015

José António Beleza Carvalho



## CONTROLO VETORIAL (FOC) DE UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO APLICADO A UM VEÍCULO ELÉTRICO.

### I. INTRODUÇÃO

Os motores de indução (MI) com rotor em gaiola de esquilo estão muito disseminados nos atuais sistemas de variação de velocidade (“drives”). A sua simplicidade e robustez, aliadas a baixos preços (comparativamente a outras máquinas) e ampla gama de potências disponíveis, são as principais razões.

A evolução verificada nos domínios da eletrónica de potência e nos sistemas de controlo (em particular, o controlo digital), permitiram aplicar os MI em sistemas de elevado desempenho dinâmico (e.g., controlo de binário e/ou posição), substituindo os motores DC, cujas características dinâmicas e simplicidade de controlo os tornavam a primeira escolha em tais aplicações. Com efeito, as “drives” baseadas em MI apresentam características dinâmicas em tudo semelhantes aos sistemas DC, incluindo a possibilidade de funcionamento nos quatro quadrantes do plano (T, n). No entanto, a complexidade do conversores e, sobretudo, dos sistemas de controlo é muito mais elevada em AC. O controlo vetorial é o mais usual nas “drives” baseadas nas máquinas AC convencionais (assíncronas e síncronas). Existem outras metodologias também usadas na indústria (e.g., controlo direto do binário – DTC), mas neste trabalho somente o controlo vetorial será abordado. Neste domínio existem diversas variantes, sendo o método mais poderoso e utilizado o controlo por orientação de campo (Field Oriented Control – FOC). Desde finais da década de 60 do século passado, têm vindo a ser desenvolvidos vários métodos de controlo por orientação de campo [1]. Na sua essência, assentam numa filosofia semelhante aos sistemas DC: controlo independente do fluxo magnético e do binário desenvolvido. A sua implementação assenta na consideração de um referencial que gira com velocidade instantânea igual à do campo girante (referencial síncrono), estando alinhado, em qualquer instante, com a posição desse mesmo campo<sup>1</sup>.

O mais eficaz é sem dúvida o controlo por orientação do campo do rotor, sendo por isso o mais usual. No entanto, a implementação deste processo em AC é bastante mais complexa: para além dos valores das amplitudes é também necessário o controlo instantâneo da posição relativa dos fasores da expressão anterior, ou seja, é imprescindível o conhecimento, em cada instante, da posição espacial do fluxo do rotor em relação ao estator (i.e., referencial fixado ao estator).

### II. ROTOR FOC

A implementação do controlo por orientação de campo rotórico assenta na conversão da máquina polifásica em análise (não necessariamente trifásica), num sistema bifásico equivalente (eixos ortogonais d-q)<sup>2</sup>, definido no referencial síncrono  $\omega_{\Psi_r}$ . A Figura 1 ilustra os conceitos associados ao controlo por orientação do campo do rotor – Rotor FOC (com base em [2]).

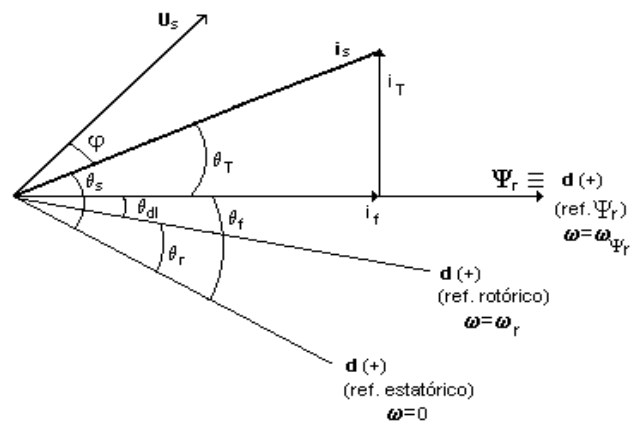


Figura 1. Controlo por orientação do campo do rotor em MI

O Rotor FOC assenta na definição das equações elétricas e magnéticas no referencial síncrono ( $\omega_{\Psi_r} = 2\pi f/p$  (rads<sup>-1</sup>)), sendo a direção do fluxo do rotor alinhada, em cada instante, com o eixo d desse referencial. As partes real e imaginária do fasor espacial corrente estática ( $i_s$ ) são, respetivamente,  $i_d$  e  $i_q$ , pelo que:

<sup>1</sup> Poderá ser considerado qualquer um dos campos girantes presentes no motor: estator, entreferro ou rotor.

<sup>2</sup> De modo a simplificar a representação, na Figura 1 estão somente representados os eixos d.

$i_f \rightarrow$  alinhada com  $\Psi_r$ , regula o seu valor (eixo d);

$i_T \rightarrow$  desfasada de  $\pi/2$  rad. eléctricos em relação a  $i_f$ , controla o binário electromagnético desenvolvido (eixo q).

Em regime permanente tem-se:

$$\Psi_r = L_m i_f \quad (1)$$

$$T_{el} = K_T \Psi_r i_T \quad (2)$$

Em termos conceptuais, o controlo é implementado no referencial síncrono. No entanto, o controlador físico (hardware) actua ao nível do referencial do estator, isto é, sobre as tensões e correntes que alimentam o motor (3 fases  $\rightarrow (u_a, u_b, u_c), (i_a, i_b, i_c)$ ). A determinação instantânea de  $i_f$  e  $i_T$  no referencial estático ( $\omega=0$ ) é fundamental. Uma vez que  $\theta_T = \arctg(i_T/i_f)$ , a obtenção do valor instantâneo de  $\theta_f$  é o ponto central (simultaneamente, o mais exigente) na implementação do Rotor FOC.

#### Rotor FOC – Método Indireto

Sendo esta a metodologia mais usualmente empregue, apresenta-se em seguida o modelo matemático do respetivo algoritmo de controlo. No essencial,  $\theta_f$  é determinado através da medição de  $\theta_r$  e da estimação de  $\theta_{dl}$  (ver Figura 1).

Considerando a representação no sistema de eixos d-q, no referencial síncrono, as equações elétricas do rotor de um MI com gaiola de esquilo são dadas por:

$$0 = i_{rd} R_r + \frac{d\Psi_{rd}}{dt} - (\omega_{\Psi_r} - \omega_r) \Psi_{rq} \quad (3)$$

$$0 = i_{rq} R_r + \frac{d\Psi_{rq}}{dt} + (\omega_{\Psi_r} - \omega_r) \Psi_{rd} \quad (4)$$

Sendo:  $\Psi_{rd} = \Psi_r$  e  $\Psi_{rq} = 0$ , as equações anteriores tomam a forma seguinte:

$$0 = i_{rd} R_r + \frac{d\Psi_r}{dt} \quad (5)$$

$$0 = i_{rq} R_r + (\omega_{\Psi_r} - \omega_r) \Psi_r \quad (6)$$

Por outro lado, as equações magnéticas do rotor, definidas no mesmo referencial, tomam a seguinte forma:

$$\Psi_{rd} = \Psi_r = L_r i_{rd} + L_m i_{sd} \quad (7)$$

$$\Psi_{rq} = 0 = L_r i_{rq} + L_m i_{sq} \quad (8)$$

Fixando:  $i_{sd} = i_f$  e  $i_{sq} = i_T$ , vem que:

$$i_{rd} = \frac{\Psi_r - L_m i_f}{L_r} \quad (9)$$

$$i_{rq} = -\frac{L_m}{L_r} i_T \quad (10)$$

Substituindo estas últimas expressões nas equações elétricas do rotor, obtém-se:

$$i_f = \frac{1}{L_m} (\Psi_r + T_{r0} \frac{d\Psi_r}{dt}) \quad (11)$$

$$i_T = \frac{1}{L_m} T_{r0} (\omega_{\Psi_r} - \omega_r) \Psi_r \quad (12)$$

[ $T_{r0}$ : constante de tempo do rotor c/ o estator em circuito aberto]]

Com base nas equações magnéticas do estator, também definidas no referencial  $\omega_{\Psi_r}$ , o binário electromagnético instantâneo é dado por:

$$T_{el} = \frac{3}{2} p (\Psi_{sd} i_{sq} - \Psi_{sq} i_{sd}) = \frac{3}{2} p \frac{L_m}{L_r} \Psi_r i_T \quad (13)$$

Assim, a velocidade associada ao deslizamento,  $\omega_{dl}$ , expressa em função de  $T_{el}$  e  $\Psi_r$ , é dada por:

$$\omega_{dl} = \omega_{\Psi_r} - \omega_r = \frac{L_m}{T_{r0}} \frac{i_T}{\Psi_r} = \frac{2R_r T_{el}}{3p \Psi_r^2} \quad (14)$$

O campo girante do rotor gira com velocidade igual a  $\omega_{pr}$ , relativamente ao referencial estático. Desta forma, considerando um instante  $t_0$ , tal que:  $\theta_f(t_0)=\theta_{f0}$ ;  $\theta_r(t_0)=\theta_{r0}$ ;  $\theta_{dl}(t_0)=\theta_{dl0}$ , tem-se:

$$\theta_{dl}(t) = \theta_{dl}(t_0) + \int_{t_0}^t \omega_{dl} dt \quad (15)$$

Através da velocidade instantânea do rotor ( $\omega_r$ ), obtém-se:

$$\theta_r(t) = \theta_r(t_0) + \int_{t_0}^t \omega_r dt \quad (16)$$

O valor de  $\theta_f$  é então obtido através de (ver Figura 1):

$$\theta_f(t) = \theta_{dl}(t) + \theta_r(t) \quad (17)$$

A conversão entre as mesmas grandezas definidas nos referenciais estático e síncrono é efetuada através da transformada de Park. Atendendo à ausência das componentes homopolares (dado que, usualmente, não existe condutor neutro nos MI), esta transformada é dada por:

$$\begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \sin\theta_e & \sin(\theta_e - \frac{2}{3}\pi) & \sin(\theta_e + \frac{2}{3}\pi) \\ \cos\theta_e & \cos(\theta_e - \frac{2}{3}\pi) & \cos(\theta_e + \frac{2}{3}\pi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} \quad (18)$$

### III. SIMULAÇÃO

O modelo de simulação utilizado baseia-se no conteúdo do bloco “Field Oriented Control Induction Motor Drive”, integrado na “Electric Drives Library” do MATLAB/SIMULINK. Existem diversas limitações a considerar, sendo de referir:

- As perdas do conversor de potência não são consideradas;
- O modelo do motor não inclui as perdas no ferro;
- Não é possível efetuar frenagens regenerativas, somente dissipativas (i.e., sem recuperação de energia).

Em síntese, o modelo do sistema da cadeia de potência do veículo inclui somente a drive do motor e a transmissão mecânica. Deste modo, a tónica principal será dada ao desempenho do controlador, baseado no Rotor FOC (indireto). Na figura 2, está representado o modelo considerado da cadeia de potência do veículo.

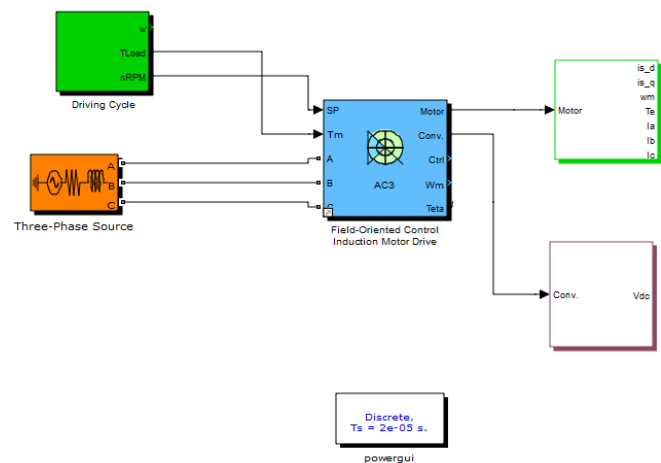


Figura 2. Modelo dinâmico do veículo

Os principais blocos são o “Driving Cycle” (a verde, inclui o ciclo de condução pré-definido e os modelos do veículo e da transmissão) e o “Field Oriented Control Induction Motor Drive” (a azul, representa a drive do motor de indução).

#### Ciclo de condução + Modelo do veículo (dinâmico e transmissão)

Para a implementação dos modelos da transmissão mecânica e da dinâmica do veículo, recorreu-se à toolbox “QuasiStatic Simulation Toolbox” (QSS TB), desenvolvida por [3], em ambiente MATLAB/SIMULINK. Esta toolbox foi especificamente desenvolvida para a modelização de veículos híbridos e elétricos, com os seguintes elementos: ciclos de condução, modelo dinâmico do veículo, transmissão mecânica, motor de combustão interna e motor elétrico, baterias, super-condensadores e células de combustível (fuel-cells). Na figura 3 estão representados os elementos utilizados neste trabalho.

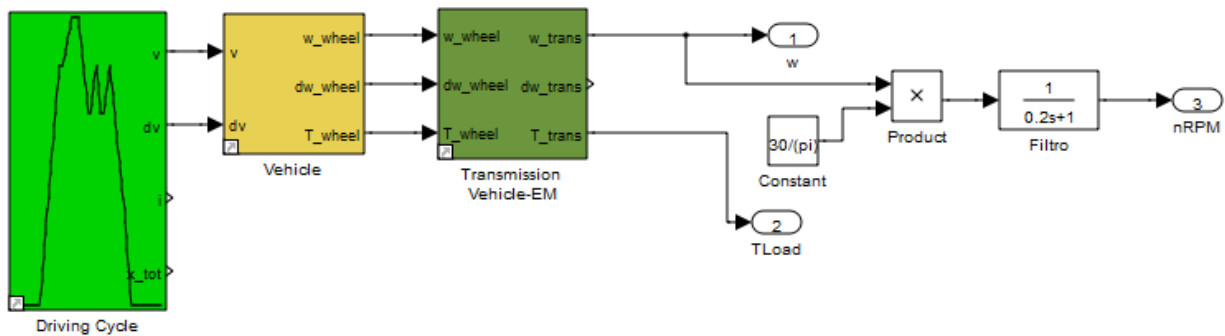


Figura 3. Ciclo de condução e modelo do veículo (dinâmica + transmissão)

A potência instantânea pedida ao MI ( $T_{load} \cdot \omega_r$ ) é calculada com base no ciclo de condução selecionado, no comportamento dinâmico do veículo (considera o atrito resultante do contacto roda-pavimento e a resistência aerodinâmica do ar, em deslocamentos planos) e num sistema de transmissão mecânico com uma razão constante.

A equação seguinte corresponde ao modelo dinâmico do veículo:

$$M_t \frac{dv(t)}{dt} = F_d(t) - M_t g C_r - \frac{1}{2} \rho C_w A v(t)^2 \quad (19)$$

$M_t$  Massa do veículo + massa equivalente dos elementos móveis;

$v(t)$  Velocidade instantânea do veículo, (direção longitudinal);

$F_d(t)$  Força motora (instantânea) aplicada ao veículo, segundo a direção longitudinal;

$g$  Aceleração gravítica [9.8 m·s<sup>-2</sup>];

$C_r$ ;  $C_w$  Coeficiente de atrito de rolamento; coeficiente de atrito aerodinâmico;

$\rho$ ;  $A$  Densidade do ar [1.294 kg/m<sup>3</sup>]; superfície frontal do veículo.

O 1º membro representa a força de inércia associada à aceleração do veículo, considerando também a variação da energia cinética acumulada nos componentes do veículo animados de movimento rotativo (*Massa equivalente dos elementos móveis – Tabela 3*).

Com efeito, tais variações da energia cinética são suportadas pelo motor.

Os parâmetros do veículo e do sistema de transmissão considerados estão indicados, respetivamente, nas Tabelas 1 e 2:

Tabela 1. Parâmetros do veículo

Massa (kg)	350
Massa equivalente dos elementos móveis (%)	5
Secção Transversal (m <sup>2</sup> )	1,5
Diâmetro da roda (m)	0,3
Coeficiente de atrito aerodinâmico	0,3
Coeficiente de atrito de rolamento	0,008

Tabela 2. Parâmetros da Transmissão Mecânica

Razão de transmissão	4
Rendimento (%)	98
Idling losses by friction (W)	10
Velocidade da roda acima da qual são geradas perdas (rad/s)	1

Na figura 4 está representado o modelo da drive do MI3 (conversor de potência + controlador + Motor de indução).

É visível a cadeia de transmissão de potência (conversor + motor de indução), bem como o controlador de velocidade e o controlador vetorial – bloco “F.O.C.”. O valor de referência do fluxo do rotor (Flux\*)<sup>3</sup> é gerado pelo controlador de velocidade.

<sup>3</sup> O símbolo \* está associado à representação das grandezas de referência.



Drive do motor de indução trifásico

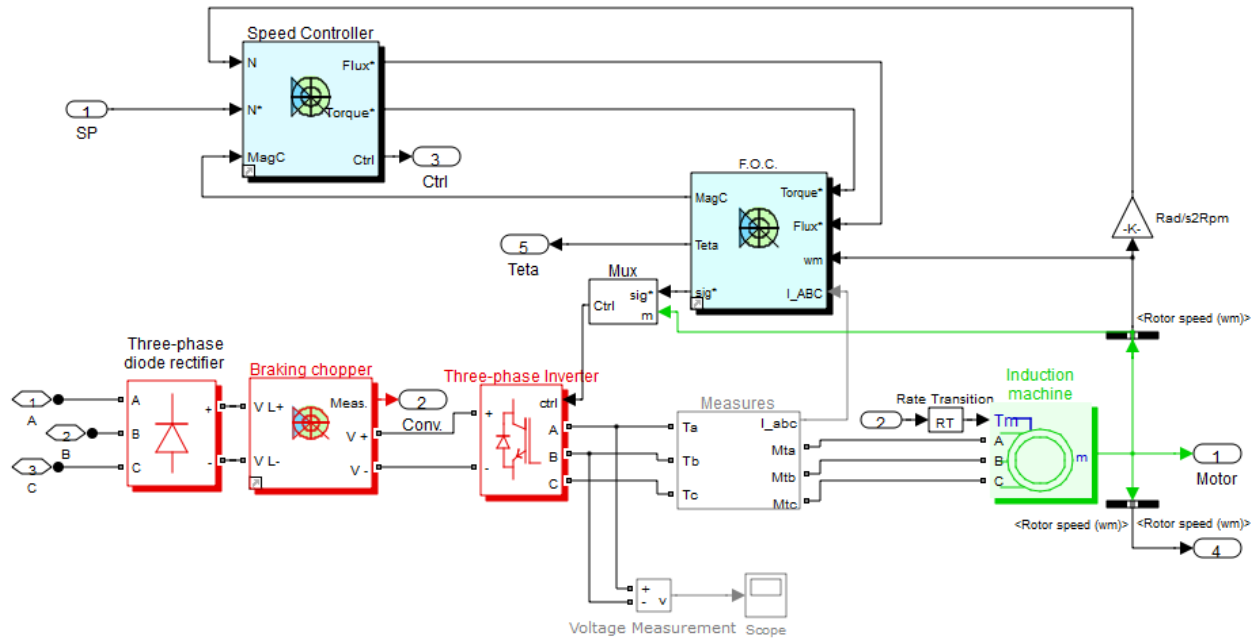


Figura 4. Estrutura da drive: conversor(vermelho), motor (verde) e controlador (azul)

Deste modo, é definida a gama de velocidades associada a fluxo constante (binário máximo constante) e a zona de enfraquecimento de campo (potência constante), de acordo com a figura 5:

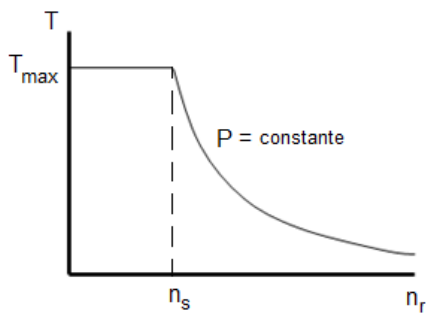


Figura 5. Zonas de funcionamento do MI: Fluxo constante (Baixas velocidades) e enfraquecimento de campo (Elevadas velocidades)

O conversor é do tipo fonte de tensão (*Voltage Source Inverter – VSI*), usual para a potência do motor considerado. É composto por um retificador não controlado (ponte de díodos – *Three-phase diode rectifier*) um andar DC intermédio (incluído no bloco “*Braking chopper*”) e um inversor (*Three-phase inverter*), cuja tensão de saída é regulada por PWM (*Pulse Width Modulation*). Neste caso, a fonte externa da figura 2 e o retificador representam, de modo muito simplificado, a bateria do veículo.

Existe a possibilidade de funcionamento nos 4 quadrantes, através de frenagens dissipativas (i.e., não é possível a recuperação da energia cinética do veículo): com efeito, há somente uma resistência de frenagem (bloco “*Braking chopper*”), onde se dá a dissipação da referida energia cinética. Com vista a evitar sobretensões na alimentação do inversor ( $V_{dc}$ ) devido a desacelerações bruscas ou velocidades excessivas nas descidas. A ação frenante associada à resistência é regulada através de um controlador histerético de tensão (ON se  $V_{dc} \geq V_{max}$ ; OFF se  $V_{dc} \leq V_{min}$ ).

A Tabela 3 contém os parâmetros do MI considerado.

Tabela 3. Parâmetros do motor de indução (7.5 kW; 400 V; 13 A; 50 Hz; 4 pólos; 1440 rpm)

$[R_s; R_r]$ ( $\Omega$ )	$[0,7384; 0,7402]$
$[L_s; L_r]$ (H)	$[127,14; 127,14] \cdot 10^{-3}$
$[l_s; l_r]$ (H)	$[3,045; 3,045] \cdot 10^{-3}$
$L_m$ (H)	$124,1 \cdot 10^{-3}$
$J$ ( $kg \cdot m^2$ )	0,0343

## Rotor FOC

A Figura 6 ilustra o conteúdo do bloco “F.O.C.”, onde é implementado o algoritmo da secção 2.1.

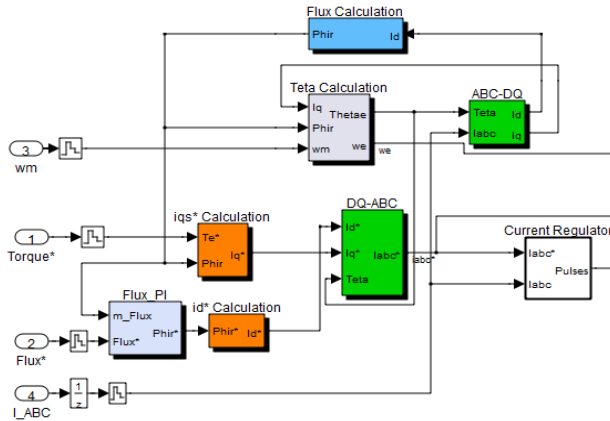


Figura 6. Implementação do Rotor FOC (indireto)

É bem visível o desacoplamento da regulação do fluxo rotórico e do binário: através do controlador PI do fluxo do rotor (“Flux\_PI”) é gerado o sinal  $Phir^*$ , sendo calculado o valor de referência  $Id^*$  através de (1).

O bloco “ $iqs^*$  Calculation” determina a referência da corrente associada ao binário ( $Iq^*$ ), com base em (2).

Os blocos a verde estão associados à transformada de Park no referencial síncrono (ABC-DQ) e respetiva inversa (DQ-ABC). Neste referencial, o fluxo instantâneo do rotor é regido por (11); o seu valor é obtido através do bloco “Flux Calculation”.

Finalmente,  $\omega_{dl}$  e  $\theta_f$  são calculados no bloco “Teta\_Calculation”, através de, respetivamente, (14) e (17).

O *duty-cycle* do trem de impulsos aplicado aos terminais das “gates” dos IGBTs do inversor é regulado em função da diferença entre  $Iabc^*$  e  $Iabc$  – bloco “Current Regulator”.

## Análise de Resultados

Nas figuras 7-10 estão representados os resultados obtidos, para o ciclo de condução considerado (Japan: 11-Mode).

A figura 7 ilustra as referências de velocidade (ciclo de condução) e binário (eixo motor), bem como o desempenho do MI3.

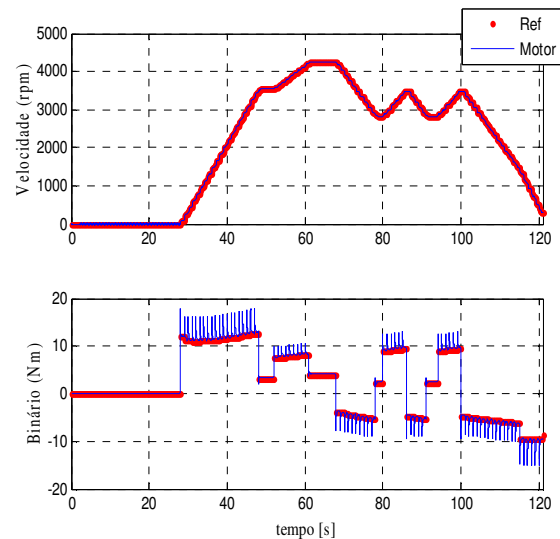


Figura 7. Perfil de velocidade e binário

A velocidade rotórica segue de modo muito fiel a referência pretendida. Naturalmente, tal resulta do facto do perfil do binário motor desenvolvido seguir a respetiva referência (modo motor: valores positivos; frenagem: valores negativos).

É de salientar o “ripple” existente nos intervalos de aceleração e desaceleração: sendo uma componente de alta frequência, o momento de inércia do sistema (motor+transmissão+carga) atenua quase na totalidade a influência desta componente, o que é visível no perfil de velocidade obtido.

As influências de  $Id$  e  $Iq$  (referencial síncrono) sobre, respetivamente, o fluxo rotórico e o binário desenvolvido estão bem evidenciadas na Figura 8.

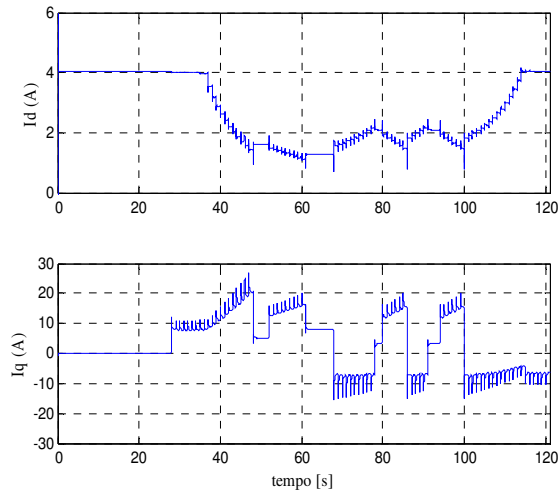


Figura 8. Perfis de  $I_d$  e  $I_q$  (referencial síncrono)

A fronteira entre zona de “fluxo constante” e „enfraquecimento de campo” é definida pela velocidade de sincronismo do motor ( $n_s$ ) – neste caso, 1500 rpm. Observa-se o valor constante de  $I_d$  para  $n_r < 1500$  rpm. Para valores superiores da velocidade (zona de enfraquecimento de campo),  $I_d$  varia de forma inversamente proporcional à velocidade. Por seu turno, é visível a semelhança entre os perfis de  $I_q$  e do binário desenvolvido: naturalmente, na zona de enfraquecimento de campo,  $I_q$  tende a desviar-se do perfil do binário, de modo a compensar a diminuição do fluxo rotórico, de acordo com (2).

Para o ciclo de condução seleccionado, a potência instantânea é inferior à potência nominal do motor seleccionado (Figura 9).

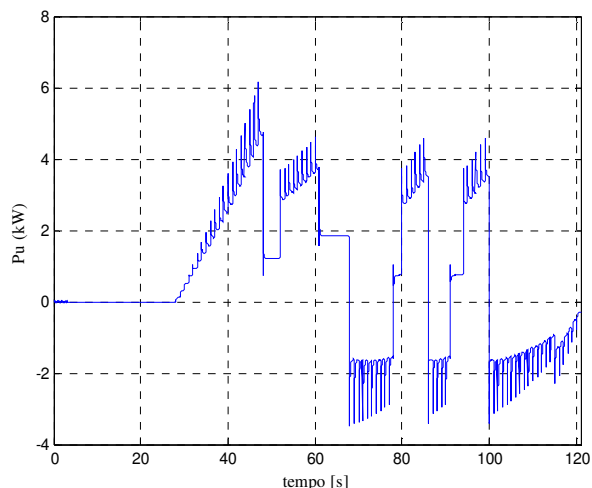


Figura 9.  $P_{\text{útil}}$  do motor

No entanto, tratando-se de regimes dinâmicos, é necessária uma análise mais profunda relativamente às condições de funcionamento do motor. A título de exemplo, na Figura 10 é patente o risco de danos causados pelos efeitos térmicos, atendendo aos intervalos em que a corrente se encontra entre 20 A e 30 A (altas velocidades). Notar que o valor da corrente de pico nominal do motor é igual a:  $\sqrt{2} \cdot 13 = 18,4$  A).

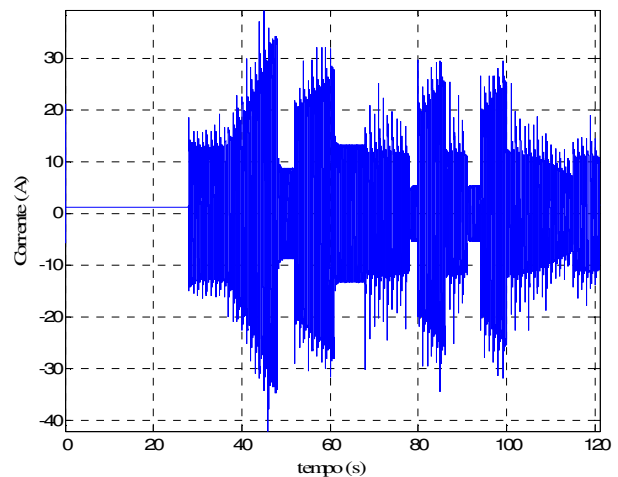


Figura 10. Corrente absorvida pelo motor

A escolha da classe de isolamento do motor e a necessidade de inclusão de ventilação forçada deverão ser devidamente ponderadas. As solicitações mecânicas nas altas velocidades (nomeadamente, nos rolamentos) é outro fator a ser analisado.

Por outro lado, o motor é submetido a uma gama de potências bastante ampla. Torna-se importante caracterizar o rendimento da máquina em múltiplos regimes de funcionamento tanto em modo motor como em frenagem. Os mapas de eficiência são usualmente empregues com este fim.

Na Figura 11 está representado o mapa da máquina usada (modo motor – 1º quadrante), bem como os regimes de funcionamento impostos pelo ciclo de condução escolhido (vermelho). De referir que as perdas no ferro do motor foram aqui incluídas.

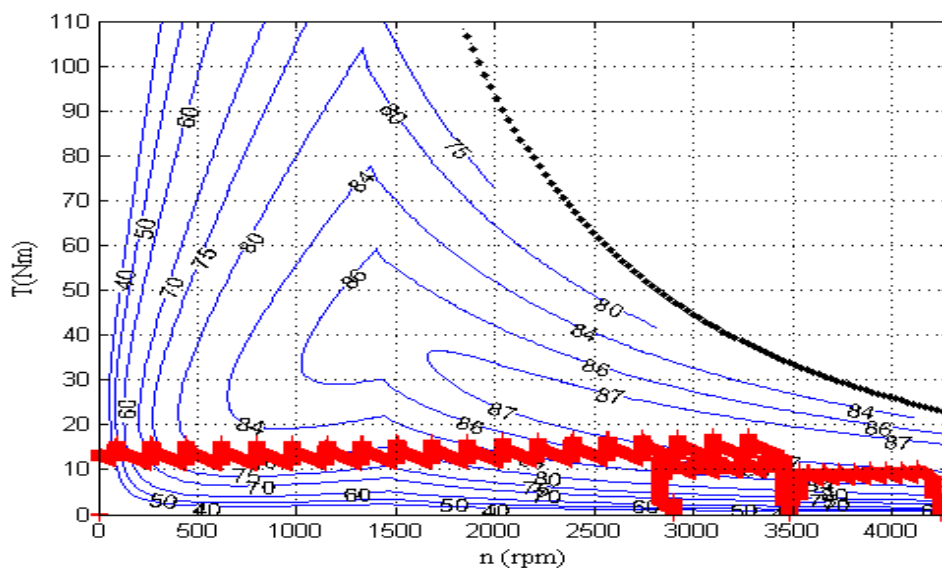


Figura 11. Mapa de eficiência do MI3 e pontos de funcionamento

Neste caso, o motor funciona com rendimentos relativamente elevados, em quase todo o ciclo de condução. As zonas de rendimentos mais baixos situam-se nas baixas velocidades, com cargas baixas. Dependendo das características dos ciclos de condução e da razão de transmissão, o motor poderá funcionar preponderantemente em tais zonas. Nesses casos, com vista a melhorar o rendimento da máquina, duas opções poderão ser consideradas:

-Optar por um sistema de transmissão com múltiplas razões;

-Incluir algoritmos de otimização de fluxo, uma vez que a principal razão dos baixos rendimentos nas zonas referidas se deve ao valor demasiado elevado do fluxo magnético, face ao binário exigido [4].

#### IV. CONCLUSÕES

Neste artigo procurou-se incidir nos princípios de base do controlo vetorial por orientação do campo rotórico, aplicado aos motores de indução trifásicos. Os níveis de exigência dinâmica associados aos sistemas de tração dos veículos elétricos são muito elevados (e.g., funcionamento nos 4 quadrantes, múltiplos regimes de funcionamento com variações mais ou menos bruscas, rendimentos distintos).

Como tal, a opção por um MI3 (ou outras máquinas elétricas) só é viável através de sistemas de controlo capazes de dotarem as máquinas de comportamentos dinâmicos que estejam à altura de tais exigências – o controlo vetorial (Rotor FOC) é a opção mais usual, no caso das “drives” AC convencionais. Com base num modelo de simulação, apresentou-se um exemplo de aplicação num veículo elétrico, procurando também evidenciar algumas das condições de funcionamento da máquina elétrica, e respetivos impactos sobre a mesma. Por último, é de frisar o carácter introdutório com que se procuraram abordar estes assuntos; é essa a perspetiva com que se pretende que este artigo seja encarado.

#### Referências

- [1] Marques, Gil (1999). “Controlo de Motores Eléctricos”, IST.
- [2] Krishnan, R. (2001). Electric Motor Drives – Modeling, Analysis and Control (1 edition), Prentice Hall, ISBN 13: 978-0130910141.
- [3] Guzzella, L., & Amstutz, A. (2005), The QSS Toolbox Manual, Measurement and Control Laboratory –Swiss Federal Institute of Technology Zurich.
- [4] P. Melo, R. d. Castro, and R. E. Araújo, “Evaluation of an Energy Loss-Minimization Algorithm for EVs Based on Induction Motor”, Induction Motors - Modelling and Control, Intech (2012)

## MANUTENÇÃO E DIAGNÓSTICO DE AVARIAS EM MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS.

### Resumo

*Os motores de indução trifásicos são usados na maioria dos sistemas eletromecânicos, pelo que a sua manutenção reveste-se de enorme importância. A monitorização contínua dos equipamentos é o elemento chave dos atuais sistemas de manutenção condicionada. A análise espectral da corrente absorvida pelo motor está muito implantada na indústria, mas apresenta várias limitações. Diversos métodos de deteção e diagnóstico de avarias têm sido desenvolvidos, baseados nas múltiplas grandezas que caracterizam o funcionamento do motor. A análise no domínio das frequências, com recurso a técnicas de processamento digital de sinal, tem sido bastante explorada. Este artigo pretende focar-se nas principais causas e métodos de diagnóstico de avarias no estator e rotor dos motores de indução.*

### 1. Introdução

Os motores elétricos são elementos centrais em qualquer processo industrial atual. Na União Europeia, a sua utilização está associada a cerca de 70% da energia consumida no sector industrial. Em Portugal, verifica-se um valor semelhante para o mesmo sector, sendo que 30% do total de energia elétrica consumida no país é da responsabilidade dos motores elétricos [1]. Neste contexto, os motores de indução trifásicos (MI3) assumem uma importância determinante: cerca de 90% dos motores de corrente alternada utilizados são deste tipo, em particular, a variante de gaiola de esquilo.

Compreende-se a importância dos níveis de fiabilidade destas máquinas, ao longo do seu tempo de vida útil, na generalidade dos processos produtivos. A variedade de ambientes (mais ou menos agressivos), associada às condições de funcionamento dos motores, são os principais fatores que estão na origem do aparecimento de avarias: para além dos inconvenientes que podem surgir em termos produtivos, estão normalmente associadas à redução do tempo de vida útil dos motores [2].

Os dispositivos de proteção convencionais dos motores elétricos atuam somente após a ocorrência de falhas [3] (e.g., relés & disjuntores magneto-térmicos: curto-circuitos entre fases ou fase-terra, sobrecargas, defeitos à terra, flutuações e desequilíbrios nas tensões; fusíveis: curto-circuitos; proteções diferenciais: contra contactos indiretos). Se forem graves, tal implicará interrupções nos processos de fabrico, podendo também provocar danos noutros componentes dos sistemas eletromecânicos onde os motores se inserem. Naturalmente, os custos associados poderão ser avultados, tanto em equipamentos como, mais grave ainda, em vidas humanas.

Deste modo, a deteção antecipada de possíveis avarias reveste-se de enorme importância: redução dos custos de manutenção e tempos de interrupção, aumentando a fiabilidade e o tempo de vida útil dos motores e respetivos acionamentos [2]. Atualmente, o diagnóstico e deteção de avarias assenta na monitorização não intrusiva dos componentes do sistema, conjugadas com técnicas de processamento digital de sinal, cuja análise permite a identificação de múltiplas avarias no motor.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: A Secção 2 apresenta alguns conceitos gerais sobre manutenção condicionada de motores elétricos. Na Secção 3 descrevem-se os principais tipos de avarias em MI3. A Secção 4 incide sobre as avarias elétricas mais frequentes: falhas nos enrolamentos do estator e quebra de barras no rotor. São também abordados alguns dos métodos mais relevantes que têm sido aplicados na sua deteção. A Secção 5 refere-se a duas técnicas aplicadas na deteção e diagnóstico de falhas, realçando as suas vantagens e limitações: a transformada rápida de Fourier (FFT) e a transformada de Park. Na Secção 6 são apresentados os resultados de algumas simulações de avarias e respetivo diagnóstico, com base nas técnicas anteriores. Finalmente, a Secção 7 contém as conclusões finais.

## 2. Manutenção Condicionada em Motores Elétricos

Tradicionalmente, as ações de manutenção em motores elétricos baseavam-se em métodos intrusivos (e.g., ensaios de isolamento à massa, medição da temperatura e da resistência dos isolantes & índice de polarização, ensaios de continuidade elétrica, análise de lubrificantes, etc). Estas técnicas são normalmente implementadas nos períodos de paragem das máquinas, no âmbito de operações de manutenção preventiva sistemática [4].

Nos últimos anos, os sistemas de diagnóstico e deteção de avarias têm sido alvo de consideráveis desenvolvimentos, assentes na manutenção condicionada ou preditiva: a monitorização contínua do estado da máquina durante o seu tempo de vida útil (idealmente, também dos restantes componentes do acionamento), de modo não intrusivo, permite a identificação de falhas numa fase inicial, ou mesmo a previsão do seu aparecimento.

São vários os benefícios da sua aplicação: aumento da eficiência dos processos, diminuição de paragens não planeadas, aumento da vida útil dos equipamentos e, igualmente importante, o registo detalhado das falhas ocorridas nas máquinas [3], [4].

Na Figura 1 está representada a estrutura básica destes sistemas (retângulo cinzento).

Os programas de manutenção condicionada utilizados na indústria assentam na medição e análise de múltiplas grandezas (e.g., mecânicas, elétricas, térmicas, etc.). A utilização de técnicas de processamento digital de sinal tem revelado um enorme potencial no diagnóstico de avarias (e.g., tensões, correntes, fluxos magnéticos, descargas parciais, vibrações, velocidade, binário).

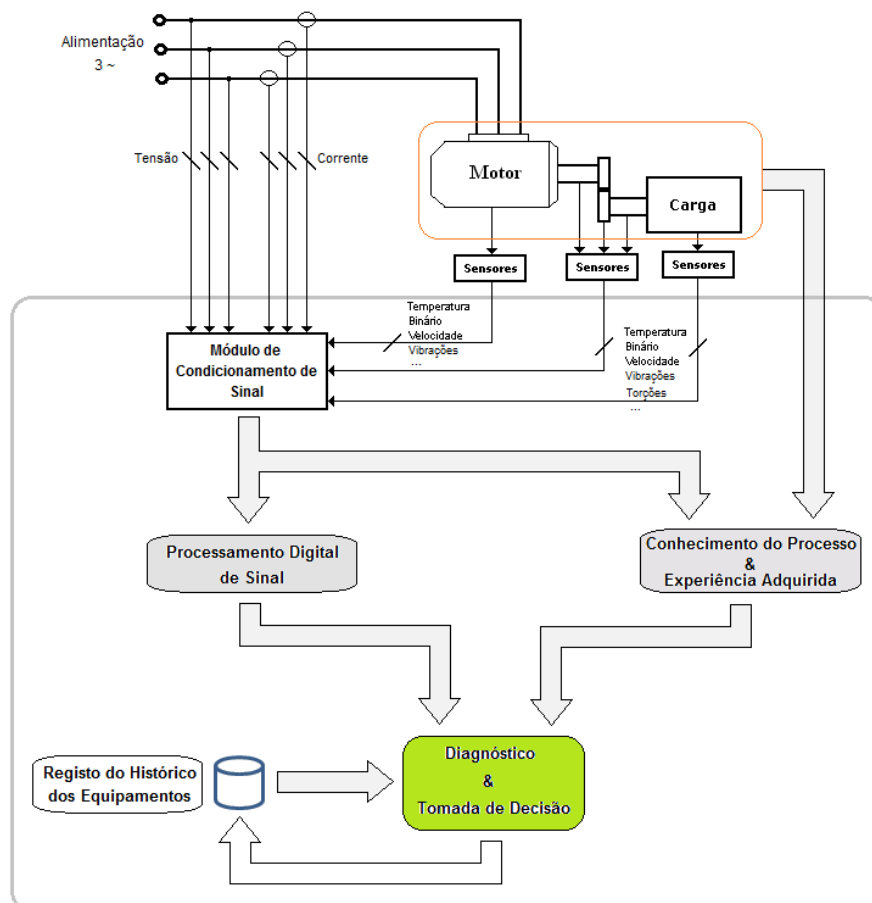


Figura 1. Deteção e diagnóstico de avarias em sistemas eletromecânicos

Atualmente, os sistemas industriais de diagnóstico de avarias de motores elétricos assentam na análise espectral das correntes absorvidas – *Motor Current Signature Analysis (MCSA)*. No entanto, há algumas limitações a considerar na sua aplicação, sendo de salientar:

- As características da máquina (e.g., assimetrias construtivas no estator e rotor, saturação magnética) podem levar a alterações no sinal da corrente, semelhantes à ocorrência de certas falhas, introduzindo erros nos diagnósticos de deteção de falhas [3];
- Em regimes transitórios de funcionamento ou se o motor é alimentado através de um conversor de frequência.

A disseminação das técnicas de análise dos sinais das grandezas do motor deve muito ao desenvolvimento e variedade de sensores atualmente disponíveis (e.g., fluxos magnéticos radiais e axiais, velocidade e posição do rotor, binário, vibrações, temperatura, etc.), bem como dos sistemas de aquisição de dados e técnicas de processamento de sinal.

Deste modo, torna-se possível a deteção de múltiplas avarias no motor, através de uma monitorização de “largo espectro” [5], [6].

Os conversores de potência utilizados no controlo dos motores fomentam o aparecimento de avarias, limitando o seu tempo de vida útil. As técnicas de deteção de avarias atualmente mais usadas foram concebidas no âmbito de alimentações sinusoidais. Deste modo, o desenvolvimento de sistemas de deteção de falhas vocacionados para alimentações não sinusoidais reveste-se de extrema importância.

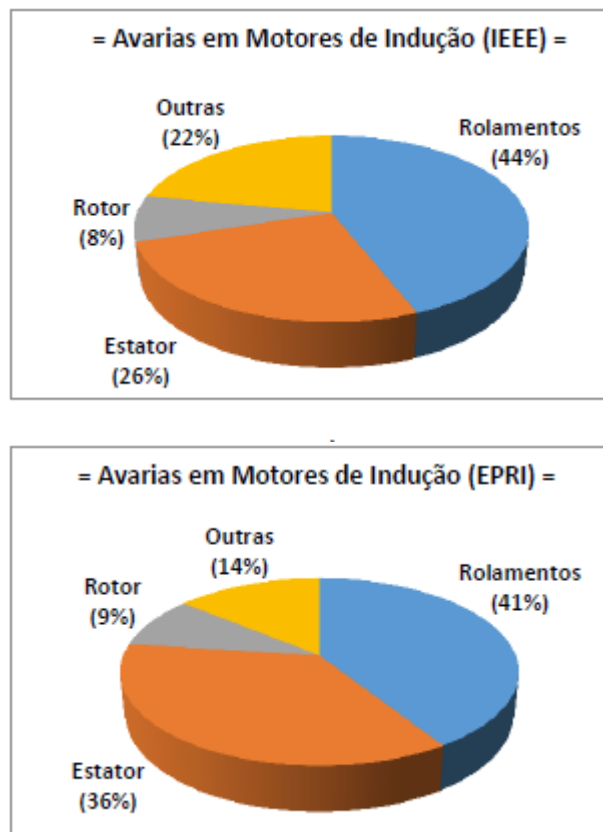
**3. Tipos de Avarias em Motores de Indução [7]**

As principais avarias em motores elétricos estão fundamentalmente associados a falhas mecânicas e elétricas – causas internas. Existem também avarias com origens externas ao motor; a disseminação dos conversores de potência na sua alimentação contribui para o aumento das avarias. Na Tabela 2 são referidas as avarias mais frequentes.

**Tabela 2. Tipos de Avarias em MI**

<b>Avarias Eléctricas</b>	<b>Avarias Mecânicas</b>	<b>Avarias com Origem Exterior</b>
Curto-circuitos entre fases ou entre espiras de enrolamentos – falhas de isolamento eléctrico.	Barras rotóricas partidas e/ou Anéis partidos das extremidades das gaiolas rotóricas.	Sobretensões, subtensões e desequilíbrios nas tensões de alimentação do motor.
Curto-circuitos entre fases ou entre espiras de enrolamentos – falhas de isolamento eléctrico.	Danificação do circuito magnético do motor (deteriorização das propriedades magnéticas em consequência de temperaturas elevadas, ambientes agressivos, etc)	Arranques intempestivos ou cortes na alimentação.
Ligações erradas entre enrolamentos.	Entreferros não uniformes.	Sobrecargas e/ou perda de uma ou mais fases.
Resistência elevada no contacto entre condutores de bobinas da mesma fase.	Falhas nos rolamentos.	Má selecção do motor.
Circulação de correntes nos rolamentos e no veio – motores alimentados através de conversores de potência.	Deslocamento do veio: axial, radial (excentricidades), desalinhamentos.	Falhas nos componentes mecânicos de transmissão de potência (e.g., correias, engrenagens).
Problemas na ligação à terra.	Veios torcidos.	Avarias no conversor de potência que alimenta o motor.

A figura 2 apresenta o peso relativo das avarias nos principais constituintes do motor, com base em dois estudos, efetuados em ambiente industrial [8]: o primeiro, pelo *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE), sendo o segundo da responsabilidade do *Electric Power Research Institute* (EPRI).



**Figura 2. Distribuição das avarias pelos principais componentes do motor**

Levantamentos adicionais permitiram reduzir o peso da incerteza das causas de avarias (“Outras”), evidenciando que as falhas nos rolamentos correspondem a mais de 50% do total de avarias, enquanto as do estator situam-se em cerca de 20% [9].

Não obstante algumas discrepâncias, todos os resultados evidenciam que as falhas mais frequentes ocorrem nos rolamentos e no estator, principalmente, no isolamento dos seus enrolamentos.

#### 4. Métodos de Detecção de Avarias

Nesta secção, apresenta-se as principais causas das avarias nos enrolamentos do estator e nas barras e anéis rotóricos, seguida de uma descrição dos métodos atuais mais relevantes na sua deteção.

##### 4.1. Avarias em enrolamentos estáticos

As avarias no estator podem ocorrer na sua estrutura magnética (e.g., correntes de circulação entre lâminas ou entre enrolamentos e o circuito magnético), na carcaça do motor (correntes de fugas para a terra) ou nos enrolamentos estáticos (e.g., deterioração/envelhecimento dos materiais isolantes, deslocamento de condutores, etc.). Em todos os casos, as avarias estão sempre associadas a falhas nos isolantes, em particular, entre as espiras que compõem as bobinas dos enrolamentos.

Para além de boas propriedades dielétricas (e.g., elevada rigidez dielétrica e perdas reduzidas), os materiais isolantes requerem também características complementares, tais como tolerância a temperaturas e respetivas variações, a esforços mecânicos (forças, vibrações e conseqüente desgaste por abrasão (e.g., testas das bobinas)), bem como a ambientes quimicamente agressivos (contaminação & corrosão) [10]. O próprio processo de colocação das espiras que compõem os enrolamentos de fase do motor poderá alterar as propriedades dos materiais isolantes: em certos casos, os impactos sofridos nesta fase são superiores àqueles que se verificam no funcionamento posterior do motor [11]. Todas estas solicitações afetam, em maior ou menor grau, o processo de envelhecimento dos isolantes do motor.

São bem conhecidos os efeitos das temperaturas elevadas: trata-se de um dos principais fatores responsáveis pelas avarias nos isolantes. Situações extremas poderão levar a que aqueles materiais derretam – tais avarias ocorrem em intervalos de tempo muito curtos, uma vez que as subidas de temperatura ocorrem muito rapidamente (e.g., curto-circuitos).



Funcionamentos com temperaturas elevadas (mas abaixo dos casos anteriores), durante intervalos de tempo longos, são o principal motivo do envelhecimento precoce dos isolantes: dão-se alterações químicas nos materiais, tornando-os quebradiços. Por outro lado, a expansão dos enrolamentos de cobre dá-se de um modo distinto dos materiais isolantes que os revestem, pelo que estes são também submetidos a esforços mecânicos deteriorantes [12]. As falhas daí decorrentes contam-se entre as mais frequentes, normalmente manifestando-se a médio/longo prazo. Com exceção das perdas por ventilação, as restantes perdas no interior do motor (perdas por efeito de Joule, magnéticas, mecânicas e adicionais) contribuem para o valor da temperatura máxima atingida no seu interior. Como tal, os fatores de serviço impostos ao motor, bem como as respetivas durações temporais, são determinantes na ocorrência destas avarias.

Um outro fenómeno igualmente responsável pelo envelhecimento dos materiais isolantes são as descargas parciais (arcos elétricos que surgem no interior do próprio isolante ou entre condutores e isolantes, devido a distribuições não uniformes do campo elétrico que excedem a sua rigidez dielétrica). Tipicamente, ocorrem em motores de alta tensão (>2300 V) ou quando alimentados através de inversores [10]. As descargas parciais são responsáveis pela deterioração progressiva dos materiais isolantes; a sua deteção é difícil, uma vez que são caracterizadas por amplitudes baixas com períodos muito curtos [10]. No entanto, a sua monitorização é de extrema importância, uma vez que é um meio eficaz de verificar o nível de envelhecimento dos isolantes [10], [12].

#### 4.1.1. Deteção de Avarias

As falhas de isolamento podem ter consequências muito nefastas, tanto ao nível do processo em curso e impactos económicos, como, principalmente, na segurança dos operadores. Várias técnicas de diagnóstico têm sido desenvolvidas, baseadas em diferentes abordagens. A sua aplicação depende de vários fatores: potência nominal e custo do motor, impacto da avaria, etc.

Alguns dos métodos mais usuais são descritos em [13], [14], sendo de destacar: utilização da matriz de impedâncias do motor, análise da potência elétrica instantânea e análises espectrais (tensões, correntes, binário eletromagnético, fluxo magnético axial). Esta última referência apresenta uma descrição bastante exaustiva das causas de avarias em enrolamentos estatóricos de motores de indução e respetivos métodos de diagnóstico.

Há a distinguir os métodos intrusivos – que requerem a paragem do motor (Off-line) –, dos métodos não intrusivos (On-line):

- **Off-Line**

Com vista a identificar o estado dos materiais isolantes, os ensaios mais comuns são os seguintes: medição da resistência óhmica, rigidez dielétrica, capacidade entre condutores estatóricos e o circuito magnético do estator ligado à terra e o fator de perdas do dielétrico ( $\tan(\delta)$ ). Podem ser também realizados ensaios de impulsos (e.g., ondas de choque) e ensaios de descargas parciais. Os diferentes ensaios permitem efetuar análises complementares aos isolantes; o maior inconveniente da sua realização é o facto de serem intrusivos e de colocar o motor fora de serviço [10]. Por estes motivos, os ensaios on-line, não intrusivos, têm merecido um maior interesse.

- **On-Line**

A monitorização da temperatura dos enrolamentos estatóricos é a forma mais evidente de analisar o estado e/ou risco de deterioração dos seus isolantes. Tal poderá ser conseguido através da inclusão de termopares nos próprios enrolamentos (em motores de grande potência), ou através de câmaras termográficas. Complementarmente, é possível detetar avarias em partes específicas do motor, através de aumentos anormais da temperatura (locais ou globais) – e.g., avarias no sistema de ventilação, pontos mais quentes da máquina, etc. Como tal, o recurso à termografia tem-se revelado um instrumento valioso na deteção de avarias (não apenas no estator).

A monitorização on-line das descargas parciais é uma forma bastante eficaz de antecipação de avarias resultantes do envelhecimento dos isolantes estatóricos [10], [15]. Uma das consequências das descargas parciais nos enrolamentos estatóricos é a produção de ozono, pelo que a monitorização da sua concentração indicia o aparecimento destas avarias. No entanto, este fenómeno tende a ocorrer pouco antes de surgir a avaria, por isso deve ser usado de forma complementar [7], [10]. Sendo necessária a instalação de sensores e equipamentos específicos, somente em motores de grande potência (tensões nominais elevadas) será justificável esta monitorização.

#### 4.2. Barras rotóricas partidas

Este tipo de falhas estão normalmente associadas a barras rotóricas partidas ou anéis de extremidade danificados. As principais causas devem-se aos seguintes fenómenos [13]:

- Sobrecargas térmicas e/ou distribuições não uniformes de temperatura na gaiola;
- Ruído e vibrações, forças eletromagnéticas excessivas sobre as barras e anéis (e.g., esforços de torção);
- Imperfeições de construção (e.g., assimetrias na distribuição das barras);
- Perturbações dinâmicas causadas pelas cargas acionadas e/ou pelos ciclos de funcionamento;
- Causas ambientais (e.g., corrosão);
- Falhas mecânicas (e.g., problemas nos rolamentos, separação de lâminas do circuito magnético do rotor, etc.).

Quando ocorrem, o motor poderá funcionar ainda por algum tempo, sem que se manifestem consequências extremas sobre a máquina.

A quebra de uma barra impede a circulação de corrente nesse trajeto; se existirem correntes entre barras, a deteção desta avaria torna-se muito mais difícil, uma vez que tais correntes atenuam o desequilíbrio provocado pelas barras partidas [7].

##### 4.2.1. Deteção de Avarias

A deteção destas avarias implica que o motor esteja a funcionar em carga (em vazio, as correntes rotóricas são praticamente nulas).

A análise espectral da corrente absorvida pelo motor tem-se revelado como uma ferramenta eficaz de deteção deste tipo de avarias, contrariamente ao que sucede no caso das falhas estatóricas.

A quebra de uma barra rotórica implica uma alteração na distribuição das correntes nas restantes barras – aumenta a corrente nas barras adjacentes [7].

Surgem interações entre campos e correntes rotóricas que originam componentes alternadas no binário desenvolvido, provocando oscilações na velocidade (dependentes da inércia da carga acionada). Em consequência, surgem componentes das correntes no estator, cujas frequências ( $f_b$ ) se situam em torno da frequência fundamental [16]:

$$f_b = f_s(1 \pm k2s), \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Normalmente, atendendo à atenuação provocada pela inércia da carga sobre estes fenómenos, as frequências laterais ( $\pm 2sf_s$ ) são as mais significativas. Por outro lado, a relação entre as amplitudes destas componentes e a amplitude da componente fundamental da corrente, reflete a gravidade da falha ocorrida [5], [17].

## 5. Técnicas de Deteção e Diagnóstico de Avarias

### 5.1. Técnicas de Processamento de Sinal

Atualmente, as técnicas de manutenção condicionada, com

vista ao diagnóstico de avarias em máquinas elétricas, assentam na combinação de sistemas de aquisição de dados a diversos algoritmos de processamento digital de sinal. A análise no domínio das frequências está muito disseminada, em particular, através da Transformada Rápida de Fourier – Fast Fourier Transform (FFT) – e respetivas variantes. É no entanto de referir que a eficácia da FFT está associada a sinais estacionários (regimes permanentes de funcionamento), exigindo um número elevado de amostras do sinal a analisar, o que implica amostrar um amplo intervalo de tempo. Um outro aspeto fundamental são as dificuldades trazidas pela presença de ruído nos sinais amostrados, incontornável em ambientes industriais.

Assim, para regimes dinâmicos de funcionamento e/ou para eliminar a influência do ruído, outros algoritmos de processamento de sinal mais elaborados têm vindo a ser considerados. Não se pretende tratar aqui este assunto de forma exaustiva. Com vista a aprofundar este tema, sugerem-se as referências [18] e [19].

## 5.2. Transformada de Park

O vetor de Park da corrente elétrica de alimentação do motor constitui também uma ferramenta de diagnóstico de avarias em máquinas elétricas de corrente alternada convencionais [14].

Esta transformada permite representar uma máquina polifásica convencional (iguais parâmetros nas diferentes fases, simetria de eixos magnéticos, distribuições de campos magnéticos no espaço do entreferro do tipo sinusoidal), através de um sistema bifásico equivalente, representado por um sistema de eixos ortogonais (ângulos elétricos), d-q, animado com velocidade genérica  $\omega$ . É também possível considerar a existência de assimetrias no sistema com componentes homopolares da corrente não nulas, através da inclusão de um terceiro eixo, perpendicular ao plano d-q. Para uma máquina trifásica, no referencial estatórico ( $\omega=0$ ), a relação invariante entre as correntes definidas do domínio d-q-0 e as correntes nas fases (a,b,c) é dada por:

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

Sendo vulgar a ausência do condutor neutro nos motores de indução, a componente homopolar ( $i_0$ ) é nula, o que implica, em qualquer instante:

$$i_a + i_b + i_c = 0 \quad (3)$$

Assim, as componentes do vetor de Park da corrente ( $i_d$  e  $i_q$ ) são obtidas do seguinte modo:

$$i_d = \frac{\sqrt{6}}{2} i_a \quad (4)$$

$$i_q = \frac{1}{\sqrt{2}} (i_b - i_c) \quad (5)$$

A representação das componentes do vetor de Park da corrente elétrica ( $i_d$  e  $i_q$ ) no referencial mencionado, tem sido aplicada na deteção de curto-circuitos entre espiras dos enrolamentos estatóricos.

Em condições de simetria das correntes em cada fase, a representação no plano [ $i_d, i_q$ ] corresponde a uma circunferência. Havendo curto-circuitos entre espiras, surgem elipses cujas orientações podem ajudar a identificar a fase do motor onde ocorreu a avaria. Esta representação apresenta algumas limitações quando aplicado à deteção de outras avarias. Por exemplo, no caso da quebra de barras rotóricas, surgem componentes com frequências  $f_s(1 \pm 2s)$  em  $i_d$  e  $i_q$  que não são representadas no plano definido por estas correntes. Deste modo, foi proposta em [20] uma nova metodologia de diagnóstico, baseada na análise espectral do módulo do vetor de Park, designada por EPVA (*Extended Park Vector Approach*).

Atendendo a (3), (4) e (5), o módulo do vetor (P) é dado por:

$$P = (i_d^2 + i_q^2)^{\frac{1}{2}} = [i_a^2 + i_b^2 + (i_a + i_b)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Com efeito, havendo quebra de barras no rotor, o espectro de  $P$  contém uma componente contínua – resultante da componente associada à frequência de alimentação das correntes nas fases estatóricas do motor –, bem como duas componentes associadas às frequências  $2s$  e  $4s$ . Assim, torna-se mais evidente a deteção deste tipo de avarias. Mais, sendo estas frequências reduzidas, é também mais simples a eliminação do ruído que os sinais amostrados possam conter.

O EPVA foi também aplicado no diagnóstico de outras assimetrias (e.g., desequilíbrios no sistema de tensões de alimentação e a ocorrência de excentricidade estática e/ou desalinhamentos entre o motor e a carga mecânica a ele acoplada) [21].

De referir ainda a aplicação deste método na deteção de curto-circuitos entre espiras nos enrolamentos estatóricos de motores síncronos e assíncronos [22]. Se o motor for alimentado por um sistema de tensões equilibrado, não havendo qualquer avaria, o conteúdo espectral do módulo do vetor de Park não contém nenhuma componente. No caso de ocorrência de curto-circuitos entre espiras, surge uma componente espectral com o dobro da frequência de alimentação do motor (se não houver outras avarias). No entanto, desequilíbrios no sistema de tensões de alimentação, bem como assimetrias construtivas no motor, podem igualmente originar o aparecimento dessa componente espectral, pelo que não é possível concluir se existe realmente uma avaria deste tipo.

## 6. Simulações de Avarias

Nesta secção são apresentados alguns resultados de simulações de avarias.

Na Figura 3 está representado o modelo de simulação utilizado (MATLAB/SIMULINK): o bloco *Motor\_Indução* consiste no modelo dinâmico do MI3 (espaço de estados), definido no sistema de eixos d-q. A opção por um motor de rotor bobinado permitiu simular avarias no rotor.

Dado que a análise efetuada incide sobre grandezas do estator, o modelo está definido no referencial estático, estando as fases estatóricas ligadas em estrela.

Começa-se por salientar as principais restrições e limitações do modelo:

- As perdas no ferro não são incluídas;
- As indutâncias parciais de fugas (estator e rotor) são assumidas como constantes, pelo que a influência da saturação nos trajectos dos fluxos magnéticos de fugas é desprezada;
- A influência da saturação no trajecto do fluxo útil principal é considerada somente em termos estáticos, i.e., a inclusão da característica em vazio do motor permite ajustar no modelo os valores da indutância de magnetização da máquina, em função do valor eficaz da corrente de magnetização: o ciclo histerético do circuito ferromagnético não é considerado;
- Trata-se de um modelo de parâmetros concentrados, assente no pressuposto da existência de simetria na disposição dos enrolamentos e homogeneidade das propriedades do circuito magnético da máquina, bem como na igualdade dos parâmetros eléctricos em cada fase. Na ocorrência de avarias, estas características deixam de ser válidas, pelo que a inclusão no modelo de tais alterações apresenta diversas dificuldades e limitações. Não obstante, pretendeu-se evidenciar as potencialidades de algumas das técnicas de diagnóstico, em certos tipos de avarias e circunstâncias concretas: os resultados obtidos enquadram-se no que foi exposto nas secções anteriores, sublinhando também a necessidade de utilização de modelos mais elaborados, que possam incluir com maior profundidade os impactos das avarias sobre a máquina.

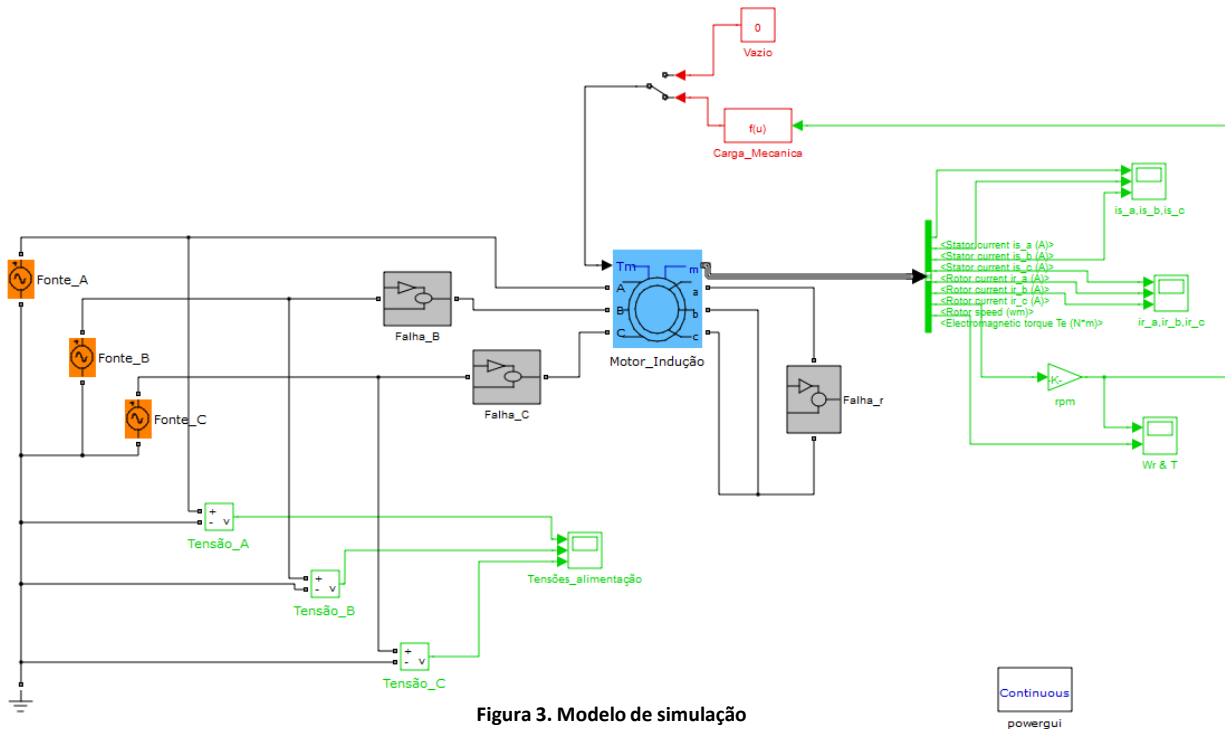


Figura 3. Modelo de simulação

Características do motor considerado:

$P_n=3$  kW;  $U=400$  V;  $f=50$  Hz;  $n=1450$  rpm, 2 pares de pólos

Os respetivos parâmetros estão incluídos na tabela seguinte:

Tabela 2 . Parâmetros do motor (referidos ao estator)

$[R_s; R_r]$ ( $\Omega$ )	[1,115; 1,083]
$[l_s; l_r]$ (H)	[5,974; 5,974]* $10^{-3}$
$L_m$ (H)	(substituída pela caract. vazio)
$J$ ( $kg \cdot m^2$ )	0,096

$R_s$ ;  $R_r$  – resistências óhmica por fase, respetivamente, do estator e do rotor;

$l_s$ ;  $l_r$  – indutâncias parciais de fugas por fase, respetivamente, do estator e do rotor;

$L_m$  – indutância de magnetização.

No cenário inicial, o motor é alimentado à tensão e frequência nominais, acionando uma carga do tipo parabólica ( $T_c$ ), definida como:

$$T_c = 4,87 \times 10^{-6}n^2 + 8 \quad [Nm; rpm] ; J_c = 1 \text{ kg} \cdot m^2 \quad (7)$$

As avarias consideradas foram as seguintes:

- Curto-circuitos entre espiras de uma fase estatórica;
- Quebra de barras rotóricas.

Posteriormente, analisou-se a eficácia do diagnóstico das avarias no rotor para os seguintes casos:

- Influência do momento de inércia do sistema mecânico;
- Motor em vazio.

O diagnóstico implementado baseia-se na FFT das correntes absorvidas e na aplicação da transformada de Park – componentes ( $i_q$ ,  $i_d$ ) e EPVA. Como tal, somente os regimes permanentes de funcionamento serão alvo de análise, não sendo considerados para este efeito os períodos de arranque. Finalmente, importa referir que os dados apresentados foram obtidos com uma frequência de amostragem de 10 kHz.

## 6.1. Funcionamento Normal

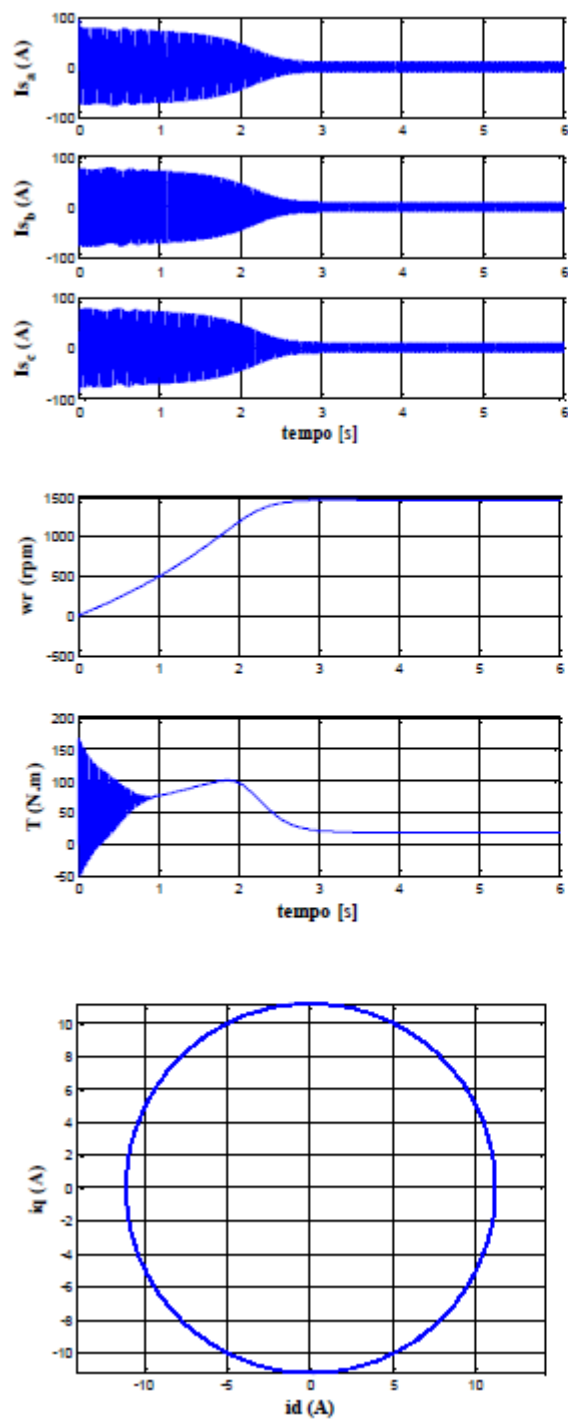


Figura 4. [correntes\_estator]; [binário & velocidade]; [componentes\_Park]

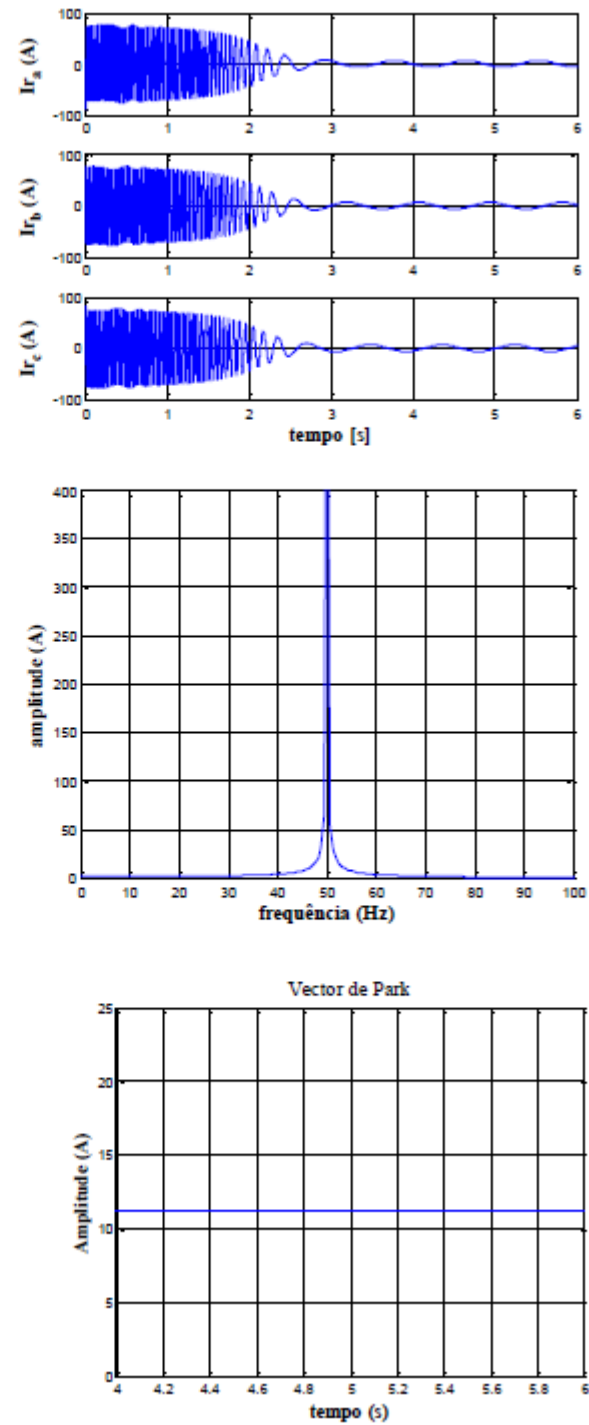


Figura 5. [correntes\_rotor]; [FFT( $I_{s_a}$ ),N=16384]; [amplitude\_Park]

O regime permanente corresponde a  $T=18$  N.m;  $\omega_r=1450$  rpm. Como espectável, sendo uma sinusóide pura, a FFT da corrente absorvida apenas contém a frequência de alimentação. O módulo do vetor de Park é constante, pelo que a característica no plano  $[i_q, i_d]$  é uma circunferência, cujo raio é igual ao módulo referido.

### 6.2. Curto-Circuito numa Fase do Estator

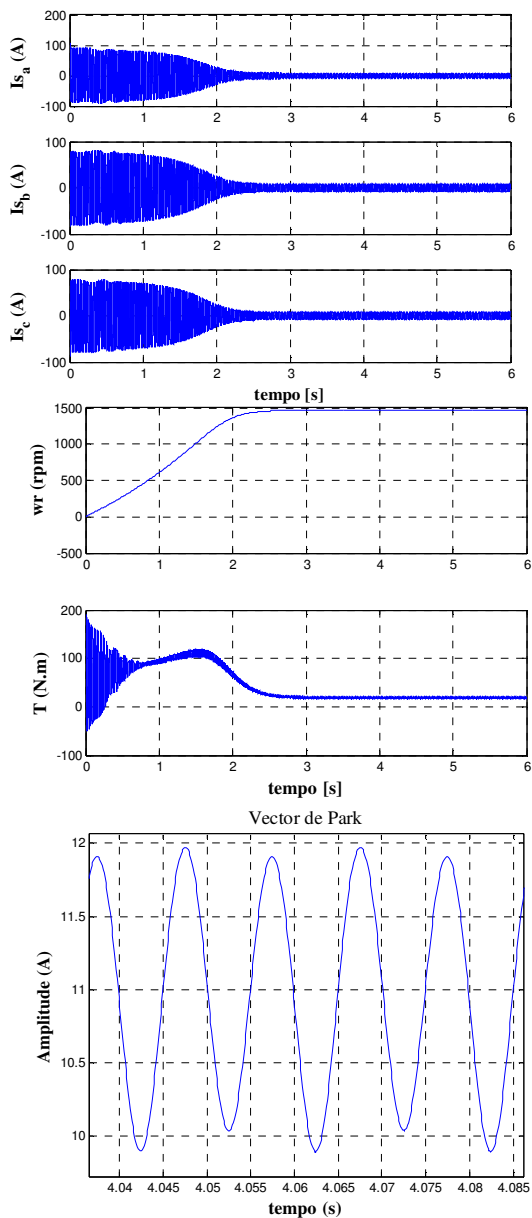


Figura 6. [correntes\_estator];[binário & velocidade]; [amplitude\_Park]

A transformada de Park permite representar simbolicamente os campos girantes desenvolvidos na máquina, no plano anterior. Neste caso, é nítida a presença de um campo girante perfeito: a sua amplitude máxima é constante e proporcional ao módulo de Park; os raios da circunferência representam as posições instantâneas do eixo magnético do campo girante no sistema de coordenadas  $[i_q, i_d]$ .

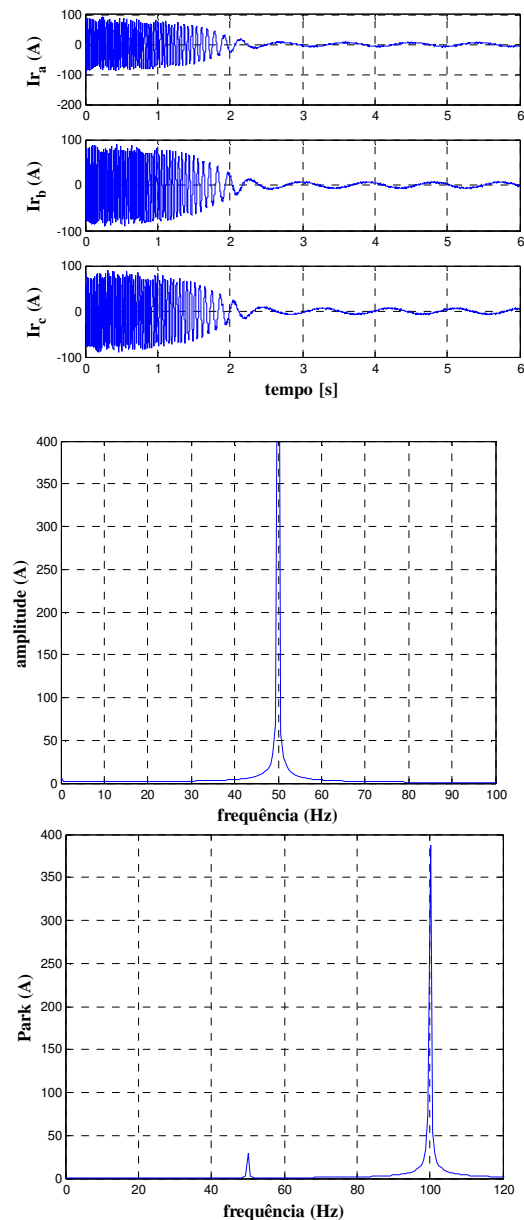


Figura 7. [correntes\_rotor];[FFT( $I_{s_a}$ ),N=16384]; [FFT(comp\_altern\_Park),N=16384]

A implementação deste tipo de falhas foi feita através dos blocos “Falha\_” – Figura 6. Estes consistem na série de uma resistência óhmica com uma indutância. Deste modo, os parâmetros  $R_s$  e  $l_s$  foram previamente alterados, simulando um curto-circuito entre espiras de uma fase; A inclusão dos blocos anteriores nas outras fases permite assumir, do lado das fontes de alimentação, a constância daqueles parâmetros. Os resultados apresentados a seguir, assumem uma diminuição em 30% do número de espiras do enrolamento. O valor de  $l_s$  foi alterado com base apenas na diminuição do número de espiras, não considerando possíveis alterações ao nível da saturação do trajeto do fluxo de fugas do estator. Deste modo, os novos valores assumidos para aqueles parâmetros foram os seguintes:

$$R_s = 0,7 \times 1,115 = 0,7805 \Omega \quad (8)$$

$$l_s = N_e^2 \left( \frac{l_{fe}}{\mu_{fe} A} + \frac{l_0}{\mu_0 A} \right)^{-1} = 0,7^2 \times 5,974 \times 10^{-3} = 2,93 \times 10^{-3} H \quad (9)$$

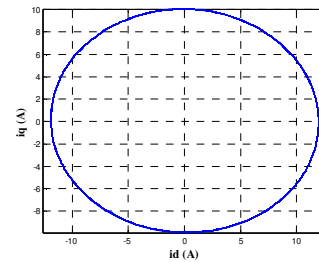
$N_e$  – número efetivo de espiras do enrolamento de uma fase do estator;

$\mu_{fe}$   $\mu_{r0}$  – permeabilidades magnéticas associadas ao trajeto do fluxo de fugas de uma fase do estator (respetivamente, trajetos no material ferromagnético (fe) e no ar (0));

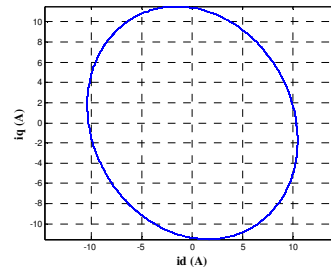
$A$  – secção reta associada ao trajeto do fluxo de fugas de uma fase do estator;

$l_{fe}$ ,  $l_0$  – Comprimentos associados ao trajeto do fluxo de fugas de uma fase do estator, respetivamente, no material ferromagnético (fe) e no ar (0)).

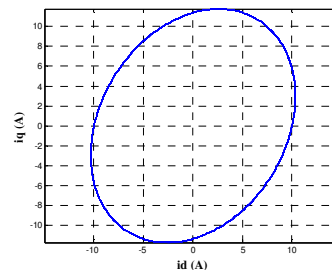
Sendo a componente alternada do vetor de Park (100 Hz) francamente menor do que nos casos anteriores, também o são as oscilações nas correntes rotóricas e no binário desenvolvido. A sua FFT apresenta uma componente associada à frequência de alimentação, visível na modulação da sua amplitude máxima. Este facto poderá estar associado à influência da redução considerada do número de espiras sobre o valor de  $l_s$ , de acordo com (8). No entanto, é prematura uma conclusão definitiva sem confirmação experimental.



(a)



(b)



(c)

Figura 8. a) c.c. (fase\_a); b) c.c. (fase\_b); c) c.c. (fase\_c)

### 6.3. Quebra de Barras Rotóricas

A opção pelo modelo de um motor de rotor bobinado, permite efetuar algumas alterações nos parâmetros rotóricos. No entanto, a simulação de barras partidas é feita com várias limitações. Por um lado, não será possível quantificar o número de barras afetadas; por outro lado, é inviável associar uma determinada barra com uma fase equivalente rotórica. Inevitavelmente, tal foi feito no modelo em questão: incluiu-se um bloco “Falha\_” ( $R=4\Omega$ ) em série com a fase rotórica onde se pretendeu simular a avaria (fase\_a). Atendendo à maior dificuldade em estimar o impacto que uma avaria deste tipo terá no valor de  $I_r$ , e tendo presente que a análise efetuada corresponde a um regime de funcionamento com baixo deslizamento



( $R_r/s$  assume uma maior relevância), apenas se efetuaram alterações no valor destes parâmetros.

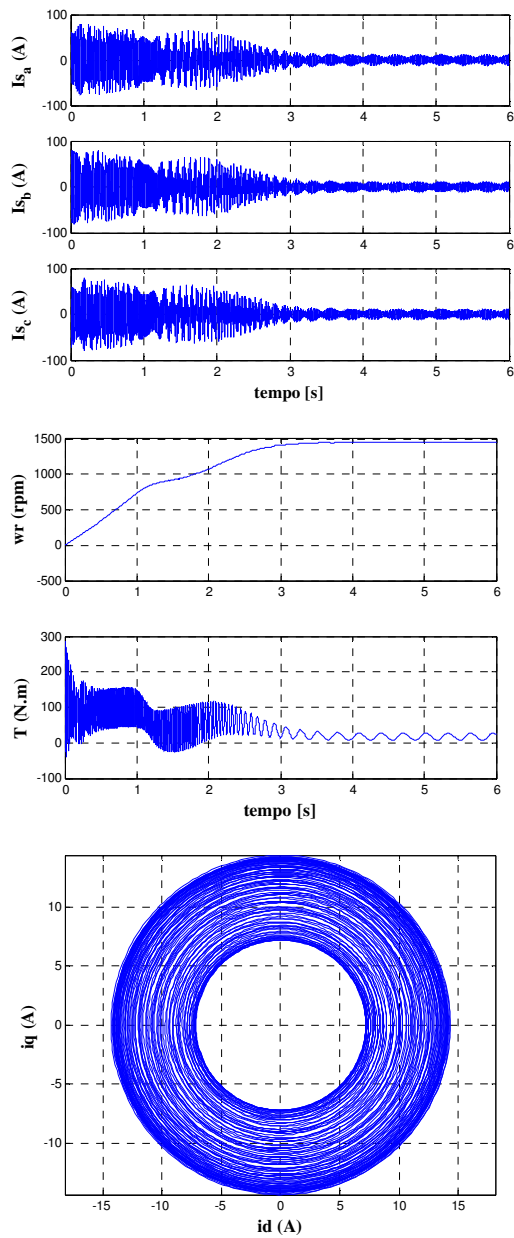


Figura 9. [correntes\_estator];[binário & velocidade];  
componentes\_Park]

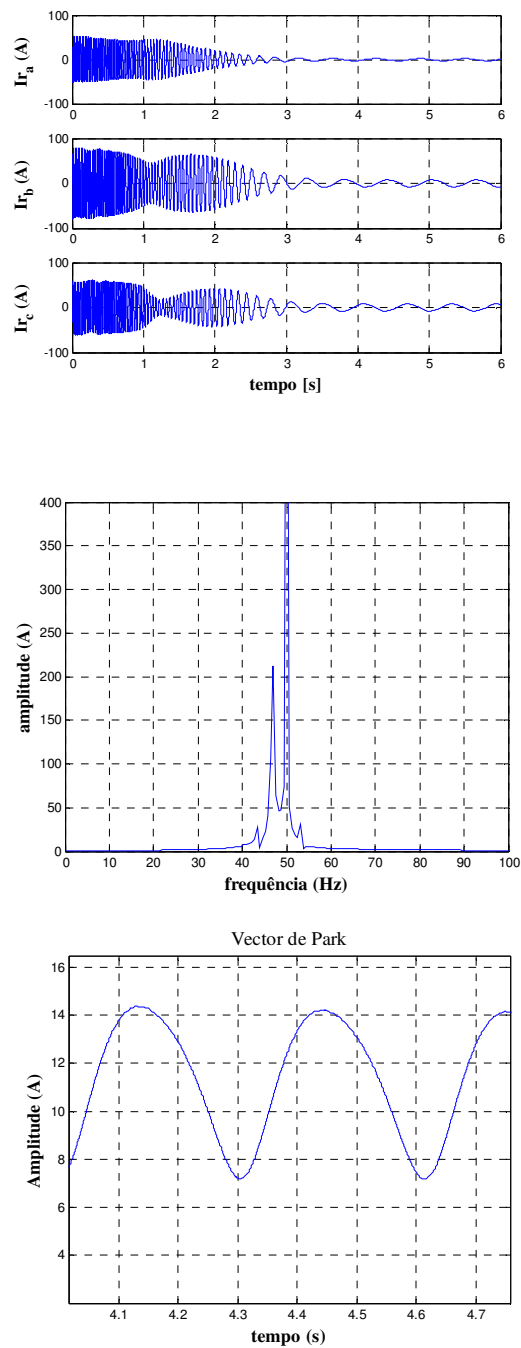


Figura 10. [correntes\_rotor];[FFT( $I_{a\_estator}$ ), $N=16384$ ];  
[amplitude\_Park]

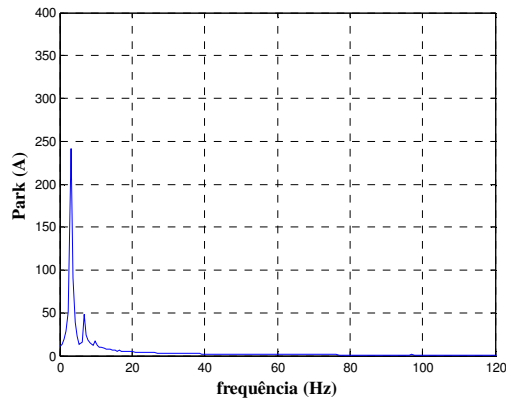


Figura 11. FFT(comp\_altern\_Park), N=16384

É bem visível o impacto da modulação da amplitude máxima da corrente do estator na sua FFT. O deslizamento associado ao regime de carga imposto ao motor é igual a 3,33 %, verificando-se que as componentes principais estão associadas a  $f_s$  ( $1 \pm 2$ ), principalmente a que é inferior à frequência de alimentação – é bem patente o efeito da inércia do sistema, tal como referido em 4.2.1. As características no plano  $[i_q, i_d]$  evidenciam a ocorrência e intensidade da avaria: a frequência de modulação da amplitude máxima ( $\approx 3$  Hz), provoca alterações periódicas na amplitude máxima do campo girante estatórico (de notar que o campo girante é praticamente perfeito, uma vez que:  $50 \text{ Hz} \gg 3 \text{ Hz}$ ). É nítida a correlação entre o valor desta última frequência e as bandas laterais do espectro da corrente estatórica.

A diferença entre os valores máximo e mínimo do raio das circunferências traduz a intensidade da avaria.

A análise da FFT da componente alternada do módulo do vector de Park é complementar às anteriores, verificando-se que as componentes principais são dadas por  $[2sf]_s$  e  $[4sf]_s$  (aprox.), o que confirma o exposto na secção 5.2. A frequência de modulação da amplitude máxima da corrente absorvida reflete-se na principal componente do módulo de Park, bem como na componente oscilatória do binário desenvolvido.

### 6.3.1. Influência do Momento de Inércia

Com vista à análise do efeito da inércia do sistema, apresentam-se os resultados seguintes. Para o cenário inicial de avaria na fase\_a do rotor, fixou-se o momento de inércia em  $0,1 \text{ Kg.m}^2$ .

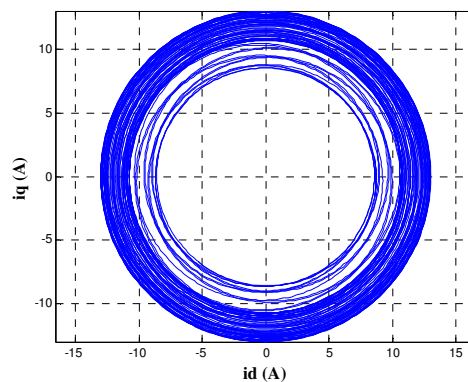
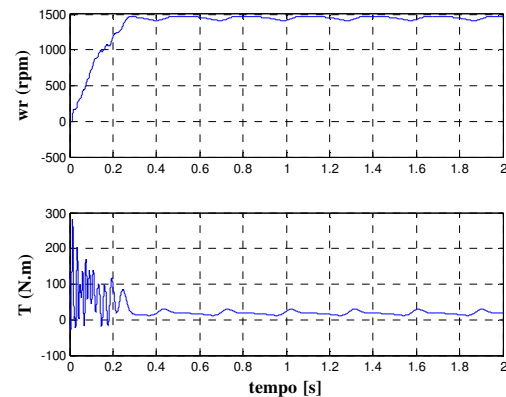
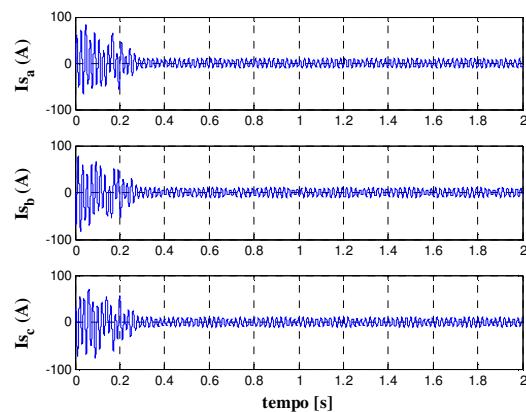


Figura 12. [correntes\_estator];[binário & velocidade];  
[componentes\_Park]

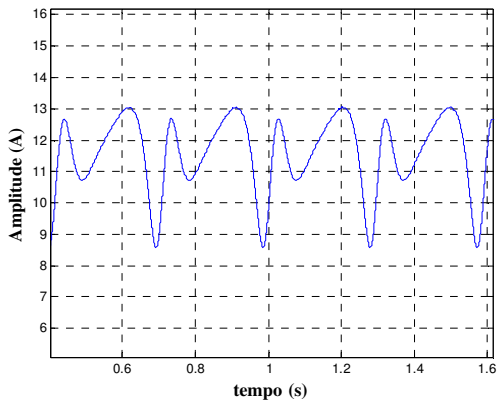
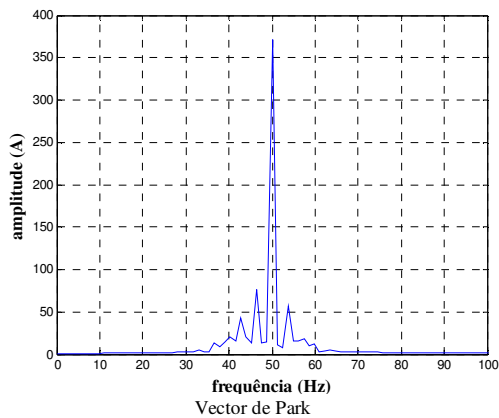
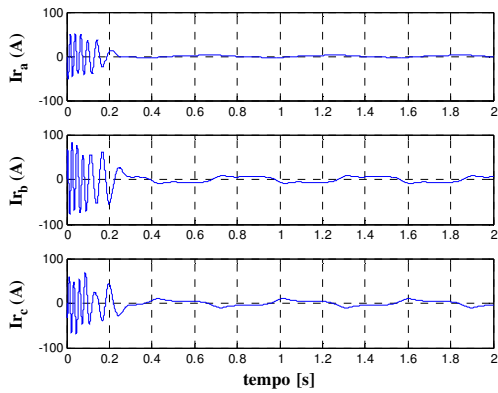


Figura 13. [correntes\_rotor];[FFT(I<sub>a\_estator</sub>),N=1638]  
[amplitude\_Park]

São claramente visíveis as oscilações rotóricas, que se refletem em FFT's com conteúdos mais ricos. Com efeito, as principais componentes do espectro da corrente absorvida são dadas aproximadamente por (ver 4.2.1):

$$f_s(1 \pm k2s), \quad k = 1 \quad \rightarrow \quad [46,7; 53,3] \text{ Hz} \quad (10)$$

$$f_s(1 - k2s), \quad k = 2 \quad \rightarrow \quad [43,3; 56,7] \text{ Hz} \quad (11)$$

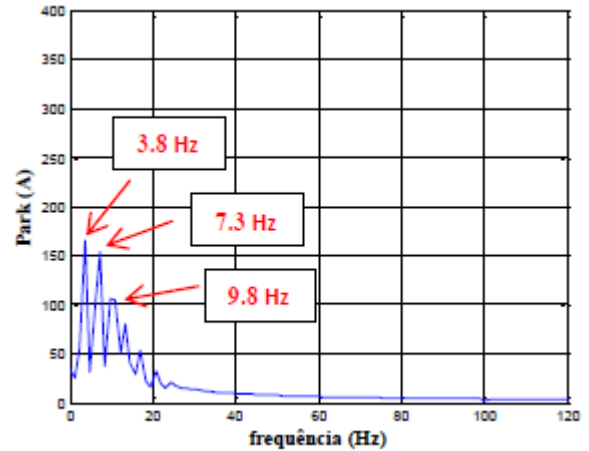


Figura 14. FFT(comp\_altern\_Park), N=16384

Também na FFT da componente alternada de Park se verifica que as principais componentes são as seguintes (aprox.):

$$2sf_s = 3,33 \text{ Hz} \quad (12)$$

$$4sf_s = 6,7 \text{ Hz} \quad (13)$$

$$6sf_s = 10 \text{ Hz} \quad (14)$$

### 6.3.2. Funcionamento em Vazio

De modo a analisar a influência do regime de carga imposto ao motor, considerou-se a mesma avaria anterior, estando agora o motor em vazio. Naturalmente, tem-se agora  $J=0,096 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2$ . Os resultados obtidos são os seguintes:

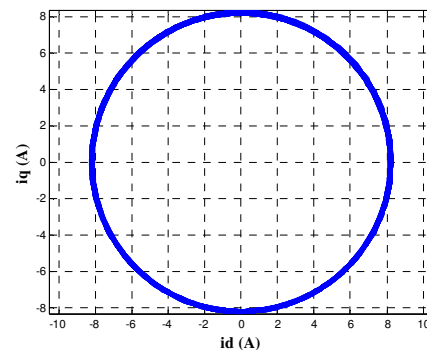


Figura 15. [componentes\_Park] & [FFT(I<sub>a\_estator</sub>),N=8192]  
[amplitude\_Park]

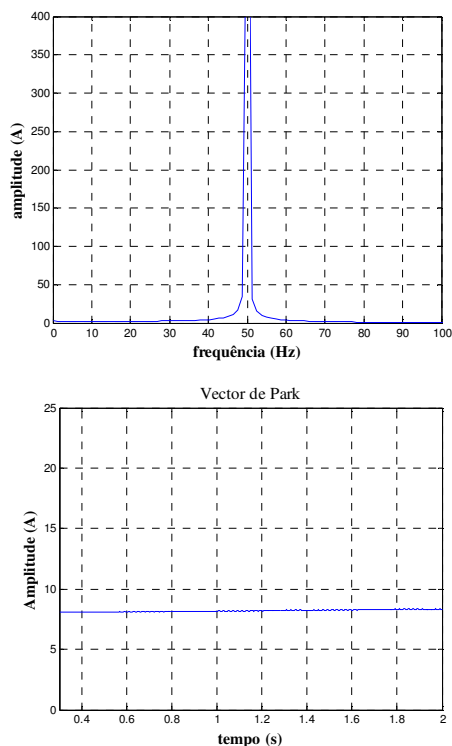


Figura 15. [componentes\_Park] & [FFT( $i_a$ \_estator),N=8192] (9)  
[amplitude\_Park]

Não há alterações significativas relativamente ao funcionamento sem avarias, o que está de acordo com o exposto em 4.2.1. Não sendo conclusivo o diagnóstico, são realçadas as limitações destas técnicas na deteção de avarias, quando o motor funciona com baixas frações de carga. O desenvolvimento de técnicas cuja eficácia não dependa da fração de carga revela-se de grande importância.

Não obstante as limitações do modelo considerado, a aplicação da FFT e da Transformada de Park das correntes permitiu diagnosticar as avarias simuladas, realçando em simultâneo algumas das limitações destas técnicas.

## 7. Conclusões

A monitorização não intrusiva do estado dos equipamentos, permitindo a deteção precoce de avarias, sem perturbação dos processos, constitui a base dos atuais planos de manutenção dos sistemas eletromecânicos (conversor de potência + motor + transmissão + carga).

A análise através da FFT da corrente absorvida pelo motor

continua a ser o método mais disseminado na indústria. No entanto, apresenta várias limitações em certos tipos de avarias, pelo que a complementariedade com outras grandezas monitorizadas revela-se fundamental, no sentido de obter sistemas de diagnóstico mais eficazes. Por outro lado, a restrição a sinais estacionários, a necessidade de um número elevado de amostras, bem como a procura de técnicas com maior imunidade ao ruído, tem levado à aplicação de técnicas de processamento de sinal mais elaboradas. No entanto, a maior complexidade em implementá-las e interpretação de resultados, tem colocado alguns entraves à sua aplicação na indústria.

A disseminação dos conversores de potência na grande maioria dos sistemas eletromecânicos industriais, ou mesmo outras aplicações dinamicamente exigentes, como os veículos elétricos, tornam urgente o desenvolvimento de sistemas de diagnóstico de avarias que contemplem estas condições. A capacidade de processamento dos controladores já instalados, fornece uma plataforma para a integração de sistemas de diagnóstico de avarias; o tipo de controlo do motor terá uma influência relevante naqueles sistemas. A evolução dos sistemas de diagnóstico de avarias deverá assentar nos seguintes tópicos [18]:

- 1) Desenvolvimento de modelos mais detalhados do motor, que permitam a inclusão e diagnóstico de avarias;
- 2) Sensores e técnicas de monitorização vocacionados para a deteção de avarias;
- 3) Técnicas de diagnóstico com maior sensibilidade à ocorrência de falhas, simultaneamente mais robustas à influência da carga e inércia;
- 4) Maior integração dos procedimentos convencionais de diagnóstico e as técnicas de inteligência artificial.

O aumento da fiabilidade é um objetivo sempre presente. Os sistemas de deteção de avarias serão fundamentais na obtenção de sistemas eletromecânicos com maior tolerância a falhas. Em complemento, o dimensionamento de motores com múltiplas fases (e respetivos conversores) será também um importante contributo na aproximação daquele objetivo.

## Referências

- [1] “Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa: Um Enquadramento Tecnológico Sucinto”, ADENE – Agência para a Energia, 2010.
- [2] Kalpesh J. Chudasama, Vipul Shah, “Induction Motor Noninvasive Fault Diagnostic techniques: A Review”, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol.1, Issue 5, July 2012.
- [3] R. Fišer et al., “Diagnostic System for On-line Detection of Rotor Faults in Induction Motor Drives”, *IEEE International Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics & Drives (SDEMPED)*, 2011.
- [4] Erik L. Bonaldi, Levy E. L. de Oliveira, Jonas G. B. da Silva, Germano L.-Torresm, Luiz E. B. da Silva, “Predictive Maintenance by Electrical Signature Analysis to Induction Motors”, *Induction Motors - Modelling and Control*, Prof. Rui Esteves Araújo (Ed.), ISBN: 978-953-51-0843-6, InTech, 2012.
- [5] M. El Hachemi Benbouzid, “A Review of Induction Motors Signature Analysis as a Medium for Faults Detection”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 47, no. 5, pp. 984–993, Oct. 2000.
- [6] Abdesselam Lebaroud, Amar Bentounsi, “Detection Improvement of the Broken Rotor Bars of IM After Supply Disconnection”, *Journal of Electrical Engineering*, Vol. 56, No. 11-12, pp. 322–326, 2005.
- [7] H. A. Toliyat, S. Nandi, S. Choi, and H. Meshgin-Kelk, “Electric Machines – Modeling, Condition Monitoring and Fault Diagnosis”. CRC Press, ISBN 13: 978-1-4200-0628-5 (eBook - PDF), 2013.
- [8] “Troubleshooting of Electric Motors - Technical Report”, *Electric Power Research Institute*, 2000.
- [9] A. H. Bonnett and C. Yung, “Increased efficiency versus increased reliability”, *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 14, no. 1, pp. 29–36, 2008.
- [10] S. Lee and G.B. Kliman, “An online technique for monitoring the insulation condition of ac machine stator windings”, *IEEE Transactions on Energy Conversions*, vol. 20, no. 4, pp. 737–745, 2005.
- [11] E.L. Brancato, “Insulation aging”, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. EI-13, no. 4, 1978.
- [12] G. Stone and J. Kapler, “Stator winding monitoring”, *IEEE Industry Applications Magazine*, 1998.
- [13] S. Nandi, H. Toliyat, and X. Li, “Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Motors – a Review”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 20, no. 4, pp. 719–729, Dec. 2005.
- [14] Sérgio M. A. Cruz, “Diagnóstico e Análise de Avarias nos Enrolamentos Estatóricos de Motores de Indução Trifásicos Através da Aplicação do Método dos Referenciais Múltiplos”, *Dissertação de Doutoramento, Universidade de Coimbra, Portugal*, 2004.
- [15] Neelam Mehala, “Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Induction Motor Using Motor Current Signature Analysis”, *Dissertação de Doutoramento, National Institute of Technology Kurukshetra, India*, 2010.
- [16] F. Filippetti, G. Franceschini, C. Tassoni, and P. Vas, “AI techniques in induction machines diagnosis including the speed ripple effect”, in *Proc. IEEE Industry Applications Society Annual Meeting Conf.*, pp. 655–662, 1996.
- [17] Ian Culbert P., Wendell Rhodes, “Using Current Signature Analysis Technology to Reliably Detect Cage Winding Defects in Squirrel-Cage Induction Motors”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 43, no. 2, pp. 422–428, 2007.
- [18] A. Bellini, F. Filippetti, C. Tassoni, G.-A. Capolino, “Advances in Diagnostic Techniques for Induction Machines”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, nº 12, pp. 4109–4126, 2008.
- [19] Shahin H. Kia, Humberto H., Gérard-A. Capolino, “Some Digital Signal Processing Techniques for Induction Machines Diagnosis”, *IEEE International Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics & Drives (SDEMPED)*, 2011.
- [20] Cruz, S. M. A. and Cardoso, A. J. M., “Rotor cage fault diagnosis in three-phase induction motors, by Extended Park’s Vector Approach”, *Electric Machines and Power Systems*, vol. 28, nº 4, pp. 289-299, 2000.
- [21] Cruz, S. M. A. and Cardoso, A. J. M., “Diagnosis of the multiple induction motor faults using Extended Park’s Vector Approach”, *International Journal of Comadem*, vol. 4, nº 1, pp. 19-25, 2001.
- [22] Cruz, S. M. A., Cardoso, A. J. M., “Stator winding fault diagnosis in three-phase synchronous and asynchronous motors, by the Extended Park’s Vector Approach”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 37, nº 5, pp. 1227-1233, 2001.

## **CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM REABILITAÇÃO DE INFRAESTRUTURAS ELECTROTÉCNICAS E MECÂNICAS EM EDIFÍCIOS**

Em Portugal a reabilitação urbana tem-se assumido como uma área de intervenção prioritária para o setor da construção, apoiando a recuperação, modernização e valorização do património edifício e dos centros urbanos. Cruza elementos essenciais da engenharia civil e arquitetura, mas requer também a coordenação com outras áreas de especialização, designadamente da engenharia eletrotécnica e mecânica para reforçar o conforto, funcionalidades e sustentabilidade dos projetos e empreendimentos.

A pós-graduação em Reabilitação de Infraestruturas Eletrotécnicas e Mecânicas de Edifícios, do ISEP especializa profissionais para responder aos desafios de infraestruturas eletrotécnicas e mecânicas na área da revitalização urbana e reabilitação de edifícios, dotando os seus formandos de conhecimentos avançados ao nível das instalações e equipamentos elétricos, eficiência energética, domótica, segurança e telecomunicações e ventilação e sistemas de elevação.

Privilegiando a aproximação a situações reais de trabalho, o corpo docente da pós-graduação íntegra docentes do ISEP e especialistas do setor, assim como a colaboração de diversas empresas e entidades com intervenção no domínio da reabilitação urbana.

**Destinatários:** Diplomados em engenharia eletrotécnica e engenharia mecânica interessados em desenvolver ou atualizar conhecimentos avançados para a conceção e realização de projetos de reabilitação de infraestruturas em edifícios.

**Duração:** 218 horas / 14 semanas letivas

**Horário:** Pós-laboral: quinta e sexta-feira, 18:10-23:30, e sábados, 08:30-13:30.

**Candidaturas:** 1ª fase: 29 de junho – 17 de julho de 2015 / 2ª fase: 7-18 de setembro de 2015 (condicionada às vagas sobrantes)

**Início das atividades letivas:** 8 de outubro de 2015

**Mais informação:** <http://isep.ipp.pt/Course/Course/86>



## APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DA BACIA DO DOURO:

### UM OLHAR CRÍTICO

#### Resumo

No presente artigo, faz-se uma breve resenha histórica da evolução do aproveitamento dos recursos hídricos nacionais em termos hidroelétricos, bem como uma análise da situação atual. Dá-se particular destaque à vertente hidroelétrica, mas não se limita a ela. Mostra-se a insuficiência das obras hidráulicas até agora realizadas a nível das nossas principais bacias, em particular no caso da bacia portuguesa do Douro, e alerta-se para as nefastas consequências que poderiam advir caso a situação não se alterasse. O PNBEPH aprovado em 2007 veio contribuir para relançar esta importante temática, a qual pareceu inexplicavelmente esquecida durante quase duas décadas, por parte das entidades às quais competia zelar pelo interesse público e pela salvaguarda dos legítimos direitos e expectativas das populações nacionais.

#### 1. Portugal e as Bacias Hidrográficas na Península Ibérica

Com uma área total de cerca de 590 000 km<sup>2</sup>, dos quais 500 000 km<sup>2</sup> pertencem a Espanha, a Península Ibérica forma um vasto promontório de contorno poligonal situado no extremo SW do continente europeu, sendo uma região de planaltos, os mais elevados da Europa, de que resulta a sua elevada altitude média (660 m).

A pluviosidade em terras peninsulares revela uma distribuição muito desigual. A zona costeira do Cantábrico e do Atlântico até quase à foz do Tejo recebe chuvas abundantes (Ibéria Húmida), enquanto que o centro peninsular, o litoral atlântico ao sul do Tejo e todo o litoral mediterrâneo (quase dois terços da área total peninsular) recebem chuvas escassas (Ibéria Seca).

Portugal partilha com Espanha alguns dos mais importantes cursos de água da Península e correspondentes bacias, em especial as dos rios Douro, Tejo e Guadiana.

Embora de reduzida extensão em território nacional, a bacia do rio Minho é uma das de maior escoamento médio, quase comparável à do Tejo, em virtude das elevadas precipitações médias registadas no noroeste peninsular.

As duas bacias hidrográficas mais importantes da Península Ibérica em termos de potencial hídrico (escoamento médio anual) são as do rio Douro e do rio Ebro, esta última integralmente localizada em território espanhol. Seguem-se-lhes em volume médio anual gerado as do rio Tejo, rio Minho, rio Guadiana e rio Guadalquivir. A variabilidade dos regimes pluviométricos na Península Ibérica e a ausência de grandes massas de gelo nas cadeias montanhosas, capazes de introduzir um efeito regularizador dos caudais durante o verão, determinam uma grande irregularidade dos caudais de todos os seus grandes rios, o que apenas pode ser atenuado pela realização de importantes obras hidráulicas, capazes de proporcionar os meios de gestão adequada dos caudais do regime natural.

A partilha das bacias comuns aos dois países foi alvo de sucessivos convénios luso-espanhóis, celebrados pelos governos dos dois países, após laboriosas, longas e nem sempre pacíficas negociações. A particularidade de Portugal possuir as partes de jusante das bacias é um fator importante a ter em conta e que nos poderia à priori favorecer. Todavia o notável conjunto de obras hidráulicas realizadas pelos nossos vizinhos na parte de montante das bacias partilhadas, possibilitando-lhes capacidades de armazenamento que, em alguns casos, são superiores aos valores de escoamento anual médio das respectivas bacias, tem criado dificuldades negociais acrescidas aos negociadores portugueses que são confrontados com situações quase inultrapassáveis. A última convenção luso-espanhola celebrada no final dos anos noventa é bem a imagem da situação desigual em termos de base de negociação criada, levando a aceitar como bom, aquilo que, na verdade, é insuficiente.

## 2. Potencial hidroelétrico português e seu aproveitamento

Embora seja difícil de quantificar com a precisão desejável, e sejam dependentes de um complexo conjunto de parâmetros, alguns dificilmente quantificáveis, os vários estudos realizados por diversas entidades apontam para valores da ordem dos 32 TWh para o potencial energético bruto total dos nossos cursos de água, dos quais cerca de 25 TWh e 21 TWh são considerados como técnica e economicamente aproveitáveis, respetivamente.

O início do aproveitamento e utilização deste potencial energético iniciou-se em Portugal em finais do século XIX, mais propriamente na última década desse século e o início do século XX assistiu ao progressivo aparecimento de largas dezenas de realizações de aproveitamentos hidroelétricos, a maioria de potência muito reduzida, inferior a 100 kW.

Merece especial referência a Lei n.º 2002, publicada em 26 de Dezembro de 1944, da autoria do grande paladino da eletrificação do País que foi o Engenheiro Ferreira Dias (1900-1966). É este diploma que vem estabelecer de forma coerente e sistematizada as bases da produção, transporte e distribuição da energia elétrica no nosso país [10].

Em Outubro de 1945 são constituídas as empresas Hidro-Elétrica do Cávado (HICA) e Hidro-Elétrica do Zêzere (HEZ), dando-se início à construção dos dois primeiros grandes

aproveitamentos hidroelétricos portugueses: Castelo de Bode (Figura 1) no Zêzere e Venda Nova no Rabagão (Central de Vila Nova), os quais viriam a ser inaugurados já no início da década de 50, mais precisamente em 1951. Em 1947 surge a Companhia Nacional de Eletricidade (CNE), à qual é outorgada a concessão da rede de transporte, com a missão de interligar os sistemas produtores do Cávado e Zêzere entre si e com os sistemas existentes, além de garantir o abastecimento aos grandes centros de consumo.

Na década de 50 são criadas a Hidro-Elétrica do Douro (HED) e a Empresa Termoelétrica Portuguesa (ETP) e têm lugar os desenvolvimentos dos sucessivos aproveitamentos

realizados nas bacias do Cávado e Zêzere, bem como o início do aproveitamento do Douro Internacional, assistindo-se então a uma autêntica “década de ouro” no campo da hidroeletricidade.

Os anos sessenta correspondem a uma nova fase do desenvolvimento do sistema electroprodutor uma vez que o crescimento dos consumos justifica a introdução de grupos térmicos de grande dimensão por razões de garantia da sua satisfação a nível global. Surgem assim as centrais termoelétricas da Tapada do Outeiro e do Carregado e assiste-se a uma desaceleração na evolução do subsistema hidráulico, o qual regista uma retoma na segunda metade da década com o lançamento dos primeiros escalões do Douro Nacional (Carrapatelo, Régua e Valeira).



Figura 1. Aproveitamento hidroelétrico de Castelo de Bode no rio Zêzere (1951)



De assinalar ainda nesta década a criação, em Dezembro de 1969, da Companhia Portuguesa de Eletricidade (CPE) resultante da fusão das grandes empresas do sector da produção e transporte de energia elétrica: HICA, HEZ, HED, ETP e CNE.

As décadas de setenta e oitenta são em geral caracterizadas por elevadas taxas de crescimento dos consumos de eletricidade, consequência do desenvolvimento económico do país e de outros fatores, designadamente a eletrificação em superfície levada a cabo. Este crescimento de consumos é satisfeito pela continuação da introdução de grupos térmicos de cada vez maior dimensão e pelo prosseguimento do programa hidroelétrico. Entretanto, em Junho de 1976, na sequência do Decreto-Lei n.º 502, é criada a Eletricidade de Portugal - Empresa Pública (EDP), a qual tem por objetivo principal o estabelecimento e a exploração do serviço público de produção, transporte e distribuição de energia elétrica no território do continente. A EDP é o resultado da fusão da CPE, entretanto nacionalizada (1975), com mais onze empresas do sector elétrico ligadas à pequena produção e à distribuição de energia elétrica.

Chegados ao final da primeira década do século XXI, a situação do aproveitamento dos nossos recursos hidroelétricos podia caracterizar-se sucintamente do seguinte modo:

- já aproveitados e em construção temos cerca de 11,6 TWh (não considerando o PNBEPH)
- identificados como candidatos a integração no sistema electroprodutor estão cerca de 6,6 GWh (aproveitamentos de grande e média dimensão)
- restam cerca de 2 TWh realizáveis em aproveitamentos de pequena dimensão (mini-hídricos)

Em termos de potência instalada, a componente hidroelétrica corresponde a cerca de 45% da potência total, representando, em ano médio, cerca de 30% da emissão total de energia.

A relevância destes valores, mas sobretudo a importância decisiva dos aproveitamentos hidroelétricos em termos da gestão do sistema electroprodutor pela sua excelente flexibilidade na adaptação ao regime do diagrama de cargas, aliados, em certos casos, à sua missão como aproveitamentos de fins múltiplos, aconselham claramente uma intensificação do programa de realizações hidroelétricas, uma vez que ainda falta aproveitar mais de 50% do potencial nacional. Aliás, no panorama europeu, a nossa posição é muito pouco lisonjeira, como se pode verificar na figura 2.

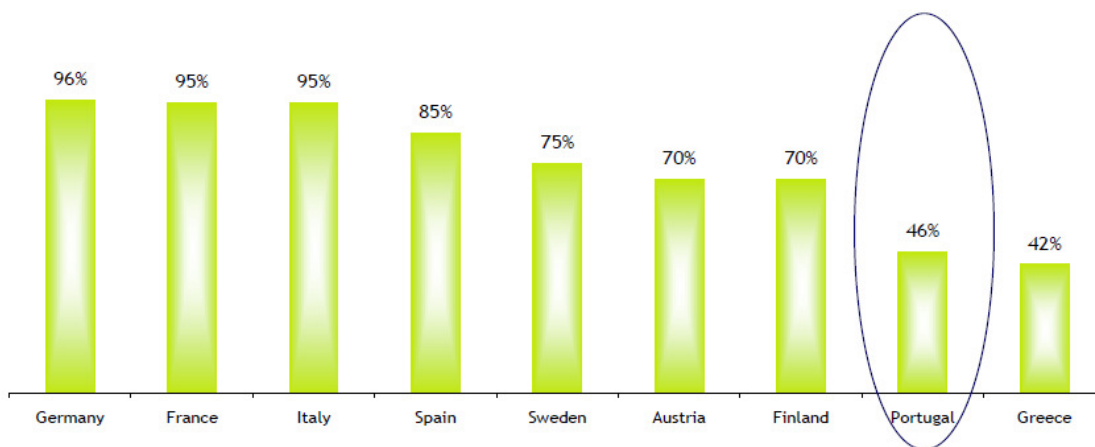


Figura 2. Potencial hidroelétrico aproveitado no final da 1ª década séc. XXI (REN)

### 3. A valia atual dos aproveitamentos hidroelétricos

A valia de um aproveitamento hidroelétrico era medida em termos da energia elétrica que poderia fornecer em ano médio, ou seja, em certa medida, em termos do combustível fóssil que poderia poupar ao sistema electroprodutor. A valorização da energia hidroelétrica assentava assim numa comparação técnico-económica direta com a solução alternativa termoelétrica, a qual correspondia a um agravamento da nossa dependência do exterior. O aproveitamento hidroelétrico corresponde à exploração de um recurso endógeno, não poluente, além de outras excelentes características que o permitem apreciar à luz de outros critérios mais abrangentes e que traduzem uma reapreciação em alta do seu verdadeiro valor. Hoje existe a noção plena que a valia de um aproveitamento hidroelétrico deve ser encarada com base numa multiplicidade de fatores, que conduzem a uma revalorização dos mencionados aproveitamentos face à análise clássica. São eles a valia dinâmica, a de emergência e a ambiental.

A valia dinâmica corresponde, basicamente, à característica dos centros produtores hidroelétricos poderem responder, sem qualquer dificuldade e em tempo muito curto, a grandes variações da procura ou até da oferta, devido à saída intempestiva de grandes unidades termoelétricas. Esta componente da valia elétrica depende de diversos fatores, como, por exemplo, a maior ou menor capacidade de armazenamento / regularização e a existência ou não de equipamento reversível (turbinamento/ bombagem).

Os aproveitamentos de grande capacidade de regularização prestam ainda um serviço adicional inestimável em termos da garantia do abastecimento global da procura em situações muito críticas, evitando o aparecimento de ruturas do sistema electroprodutor, a que corresponde uma valia adicional designada por valia de emergência.

Por outro lado, também a produção termoelétrica contribui com emissão de gases nocivos para o ambiente, nomeadamente os gases de efeito de estufa (CO<sub>2</sub>) e, também, de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e cinzas, principalmente no caso de o

combustível ser o carvão (em vez do gás natural). Como se sabe, o peso da componente “ambiente” na avaliação de projetos de produção de energia elétrica é preponderante, pelo que nos surge aqui a noção de valia ambiental associada a um projeto hidroelétrico.

Assim, em síntese, vemos que associado a um projeto hidroelétrico aparece um valor económico que é constituído pela soma de várias parcelas, a saber: a valia elétrica de referência, a valia dinâmica, a valia de emergência (nos casos dispondo de uma importante reserva e de localização estratégica) e a valia ambiental. Este conjunto de valias permite equacionar de forma mais correta e adequada a opção de construção ou não de um dado aproveitamento em comparação com outro.

Importa sublinhar que o uso da água deve ser feito prioritariamente com outros fins que não apenas a produção de energia elétrica, nomeadamente o abastecimento das populações e a agricultura, pelo que na maior parte dos casos as novas realizações devem ser encaradas sob uma ótica mais abrangente, como potenciais Aproveitamentos de Fins Múltiplos. Entre as diversas funções associadas a esses aproveitamentos poderíamos citar, nomeadamente:

- o abastecimento de água (populações, indústria e pecuária) e rega;
- a contribuição para mitigar os efeitos danosos em situações extremas de escassez ou abundância excessiva de caudais (garantia de caudais ecológicos e ambientais satisfatórios a jusante, visando reduzir os efeitos da poluição difusa; contribuição para o amortecimento dos caudais de ponta de cheia);
- a possibilidade de criação de reservas de água para facilitar o combate ao terrível flagelo dos incêndios florestais
- a criação de condições necessárias à navegabilidade comercial e turística (no caso de certos cursos de água e em determinadas zonas mais ou menos extensas dos mesmos);

- a produção de energia elétrica;
- a criação de condições para práticas de recreio e lazer.

Perante as múltiplas valias apresentadas e tratando-se dum precioso recurso endógeno renovável, parece claro que faz todo o sentido que se prossiga e se intensifique o aproveitamento dos recursos hídricos ainda não considerados, particularmente os da bacia portuguesa do rio Douro, a qual constitui uma das maiores valências dos recursos hídricos nacionais. É nesta bacia que se concentra a maior parte dos mais de 50% dos recursos hídricos nacionais ainda não aproveitados.

#### **4. Potencial hídrico da bacia do rio Douro e situação na parte portuguesa**

Com uma bacia hidrográfica de mais de 97 500 km<sup>2</sup>, capaz de gerar em ano médio, em regime de escoamento natural, cerca de 23 200 hm<sup>3</sup>, o rio Douro constitui o maior potencial hídrico da Península Ibérica. A área da bacia é partilhada desigualmente pelos dois países ibéricos, correspondendo a parte portuguesa a aproximadamente um quinto (situada a jusante) e a parte espanhola a quatro quintos (situada a montante). Em termos do potencial hídrico a proporção indicada altera-se significativamente já que a bacia portuguesa é bastante mais favorecida em termos de precipitação pluviométrica, o que conduz a um valor anual médio gerado de cerca de 8 200 hm<sup>3</sup>, ou seja 35% do total, contra 15 000 hm<sup>3</sup> da bacia espanhola (65%) [sitio na internet: [www.inag.pt](http://www.inag.pt)].

Em regime de escoamento livre, os caudais do rio Douro e dos seus afluentes caracterizam-se por uma irregularidade considerável, traduzindo uma forte e direta dependência da variabilidade das precipitações. Assim, a caudais de estiagem de valor insignificante, sucedem-se caudais de inverno de valor muito elevado que podem ir até ao ponto de causar cheias, provocando a saída das águas do seu leito habitual e provocando danos e prejuízos de vulto às populações ribeirinhas.

No sentido de se obter uma conveniente regularização dos caudais e permitir um aproveitamento tanto quanto possível integral, adequado e eficaz das águas do Douro e seus afluentes, foram sendo realizadas inúmeras obras hidráulicas, particularmente na bacia espanhola, quer para a produção de energia hidroelétrica quer para o abastecimento das populações e satisfação das suas necessidades básicas, bem como para a rega e para serviço da atividade industrial.

Efetivamente, possuidores da parte da bacia situada a montante e sabendo que o escoamento das águas se processa de acordo com as leis da gravidade, os nossos vizinhos espanhóis levaram a cabo um significativo conjunto de obras hidráulicas que lhes permitem, na presente data, um armazenamento de cerca de 7 500 hm<sup>3</sup>, ou seja cerca de 50% do valor total médio anual gerado pela sua bacia [sitio na internet: [www.mma.es](http://www.mma.es)]. Este valor, que em futuro próximo deverá ultrapassar os 8 000 hm<sup>3</sup>, possibilita claramente os meios suficientes para suprir as necessidades de água para uso e consumo das populações, bem como contribuir para a redução do nível de poluição das águas fluviais em períodos estivais de escassez de caudais e para permitir um amortecimento significativo das pontas mais elevadas dos caudais de cheia.

Sendo detentores da parte da bacia situada a jusante e igualmente conhecedores das leis da gravidade, os portugueses adotaram uma atitude de singular confiança, quer no trabalho dos seus vizinhos, quer na aposta de uma regularidade das precipitações pluviométricas, deixando praticamente a totalidade da sua bacia em regime de escoamento livre. Esta situação, que é no mínimo incompreensível, tem sido e ainda continua a ser fonte de inúmeros problemas e de situações potencialmente catastróficas, com elevados riscos para pessoas e bens, além de constituir um desperdício perfeitamente irracional e inaceitável de um recurso endógeno renovável fabuloso.

Os cinco aproveitamentos hidráulicos já mencionados, realizados na década de setenta e até meados da de oitenta no troço do Douro Nacional (Pocinho, Valeira, Régua,

Carrapatelo e Crestuma), permitiram o estabelecimento de um canal navegável com mais de 200 km de extensão, entre a foz do rio e a povoação de Barca d'Alva/Vega de Terrón, mas revelam-se perfeitamente incapazes de qualquer efeito significativo em termos de regularização de caudais e, muito menos ainda, em termos de laminagem de pontas de cheias.

Para os cerca de 8 200 hm<sup>3</sup> gerados em ano médio pela bacia portuguesa do Douro, dispomos no presente de apenas de cerca de 400 hm<sup>3</sup> de capacidade de armazenamento, que serão elevados para um pouco mais do dobro com a entrada do aproveitamento do Baixo Sabor. Trata-se de um valor insuficiente, cujos efeitos são bem visíveis, sobretudo quando ocorrem períodos de precipitações mais intensas.

Os responsáveis por esta situação somos nós, ao não termos dotado a nossa bacia do Douro, em especial os seus afluentes principais da margem direita (Sabor, Tua, Pinhão, Corgo e Tâmega) e também da margem esquerda (Côa e Paiva) das obras hidráulicas de que ela carecia para permitir uma gestão mínima dos caudais nela gerados. Só profunda ignorância ou clara má fé podem acusar os nossos vizinhos de nos inundarem, efetuando descargas de caudais elevados! Nada de mais errado!... É caso para afirmar que quando nos damos ao luxo de entregar à pura lógica das leis da gravidade a escorrência das águas, não nos podemos queixar dos infortúnios que tal situação inevitavelmente acarreta!...

## 5. Soluções possíveis

Não podemos deixar passar em claro esta situação e manter um forte alerta para a situação em que ainda atualmente se encontra a bacia portuguesa do rio Douro. A entrada do Baixo Sabor e Foz Tua vão minorar aquilo que era um atentado ao interesse público e um forte desperdício dos nossos recursos. Espera-se que a progressiva concretização do PNBEPH [11], permita ultrapassar esta situação que traduzia um elevado índice de incapacidade de garantia dos abastecimentos mínimos de água para uso e consumo das populações durante os períodos de estiagem, a par duma total impotência e inoperância em períodos de cheia.

A propósito de cheias e seus efeitos nefastos, cabe aqui observar que o amortecimento dos caudais de ponta de cheia no leito principal do rio Douro apenas se poderá alcançar através da construção de barragens criando albufeiras com adequada capacidade de armazenamento nos cinco principais afluentes (Côa, Sabor, Tua, Paiva e Tâmega).

Do ponto de vista energético a situação dos cinco escalões do Douro Nacional, do tipo fio de água, é paradoxal: apresentam níveis de produção baixíssimos, ou mesmo nulos, quando os caudais afluentes ultrapassam os 2 000 m<sup>3</sup>/s. Com efeito o desnível entre as cotas de montante e de jusante reduz-se de forma drástica, conduzindo à situação clássica de “afogamento” dos respetivos grupos. Por outro lado, durante o período de estiagem, com caudais muito reduzidos, é óbvio que o nível de energia produzido não pode ser elevado... No que segue são apresentadas algumas das soluções possíveis para tentar ultrapassar a situação e deixar claro aos leitores que eventuais consequências nefastas futuras, não são mais que o resultado duma inexplicável desatenção e incompreensível marasmo por parte das entidades competentes. O PNBEPH, aprovado em finais de 2007 e atualmente em fase de execução, constitui sem dúvida um ponto muito positivo a registar neste domínio, embora não esteja isento de riscos e de críticas.

Recordemos, entretanto, algumas das propostas elaboradas no passado pelas entidades com responsabilidades na matéria, as quais foram sendo sucessivamente revistas, mas que, até ao aparecimento do PNBEPH, permaneceram praticamente sem qualquer concretização.

Há cinco décadas, no início dos anos 60, a HED apresentava o “Plano Geral de Aproveitamentos Hidráulicos do Rio Douro e seus Afluentes”[1] o qual contemplava, para além dos 3 escalões do troço internacional (dois em exploração - Picote, Miranda - e um ainda em construção, Bemposta) e dos 5 escalões do troço nacional já referidos, cerca de duas dezenas de aproveitamentos a instalar nas 5 principais bacias de afluentes (Côa, Sabor, Tua, Paiva e Tâmega). Estas duas dezenas de aproveitamentos visavam, para além do seu aproveitamento energético, contribuir para a garantia dos

abastecimentos de água para rega e uso urbano, bem como para mitigar os prejuízos causados por situações hidrológicas extremas (amortecimento de caudais de cheia e redução do grau de poluição das águas fluviais em períodos críticos). Este facto ficava essencialmente a dever-se aos diversos escalões dotados de albufeira de suficiente capacidade de armazenamento, que no seu total permitiam um valor global de armazenamento próximo dos 7 000 hm<sup>3</sup>, com destaque especial para os escalões previstos para a bacia do Sabor, o de Quinta das Laranjeiras e o de Sampaio, de 1 520 hm<sup>3</sup> e 1 700 hm<sup>3</sup>, respetivamente.

Aquele valor total de armazenamento representava cerca de 85% do volume total gerado em ano médio pela bacia portuguesa do Douro, o que fornecia os meios para uma gestão eficaz dos caudais em situações meteorológicas extremas.

A decisão de realizar os cinco aproveitamentos sobre o troço nacional do rio, ainda que correta, teve o efeito perverso de adiar sucessivamente a implementação da necessária e suficiente capacidade de regularização, com exceção de

escassos 115 hm<sup>3</sup> disponibilizados em 1988, com a entrada em serviço no troço terminal do rio Tâmega do escalão do Torrão.

Entretanto, a partir de 1970, foram sendo realizados diversos estudos, a nível de Inventários e de Planos Gerais, cujo objetivo era o de proceder à revisão e atualização dos esquemas previstos nos Planos Gerais que a HED realizara nos finais dos anos 50 e inícios de 60. Tais estudos incidiram essencialmente sobre as bacias do Tâmega [5], do Alto Tua [3], do Baixo Sabor [2], do Côa [4] e do Paiva [6]. Depois destes inúmeros estudos e após sucessivas iterações, foi-se conduzido à definição do esquema geral para a bacia nacional do rio Douro que se encontra ilustrado na figura 3.

Observe-se que neste último plano global a capacidade de armazenamento era já só de cerca de 4 500 hm<sup>3</sup>, surgindo portanto bastante reduzida quando comparada com os valores iniciais, mas mantendo-se em níveis que permitiam garantir os meios mínimos adequados para a correta gestão do potencial hídrico da bacia.

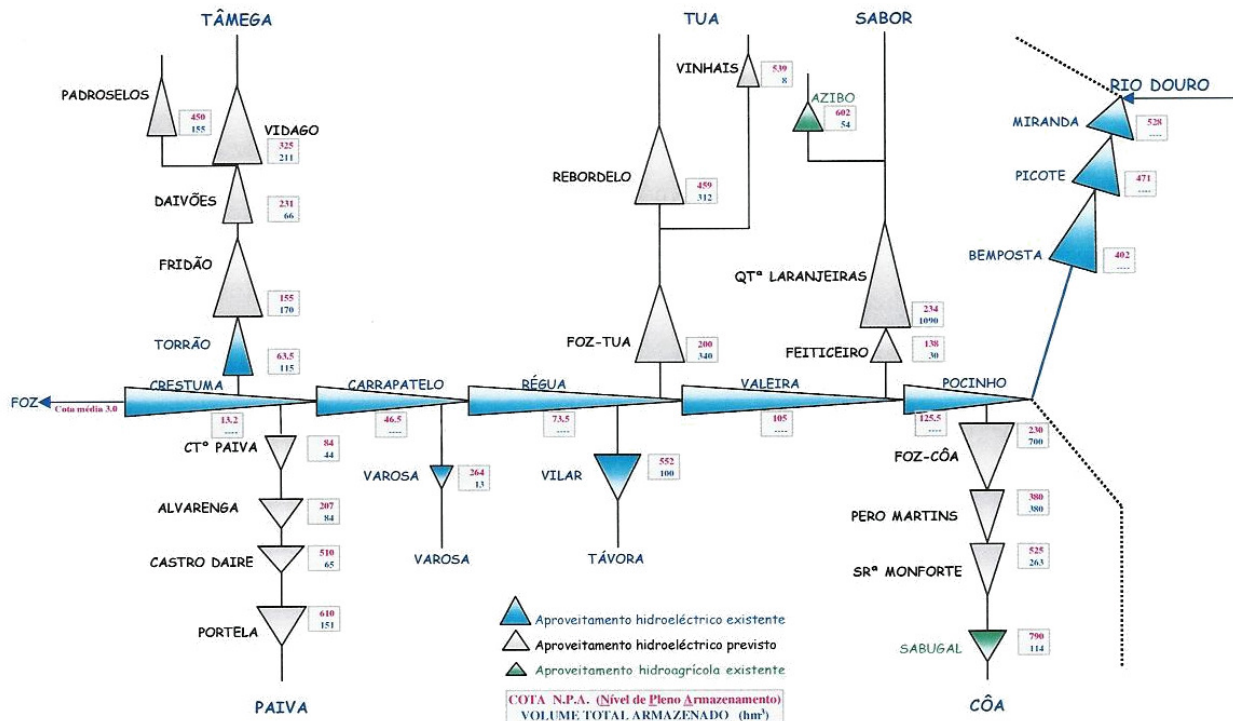


Figura 3. Esquema geral dos aproveitamentos existentes e em projeto na bacia do Douro

Com o aproximar do final da década de 80, pareceu que se havia finalmente adquirido a consciência da necessidade imperiosa de implementar diversas albufeiras nos afluentes nacionais do rio Douro, a começar, naturalmente, pelos situados o mais a montante possível, os rios Côa e Sabor. Foi assim lançado o aproveitamento de Foz Côa que iria constituir a primeira (e obviamente, insuficiente...) “reserva estratégica” de água a instalar no Douro Superior, à qual deveriam seguir-se outras no Baixo Sabor, no Alto Côa, no Tua, no Tâmega e no Paiva. A altíssima valia, a vários níveis, daquela reserva estratégica não foi no entanto suficiente para impedir uma decisão política mal fundamentada e altamente infeliz tomada em Janeiro de 1996, fazendo não só o problema regressar à estaca zero, como acarretando elevadíssimos prejuízos materiais integralmente suportados pelo erário público!

Quase duas décadas decorridas sobre a desastrada e discutível decisão, não será despiciendo recordar o compromisso, então assumido, de lançar de imediato um novo aproveitamento situado na mesma área geográfica, na bacia do rio Sabor, o qual se encontra finalmente agora em vias de conclusão (Baixo Sabor).

## **6. Plano Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroelétrico**

O Plano Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico, é um plano do governo português com o objetivo de identificar e definir prioridades para os investimentos a realizar em aproveitamentos hidroelétricos no horizonte 2007-2020.

A principal meta do PNBEPH era, através de novos grandes aproveitamentos hidroelétricos a implementar, atingir uma capacidade instalada hidroelétrica nacional superior a 7 000 MW em 2020 (“Ministério da Economia e da Inovação, 2007, Uma Política de Energia com Ambição”). Estes aproveitamentos hidroelétricos devem assegurar valores de potência instalada adicional da ordem de 2 000 MW, contribuindo desta forma para o cumprimento do objetivo estabelecido pelo Governo em termos de produção de

energia com origem em fontes renováveis para o ano 2020, redução da dependência energética nacional e redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

Para a elaboração do PNBEPH, foi feito um conjunto de estudos e procedimentos desenvolvidos em duas fases: a fase A onde foi elaborado o “Projeto do Programa” e o “Relatório Ambiental”; e a fase B correspondente ao desenvolvimento do processo de participação pública, documentos de divulgação, Relatório de Consulta e a integração dos resultados desse processo nos documentos finais: “Programa” e “Declaração Ambiental”.

Curiosamente o PNBEPH surge de uma forma um pouco paradoxal... A situação que se vivia em meados da década passada em termos hídricos era por si só mais do que suficiente para que se encarasse de frente o desafio e se lançasse mãos à obra no sentido de dotar a bacia portuguesa do Douro dos meios indispensáveis para permitir utilizar eficazmente os seus preciosos recursos hídricos. Com essa ação poder-se-ia melhorar significativamente a nossa dependência energética através da introdução de uma forte componente de recursos renováveis, garantir uma melhor segurança do sistema electroprodutor em situações de contingência e melhorar a segurança das pessoas e bens, em especial daqueles que, pela sua proximidade ao rio, se encontram mais ameaçados em situações extremas, além de contribuir para elevar a qualidade de vida das populações envolvidas ao nível a que têm legítimo direito.

No entanto, a verdadeira razão para o aparecimento em 2007 do PNBEPH foi, a nosso ver, o resultado da progressiva introdução desde 1995 no sistema electroprodutor português de uma forte componente eólica, cuja taxa de penetração estava a atingir um valor absolutamente limite.

Em resumo, podemos referir que o PNBEPH foi um estudo levado a cabo durante o ano de 2007 e tendo por base três pressupostos essenciais:

- a produção de eletricidade com base em fontes de energia renovável;

- a redução da dependência energética nacional;
- a redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

Neste estudo, a componente hidroelétrica de regularização assume claramente uma importância decisiva, de forma a poder ser garantida uma segurança mínima de abastecimento de energia elétrica. De facto, a progressiva introdução de energia de origem eólica exige, como prioridade, o reforço da componente hídrica com capacidade de regularização (armazenamento) e de sistemas de bombagem. Foram analisados no total 25 empreendimentos e foram retidos apenas dez para implementação até 2020, com o objetivo de ultrapassar os 7000 MW de componente hídrica, correspondentes a cerca de 70% do potencial total nacional em termos de potência.

Os 25 aproveitamentos candidatos eram:

- Assureira (Rio Lima);
- Pova e Pinhosão (Rio Vouga);
- Asse-Dasse, Girabolhos, e Midões (Rio Mondego);
- Almourol, Santarém, Erges e Alvito (Rio Tejo);

- Atalaia, Senhora do Monforte, Pero Martins, Sampaio, Mente, Rebordelo, Foz Tua, Castro Daire, Alvarenga, Castelo de Paiva, Padroselos, Vidago, Daivões, Fridão e Gouvães (Rio Douro).

Após a análise deste conjunto de aproveitamentos hidroelétricos previamente inventariados pela REN, foram selecionados os aproveitamentos considerados mais viáveis e interessantes para o cumprimento das metas estabelecidas, com base na definição e análise de alternativas, considerando aspetos técnicos, económicos, sociais e ambientais associados. Assim, foram selecionados: Padroselos, Daivões, Fridão, Gouvães e Vidago, na bacia do rio Tâmega, Foz Tua, no rio Tua, Pinhosão (Vouga), Girabolhos (Mondego), Alvito (Ocreza) e Almourol (Tejo), cujas características iniciais previstas constam da Tabela 1 [11]. Destes dez empreendimentos, mais de metade situa-se na bacia do rio Douro, como seria de esperar.

De referir que os empreendimentos analisados no Plano correspondiam na sua grande maioria a casos que haviam já sido considerados e estudados em vários documentos anteriormente elaborados por diversas entidades. A implementação do PNBEPH encontra-se neste momento em curso, ainda que parcialmente, dado que três dos empreendimentos propostos não encontraram promotores interessados.

Tabela 1. Características previstas inicialmente no PNBEPH

Características previstas no Programa e que serviram de base ao lançamento de concursos de adjudicação

Aproveitamento	Bacia Hidrográfica	Curso de água	Cota NPA Referência (m)	Cota NPA Máxima (m)	Área da bacia (km <sup>2</sup> )	Capacidade da albufeira (hm <sup>3</sup> )	Potência Instalada (MW)	Produtibilidade média anual (GWh) produção primária
Foz-Tua	Douro	Rio Tua	160	200	3 822	310	234	340
Gouvães	Douro	Rio Torno	883.5	890	100	13	112	153
Padroselos	Douro	Rio Beça	450	450	315	147	113	102
Alto Tâmega	Douro	Rio Tâmega	312	322	1 557	96	90	114
Daivões	Douro	Rio Tâmega	231	250	1 984	66	109	148
Fridão	Douro	Rio Tâmega	160	180	2 630	195	163	299
Pinhosão	Vouga	Rio Vouga	290	300	401	68	77	106
Girabolhos	Mondego	Rio Mondego	300	310	980	143	72	99
Alvito	Tejo	Rio Ocreza	200	240	968	209	48	62
Almourol	Tejo	Rio Tejo	24	25			36	96
<b>Total</b>							<b>1 054</b>	<b>1 519</b>

Sendo atualmente inquestionável o interesse pelo desenvolvimento das energias de fontes renováveis, tudo aponta para que a sua evolução se deva processar no sentido de aumentar o seu peso no contexto energético geral, mas sempre com natural salvaguarda da segurança de abastecimento, o que nos leva a crer que o Plano reúne todas as condições para prosseguir com êxito, abrindo um novo ciclo em termos de aproveitamentos hidroelétricos no nosso país e constituindo um passo muito significativo para ultrapassar a situação de atavismo vivida durante quase duas décadas.

## 7. Conclusões

Portugal apresenta um potencial hidroelétrico tecnicamente explorável muito significativo, tendo em conta a sua reduzida extensão territorial. Este potencial hidroelétrico encontra-se incompletamente aproveitado, ao nível de apenas escassos 50 % , acarretando elevados prejuízos técnicos, económicos e sociais para o País. Inexplicavelmente, após os problemas e as vicissitudes vividas e sofridas na década de 90 pelo programa hidroelétrico com os estudos de impacte ambiental, pretensamente muito rigorosos mas, sobretudo, fortemente polémicos pelos impactes identificados, de que Foz-Côa é o mais infeliz exemplo, o nosso País assistiu, ano após ano, a um quase total abandono do projeto hidroelétrico inicial. Este abandono, felizmente alterado a partir de 2008, era particularmente inquietante no que se referia à bacia portuguesa do Douro, com o desperdício de um recurso endógeno fabuloso e a sujeição aos caprichos das águas descontroladas.

O enorme investimento entretanto realizado a nível de uma outra forma de energia renovável endógena (energia eólica), altamente variável e sem possibilidade de armazenamento direto, ainda que louvável, não permite dispensar de modo algum o recurso à energia hidroelétrica. Pelo contrário, antes a recomenda vivamente, sobretudo se pretendermos assegurar a garantia de potência do sistema electroprodutor para responder às solicitações do consumo.

Apesar dos últimos sinais positivos, é difícil perceber como foi possível a situação em que (ainda) se encontra o (des)aproveitamento dos recursos hídricos nos afluentes da bacia portuguesa do rio Douro. Mais de meio século depois das primeiras realizações no Douro Internacional é triste verificar que a bacia portuguesa ainda dispõe de uma reduzida capacidade de armazenamento nos seus afluentes que inviabiliza uma correta gestão global dos recursos.

Apesar das dificuldades económicas e financeiras que o país atravessa, impõe-se continuar a realização das infraestruturas necessárias à disponibilização das funções hídricas e energéticas proporcionadas por aproveitamentos hidráulicos de fins múltiplos, numa clara aposta nos nossos recursos endógenos e na capacidade de realização da engenharia portuguesa.

## 8. Bibliografia

- [1] Plano Geral do Aproveitamento Hidráulico do rio Douro e seus Afluentes- Hidro-Elétrica do Douro, Porto, 1959/60
- [2] Rio Sabor- Plano Geral, CPE-DPH, Out. 1974
- [3] Plano Geral do Alto Tua, CPE-DEH, Jul. 1975
- [4] Inventário de Recursos Hidroelétricos da Bacia do rio Côa, EDP-DEH, Nov. 1977
- [5] Inventário de Recursos Hidroelétricos da Bacia do rio Tâmega, EDP-DE-SEH, Março 1981
- [6] Inventário de Recursos Hidroelétricos da Bacia do rio Paiva, EDP-DOEPT-SEH, Setembro 1982
- [7] Plano de Novos Centros Produtores 1986-2010, EDP-OCPL, Dez. 1985
- [8] Aproveitamento Hidráulico do Douro, EDP, 1986
- [9] Recursos hídricos do rio Douro e sua utilização, INAG/COBA, Abril 1995
- [10] Hidroeletricidade em Portugal - memória e desafio, REN, 2002
- [11] PNBEPH-Plano Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroelétrico, Memória, Desenhos e Anexos, INAG, 2007



## SISTEMAS EÓLICOS DE ENERGIA

### MAIS LEVES QUE O AR.

#### 1. Introdução

Os produtores associados às energias eólicas tem nos últimos anos procurado novas formas de produção de energia elétrica mais eficientes e menos dispendiosas que as tecnologias atuais. As soluções atuais apresentam ainda elevados custos de instalação e manutenção para além de terem associadas a si o traço intermitente e irregular do seu recurso natural – o vento. Entre muitas alternativas em estudo, as tecnologias (LTA - *Lighter than Air*) tem merecido particular interesse devido aos anos de experiência e saber acumulado na área e muito em parte devido às potencialidades económicas que estas deixam em aberto. A prova chega-nos por mão da *Altaeros Energies*, start-up fundada no MIT que já tem em fase de testes o seu primeiro protótipo BAT - *Buoyant Airborne Turbine* (Turbina aerogeradora flutuante).

Este artigo ambiciona apresentar esta tecnologia e os seus princípios de funcionamento destas tecnologias, utilizando como exemplo o protótipo da *Altaeros* que será alvo de um estudo ao nível das suas características aerodinâmicas, bem como ao nível da sua viabilidade económica.

#### 2. Tecnologia mais leve que o ar

Tecnologias mais leves que o ar (TLA) refere-se a todos os sistemas que ao concentrarem num determinado espaço volumico gases flutuantes, tais como o hélio e o hidrogénio, adquirem força suficiente para se elevarem verticalmente e manterem uma posição fixa no ar.

As primeiras experiências desenvolvidas são remetidas para o século XVIII, quando Bartolomeu de Gusmão apresentou um pequeno balão de ar quente à corte portuguesa. Desde então, têm sido inúmeros os desenvolvimentos desta tecnologia, sendo os exemplos mais comuns os dirigíveis

(rígidos, semirrígidos e não rígidos), balões de ar quente, meteorológicos e aeróstatos (fixos e não fixos). Os aeróstatos, quando fixos, são capazes de permanecer no ar durante grandes períodos de tempo sem necessitarem de voltar ao chão (no caso de aplicações meteorológicas, podendo até manter-se durante meses a elevadas altitudes).

Em 1929, *Alpin Dunn* estabelece a primeira patente para “uma nova forma de dirigível que inclui longitudinalmente um tubo de ar entre as extremidades, de forma a que um motor movido pelo forte fluxo do vento produza energia elétrica” [1], associando assim as TLA à produção de energia eólica.

O desenvolvimento das LTA têm ganho importante destaque na comunidade que se dedica ao desenvolvimento e produção de dispositivos produtores de energia renovável, realçando-se principalmente por dois fatores:

- O mercado das energias renováveis tem crescido substancialmente nos últimos anos, pelo que a procura por métodos mais eficientes é grande;
- Estes sistemas operam a grandes altitudes onde o vento é mais forte e constante. (Figura 1).



Figura 1. Da esquerda para a direita – Magenn Power, Altaeros Energies

### 3. Elevação da Estrutura

A elevação destes sistemas é conseguida através da conjugação das elevações aerodinâmica e aerostática. A elevação aerostática é obtida através da confinção de um gás mais leve que o ar a um certo volume. A força da elevação é diretamente proporcional à diferença das densidades relativas do ar envolvente, que varia com a altura, com a densidade do gás fechado. Sendo  $V$  o volume do gás fechado,  $\rho_{ar}$  a densidade do ar envolvente e  $\rho_{gás}$  a densidade do gás fechado, a força resultante da elevação  $F_e$  é-nos dada pela seguinte fórmula:

$$F_e = V(\rho_{ar} - \rho_{gás}) \quad (1)$$

O cálculo do volume do gás elevador é feito de forma a permitir que a força de elevação seja suficiente para elevar e suportar todo sistema de produção no ar, sendo tipicamente acrescentada uma força de 10% a 20% de excesso ( $F_{exce}$ ).

Desta forma, o sistema que é preso por amarras ao chão, adquire mais estabilidade quando sujeito a forças de arrasto ( $F_a$ ) provocadas por ventos mais intensos, típicos de grandes altitudes. As forças de arrasto, como geralmente são mais fortes que a força de elevação, fazem com que o sistema se afaste da posição vertical inicial com o ângulo determinado pela relação das forças de elevação e arrasto ( $F_e$  e  $F_a$ ). A figura 2 é ilustrativa deste fenómeno.

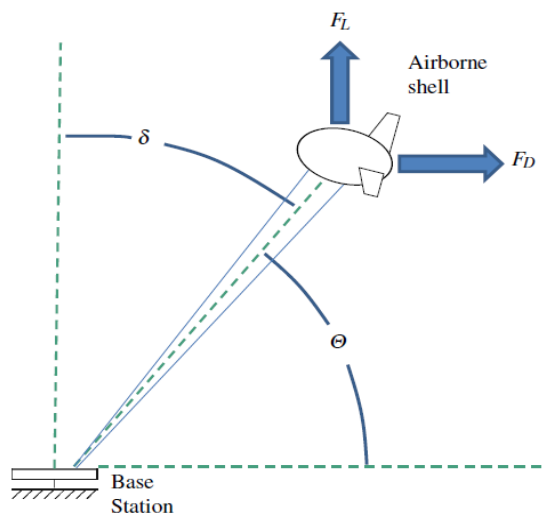


Figura 2. Ilustração do ângulo de arrasto  $\delta$  e ângulo de elevação  $\theta$

O ângulo de arrasto  $\delta$  é definido pelo arco tangente da razão entre a força de arrasto  $F_a$  e força de elevação  $F_e$  sendo o cálculo feito através da fórmula:

$$\delta = \tan^{-1} \frac{F_a}{F_e} = \frac{\frac{1}{2} \rho_{ar} V_{vento}^2 C_{af} A_{ref}}{F_{extra} + \frac{1}{2} \rho_{ar} V_{vento}^2 C_e A_{ref}} \quad (2)$$

Onde  $F_a$  representa a força de arrasto,  $F_e$  a força total de elevação (incluindo a força aerostática, de excesso e aerodinâmica  $F_{exce}$ ),  $\frac{1}{2} \rho_{ar} V_{vento}^2 C_e A_{ref}$  a pressão dinâmica,  $C_a$ ,  $C_e$  coeficientes de arrasto e elevação e  $A_{ref}$  a área sobre a qual o vento exerce a sua força.

Uma vez que o ângulo de arrasto aumenta significativamente com o aumento da intensidade do vento, os sistemas mais leves que o ar devem incorporar elevação aerodinâmica de forma a atenuar a instabilidade associada a ventos rápidos. A elevação aerodinâmica é conseguida através do uso de um perfil alar de geometria assimétrica (ex: asa de um avião).

A título de exemplo, a estrutura anelar insuflável da turbina aerogeradora (ver Fig. 1) apresenta uma geometria que permite que as correntes de ar produzam elevação da mesma forma que uma asa de avião.

Outro exemplo de utilização da elevação aerodinâmica pode ser encontrado no modelo *Magenn Mars*, que tira partido do efeito *Magnus* para se manter em elevação. Neste sistema, um cilindro gira em torno de um eixo transversal à direção do vento, sendo que as diferenças de velocidade nas secções superiores e inferiores (do cilindro) provocam uma força de elevação.

### 4. Conversão de Energia

A conversão de energia nestes sistemas pode ser feita através de vários métodos. O protótipo da *Altaeros* utiliza uma turbina semelhante às tradicionais usadas nas torres eólicas. Neste ponto, o principal desafio encontra-se na utilização de materiais mais leves (que passam pelo chassi/estrutura mais leves) e por rotores de baixo torque.

O transporte da energia, desde o gerador até à base fixa no chão (no caso da *Altaeros*, um camião de carga) é feito pelos mesmos cabos que seguram a estrutura. Outros métodos de conversão são encontrados no sistema implementado no *Magenn Mars*. Nesta configuração, a conversão é feita através da rotação do eixo transversal horizontal, que por sua vez alimenta os geradores do sistema.

## 5. Gestão da pressão e escolha do gás flutuante

Uma das grandes vantagens das LTA está relacionado com o facto de estas trabalharem a grandes altitudes. Desta forma, a produção de energia é substancialmente mais eficiente que a das convencionais torres eólicas, uma vez que a grandes altitudes os ventos são mais fortes e constantes. Torna-se portanto imperativo que estes sistemas possuam mecanismos que permitam gerir a pressão do gás dentro de parâmetros aceitáveis, como a pressão do ar envolvente, a temperatura e a radiação solar a altas altitudes. A gestão da pressão pode ser passiva ou ativa. A gestão passiva passa pelo uso de materiais elásticos que se adaptam com o aumento ou a diminuição da pressão do gás. A gestão ativa é feita através de um conjunto de válvulas que deslocam ar para dentro e fora da estrutura.

A escolha do tipo de gás a ser utilizado deve também ser tomada em consideração. Atualmente, a maioria dos aeróstatos e dirigíveis usam o hélio para se elevarem, justificando-se esta preferência com o facto de o hélio ser um gás inerte, seguro e de fácil utilização. O único ponto negativo da utilização do hélio é o facto de ele ser um recurso natural presente em reservas de gás natural. Estudos de mercado indicam um aumento de 100% do seu preço nos próximos 20 anos. Com este aumento, espera-se que o hidrogénio venha a desempenhar um papel importante nestes sistemas. A força de elevação deste gás é 8% maior por unidade de volume que a do hélio, a sua produção é muito mais barata e pode ser feita no local da sua utilização. Porém, o hidrogénio é extremamente reativo, sendo por isso de vital importância que este esteja isolado de qualquer fonte de ignição.

## 6. Escolha de Materiais

A escolha do material que envolve o gás de elevação é uma das etapas mais importantes no desenvolvimento de uma tecnologia que ambiciona produzir energia a alturas superiores a 150 metros. Estes devem ser capazes de suportar os desgastes provocados pela pressão interna do gás, pelos anos de exposição a radiação ultravioleta, bem como por outros agentes ambientais que podem provocar o desgaste do material. Ao longo dos anos, os materiais usados em aplicações como balões de meteorológicos foram sendo aprimorados de forma a preencher estes requisitos. Como tal, o principal desafio da aplicação destes materiais a sistemas produtores de energia passa pela redução dos custos de produção, mantendo um nível adequado de fiabilidade e durabilidade.

De forma a satisfazer os requisitos necessários para a construção desta tecnologia, a *Altaeros* optou por desenvolver um material tripartido, ou seja, constituído por uma seleção de materiais, de forma a contemplar todos os requisitos de segurança.

A turbina flutuante da *Altaeros* apresenta uma estrutura insuflável desenvolvida com o principal objetivo de elevar de forma segura todo o sistema a altas altitudes. Para além deste, esta estrutura foi também desenvolvida de modo a respeitar duas características chave que serão de seguida apresentadas.

## 7. Perfil aerodinâmico orientado para o aumento de potência

O perfil aerodinâmico da BAT inspira-se nos difusores já presentes em turbinas eólicas, tais como os da *FloDesign*. A aplicação desta técnica tem sido extensivamente estudada por várias empresas do sector, no sentido de aumentarem a eficiência na produção de energia nas convencionais turbinas eólicas. Como consequência da diminuição da área de incidência do vento no gerador, a energia cinética do mesmo aumenta significativamente quando comparada com a energia cinética do fluxo do vento em redor da turbina.

Desta forma, a energia entregue às pás da turbina aumenta significativamente, fazendo com que o coeficiente de potência exceda o limite imposto pela lei de Betz (mais do que 59% da energia cinética convertida em potência elétrica).

### 8. Transição de ventos fortes para ventos fracos

A turbina aerogeradora da *Altaeros* foi concebida para trabalhar a grandes altitudes, onde o vento assume um carácter mais forte e estável. Desta forma, o sistema é sujeito a variações bruscas de velocidades do vento (que variam com a altitude) que não só podem comprometer a estabilidade do sistema, mas também como a integridade física da estrutura. Desta forma, o sistema deve ser concebido para que mantenha sempre um ângulo de ataque positivo em relação ao eixo horizontal, quer esteja sujeito a ventos fortes ou fracos. Caso o ângulo de ataque do sistema seja negativo ou próximo de zero, uma rajada de vento mais forte pode comprometer a estabilidade do sistema (Fig.3).

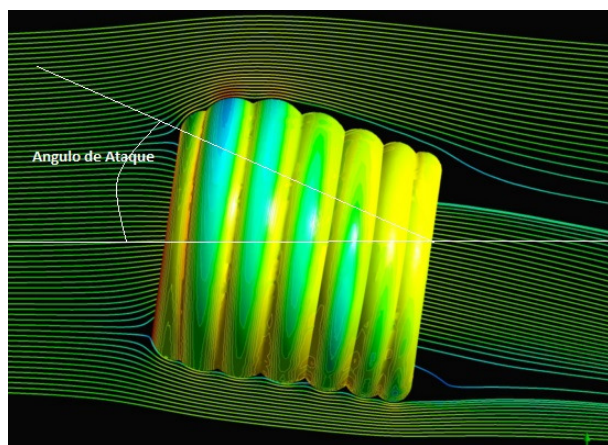


Figura 3. Angulo de ataque

### 9. Viabilidade Económica e comparação com Tecnologias Atuais

A turbina da *Altaeros* será elevada a uma altitude compreendida entre os 150 e os 600 metros, onde a intensidade do vento é em média 5 vezes maior que a intensidade do vento alcançado pelas torres eólicas atuais.

O gerador terá uma potência instalada de 100 kW e irá oferecer três vantagens em relação às produtoras eólicas

convencionais. Devido ao perfil mais constante dos ventos a grandes altitudes, a *Altaeros* terá um fator de produção de 60% a 70% o que comparado com os 30% das convencionais torres eólicas representa uma melhoria significativa. Este facto aliado com o aumento do limite de Betz que a estrutura oferece faz com que a produção de energia aumente duas a três vezes mais do que a energia produzida nas torres eólicas.

Para além do aumento da eficiência de produção, também o custo de fabrico e instalação faz da turbina da *Altaeros* uma alternativa mais económica que as convencionais torres eólicas. Uma torre eólica tem, em média, um custo que ronda os 950 mil euros, de onde 60% a 70% são relativos ao transporte de toda a logística de construção e à sua instalação. Por seu lado, esta tecnologia requer apenas um camião por unidade para o transporte da estrutura levando a que o custo de instalação se situe nos 550 euros.[2]

[2] Rein, A. (2013). *Demonstration of Low Cost Airborne Wind Turbine for Remote Villages.*

O impacto ambiental deste sistema é também substancialmente reduzido. Como a turbina trabalha a altas altitudes o ruído que atinge o chão é quase nulo. A fauna aviária a grandes altitudes tem uma atividade reduzida pelo que o impacto na vida animal é também reduzida. Por fim, como este sistema é fácil de transportar e de instalar, dispensa que estradas tenham de ser feitas propositadamente.

### 10. Conclusão

Embora empresas e grupos de estudo ligadas a este conceito de LTA tenham feito avanços significativos, é necessário um esforço acrescido para melhorar a performance e viabilidade destes sistemas para que a curto e médio prazo poderem ser considerados viáveis a nível comercial. Atualmente procuram-se avanços tecnológicos que possibilitem a melhoria destes sistemas em duas áreas chaves, nomeadamente: a otimização da altitude para a produção de energia sujeita a restrições de segurança e peso dos equipamentos, e a obtenção de materiais de baixo custo e

alto desempenho para a construção da estrutura isolante dos gases flutuantes.

A primeira área chave é atribuída ao desenvolvimento de sistemas de controlo, onde o objetivo é controlar a altitude da estrutura nos intervalos em que se registam os valores nominais da velocidade do vento. Submeter a estrutura a valores superiores aos da velocidade nominal poderá resultar em danos na estrutura e, no pior dos casos, a perda do controlo e queda da estrutura.

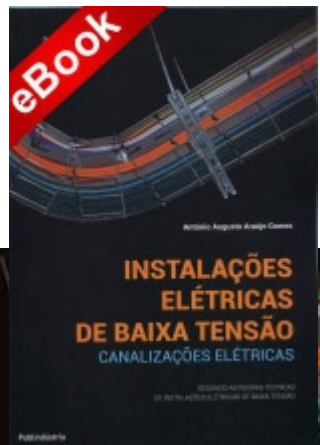
A outra área chave refere-se á obtenção de materiais isoladores com custos de produção competitivos.

Os atuais materiais são tipicamente compostos por várias camadas e fortemente customizados ao tipo de utilização pretendida, sendo que por este facto, não são economicamente viáveis.

Colmatados estes factos, vemos nestas tecnologias um forte potencial para servirem de alternativa a geradores e outros meios de produção instalados em pequenos povoaamentos ou em aplicações para áreas remotas e de difícil acesso.

**Divulgação:**

**Título:** Instalações Elétricas de Baixa Tensão  
**Autor:** António Augusto Araújo Gomes  
**Editora:** Publindústria  
**Data de Edição:** 2015  
**ISBN:** 9789897230752  
**Nº Páginas:** 151  
**Encadernação:** Capa mole



### CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÕES DE CURTA DURAÇÃO

O Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto, disponibiliza um conjunto de cursos de especialização de curta-duração destinados fundamentalmente aos alunos de cursos de engenharia, bacharéis, licenciados e mestres recém-formados na área da Engenharia Eletrotécnica e/ou Engenharia Eletrónica, assim como quadros no ativo que pretendam atualizar conhecimentos ou adquirirem competências em áreas transversais da Engenharia Eletrotécnica.

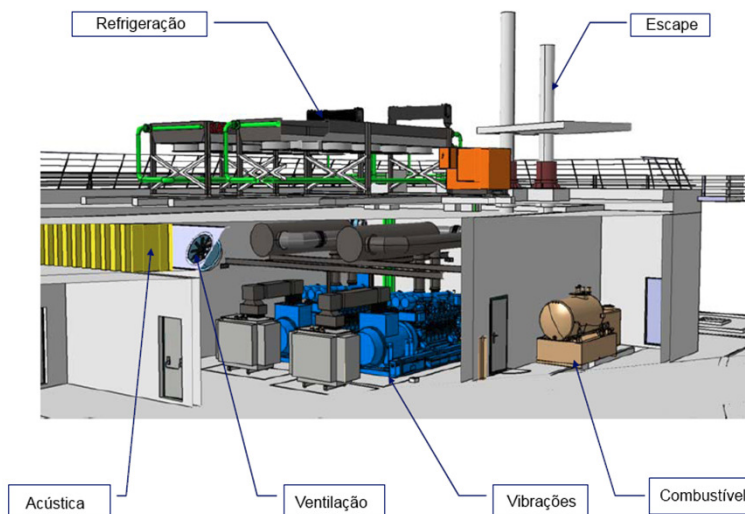
Os cursos terão uma duração variável entre as 8 e as 16 horas, funcionarão à sexta-feira em horário pós-laboral, ou preferencialmente ao sábado de manhã. O requisito mínimo para frequentar estes cursos será o 12º ano completo, sendo recomendada a frequência de uma licenciatura ou mestrado em Engenharia Eletrotécnica e/ou Engenharia Eletrónica.

- Dispositivos Lógicos Programáveis (FPGAs)
- Máquinas Elétricas Assíncronas de Indução
- Eficiência Energética na Iluminação Pública
- Máquinas Elétricas Síncronas de Corrente Alternada
- Instrumentação e Medidas Elétricas
- Projeto ITED de uma Moradia Unifamiliar
- Máquinas Elétricas - Transformadores
- Projeto de Redes de Terra em Instalações de Baixa Tensão
- Máquinas Elétricas de Corrente Contínua
- Verificação, Manutenção e Exploração Instalações Elétricas de Baixa Tensão

Departamento de Engenharia Eletrotécnica  
Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 471, 4200 - 072 Porto  
Telefone: +351 228340500 Fax: +351 228321159

[www.dee.isep.ipp.pt](http://www.dee.isep.ipp.pt)



**ENERGIA EM QUALQUER SITUAÇÃO.****GRUPOS ELETROGÊNEOS.****1. Enquadramento**

O modelo de sociedade em que vivemos depende em grande medida de uma fonte de energia elétrica ininterrupta, estável e capaz. Tanto no sector industrial, comercial como residencial, a contínua disponibilidade de energia tem um papel de extrema importância na segurança e conforto das pessoas.

Assim, e nos momentos de interrupção da alimentação de energia pela rede de distribuição principal, quer por motivos de falha, manutenção ou outros, um grupo eletrogêneo de emergência apresenta-se, muitas das vezes, como a solução para o problema. Torna-se portanto vital o correto dimensionamento e instalação do equipamento de forma a garantir a longevidade do mesmo, bem como a fiabilidade e estabilidade desta fonte de energia.

Iremos abordar neste artigo, de forma muito sucinta, quais os principais critérios que deverão ser tomados em conta no dimensionamento de um grupo eletrogêneo.

Como referência de qualidade, tomar-se-ão características referentes aos equipamentos do fabricante francês SDMO, terceiro maior fabricante no mundo, e representado em Portugal e em Angola em exclusivo pela Auto Sueco.

Numa fase inicial de projeto, deverão ser analisados os seguintes pontos:

- Definição das cargas a alimentar em socorro e em segurança, e quais as variações máximas de frequência ou tensão admissíveis;
- Espaço disponível para a central de energia (instalação em sala técnica, instalação no exterior, etc...);
- Nível sonoro desejado;
- Arrefecimento do equipamento e ventilação da sala técnica;
- Circuito de escape;
- Disposição dos equipamentos de forma a respeitar os acessos necessários para a manutenção;
- Restrições técnicas associadas à instalação (condições climáticas, ambientes poeirentos ou agressivos, proximidade de zona costeira, acessos, proximidade de edifícios, etc...);
- Legislação em vigor.

## 2. Potência do equipamento

De acordo com a norma ISO8528-1, a potência de um grupo eletrogéneo define-se como potência de saída disponível para as cargas do utilizador, excluindo a potência elétrica absorvida pelos serviços auxiliares. É expressa em kW, com um fator de potência de 0,8 e consoante o tipo de utilização, classifica-se em:

- Potência de Emergência – Standby Power (ESP)
- Potência contínua limitada (LTP)
- Potência prime (PRP)
- Potência contínua (COP)

Por limitação de espaço neste artigo, vamos resumir os tipos de potência mais utilizados no mercado e que servem de base ao nosso dimensionamento.

### - Potência de Emergência – *Standby Power* (ESP)

É utilizada em instalações alimentadas por uma rede de distribuição fiável. A potência de emergência aplica-se quando o G.E. alimenta cargas variáveis durante a interrupção de energia. É a potência máxima disponível, sob carga variável, que um grupo eletrogéneo é capaz de debitar, desde que por um período inferior a 200h/ano e salvaguardando-se os devidos períodos para manutenção.

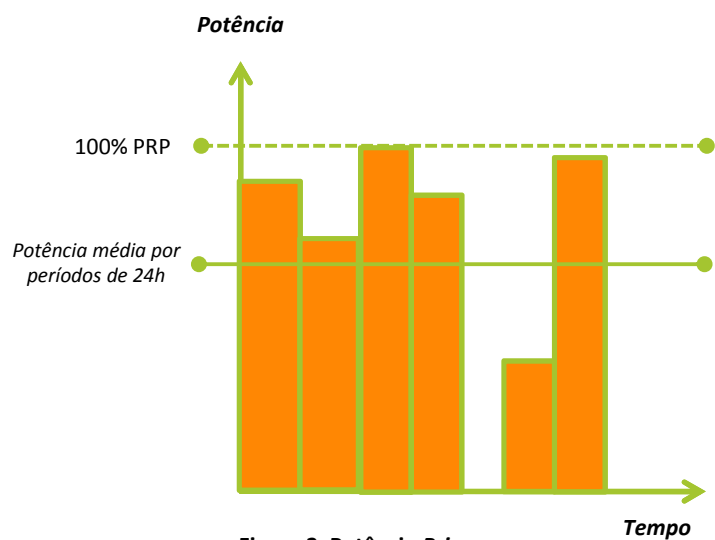
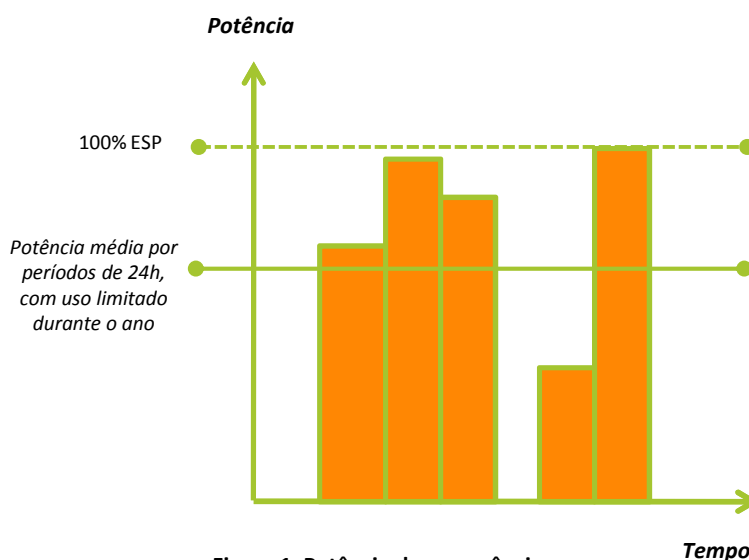
A figura 1 ilustra o significado da potência de emergência.

### - Potência Prime (PRP)

É utilizada em instalações onde a rede de distribuição não está disponível ou a mesma falha frequentemente.

É a potência máxima disponível, sob carga variável, que um grupo eletrogéneo é capaz de debitar por um número de horas ilimitadas ao ano. A potência média a cada período de 24h não deverá ser superior a 70% da potência máxima principal (salvo acordo com o fabricante do motor).

A figura 2 ilustra o significado da potência *Prime*.



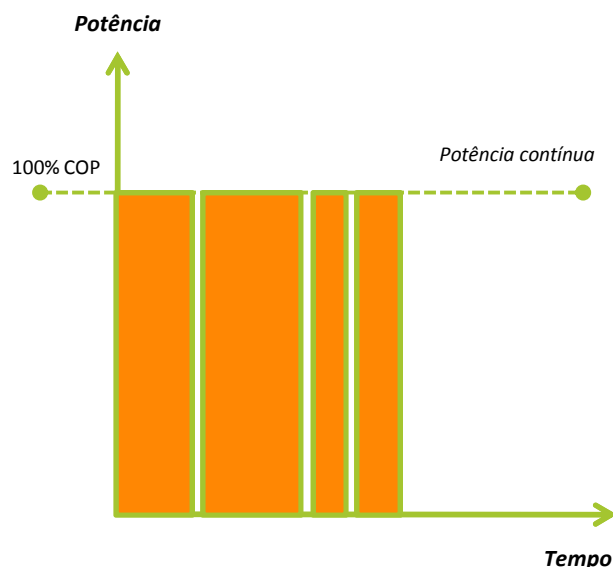
*Nota: Os fabricantes dos motores permitem uma sobrecarga de 10% (1hora a cada 12 horas), de acordo com a ISO3046.*



**- Potência Contínua (COP)**

É utilizada em situações nas quais o grupo, ou os grupos, trabalham como central produtora de energia. A potência COP está disponível por um número ilimitado de horas ao ano para alimentar cargas não variáveis. Deverão ser salvaguardados períodos de interrupção para a manutenção dos equipamentos conforme preconizado pelo fabricante.

A figura 3 ilustra o significado da potência contínua.



**Figura 3. Potência contínua**

Nota: Para todas as situações, recomenda-se uma carga mínima de 30% de forma a evitar que se verifique a vidragem das camisas dos cilindros, com os restantes problemas que daí advêm.

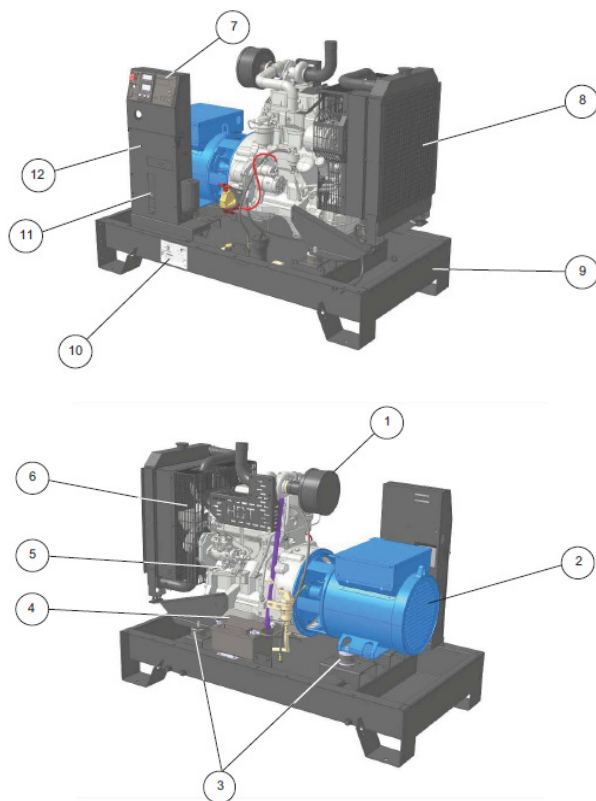
**3. Constituição de um grupo eletrogéneo**

Um G.E. pode ser instalado no interior de uma sala técnica ou no exterior. Quando instalado no interior de um edifício, o Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios especifica que os grupos não podem ser instalados numa cota inferior à do piso imediatamente abaixo do piso de referência, nem a uma altura superior a 28m.

Da mesma forma, o depósito diário de gasóleo, se instalado na sala do G.E., deve ter uma capacidade não superior a 500 litros de capacidade.

De forma a prolongar a autonomia de funcionamento, poderão ser previstas cisternas exteriores, com um sistema de trasfega de combustível. Se o comando da trasfega for automático, deverá ser prevista uma proteção de nível baixo na cisterna exterior de forma a proteger o grupo de bombagem.

Na sua essência, um grupo eletrogéneo é constituído pelos componentes indicados na figura 4.



- 1 Filtro de ar
- 2 Alternador
- 3 Apoios antivibráticos
- 4 Bateria de arranque
- 5 Motor de combustão interna
- 6 Grelha de proteção das partes quentes
- 7 Painel de comando
- 8 Radiador
- 9 Chassis
- 10 Chapa de características
- 11 Disjuntor de proteção
- 12 Armário de potência

**Figura 4. Constituição de um grupo eletrogéneo**

#### 4. Instalação em sala técnica

Iremos de seguida abordar alguns dos aspetos a ter em atenção para a instalação de um G.E. na sala técnica.

##### - Dimensões da sala

A sala deverá possuir dimensão suficiente para instalação de todos os equipamentos, nomeadamente, grupos geradores, depósitos, silenciosos de escape, baterias, armários, etc.

Deverá ser previsto um espaço livre em volta do G.E. de aproximadamente 1 metro, o qual é indispensável para efetuar a manutenção do equipamento sem obstáculos. Caso se trate de um grupo canopiado no interior de uma sala, deverá garantir-se espaço suficiente para a plena abertura das portas de acesso ao grupo.

##### - Assentamento

Um GE em funcionamento produz uma determinada quantidade de energia vibratória. Estas vibrações poderiam ser transmitidas à laje por intermédio do chassis, no entanto, dado que todos os grupos eletrogéneos SDMO possuem apoios antivibráticos entre o motor de combustão e o chassis consegue-se evitar que as vibrações se transmitam à estrutura do edifício, dispensando suportes específicos.

A laje sobre qual são assentes os grupos deverá ser suficientemente resistente para suportar o peso dos equipamentos, e deverá estar perfeitamente nivelada.

##### - Tubagem de escape

As tubagens de escape dos grupos eletrogéneos devem ser dimensionadas de forma a conduzir até ao exterior os gases de escape produzidos pela combustão do motor. No seu dimensionamento, particular atenção deverá ser dada a:

- Contrapressão máxima admissível pelo motor;
- Perda de carga do silenciador de escape;

- Perda de carga pelo traçado da tubagem e acessórios (curvas, purgas, “chapéu” final, etc...)
- Localização onde termina a tubagem, evitando-se a proximidade de janelas, varandas, paredes brancas, etc...)

A tubagem de escape deverá ter o traçado o mais curto possível assim como o menor número de curvas, de forma a limitar a perda de carga que num grupo gerador pode variar entre os 4,9 e os 9,8 kPa de perda máxima admissível.

Como critério geral, o diâmetro deverá ser no mínimo o diâmetro da saída do silenciador de escape e a velocidade dos gases não deve superar 20 m/s em contexto residencial e 40m/s em unidades fabris. De forma a assegurar a segurança das pessoas, a tubagem deverá ser isolada termicamente dado que os gases à saída do motor poderão rondar os 600°C.

Devido às vibrações características de um motor de combustão interna, bem como à dilatação da tubagem de escape após aquecimento, torna-se necessário incorporar à saída dos coletores de escape um compensador de dilatação/flexível. Desta forma, evita-se a propagação de vibrações pela tubagem, conseguindo-se menor ruído perceptível e evitando desapertos nas fixações da tubagem.

A figura 5 ilustra uma instalação de um GE em sala técnica.



Figura 5. Instalação de um grupo eletrogéneo em sala técnica

### - Ventilação da Sala Técnica

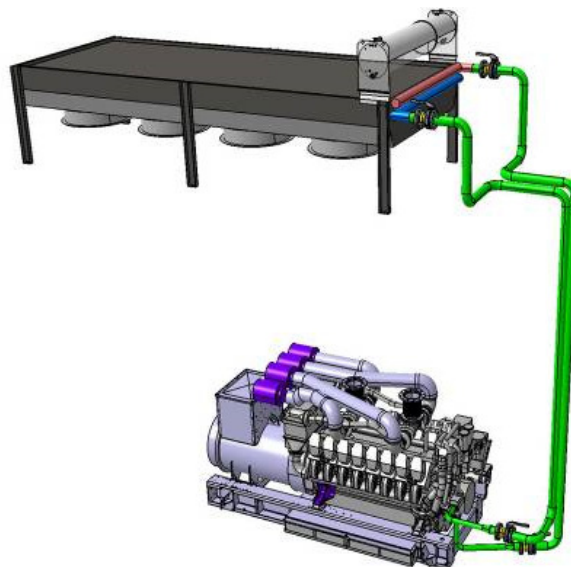
A ventilação da sala técnica tem por objetivo:

- Conduzir o ar fresco até ao motor necessário à combustão;
- Arrefecimento do radiador;
- Evacuação do ar quente irradiado pelo motor, alternador, tubagem de escape, etc.

A solução mais usual para o arrefecimento do motor é através de um radiador montado sobre o chassis e um ventilador acoplado. Este método é frequentemente considerado o sistema de arrefecimento com maior fiabilidade e com menor custo, pois requer o mínimo de equipamentos auxiliares, tubagens adicionais, líquido de refrigeração, sistemas de controlo, etc. Tipicamente, o ventilador é acionado mecanicamente pelo motor, simplificando ainda mais a instalação. Em determinadas situações poderá ser proveitoso ter um ventilador acionado eletricamente, o que permitirá um controlo da velocidade do mesmo. É uma solução particularmente interessante em climas frios, pois permite que o motor atinja a sua temperatura de funcionamento de forma mais rápida.

Podemos ter ainda outros métodos de arrefecimento, tais como permutadores de calor montados sobre o chassis com radiadores remotos. Este radiador poderá ser colocado na cobertura do edifício, ou outro local com franca passagem de ar fresco. Desta forma conseguir-se-á reduzir o caudal de ar necessário na sala técnica, obtendo menores áreas de admissão, exaustão, e menor ruído nas áreas envolventes. Dependendo da altura manométrica a que se instala o radiador, poderá ser necessário instalar, ou não, um permutador de calor. Esta é, no entanto, uma solução de elevado investimento, pelo que é usada somente em projetos especiais.

A figura 6 ilustra um exemplo de um sistema de refrigeração de um grupo eletrogéneo.



**Figura 6. Sistema de refrigeração de um grupo eletrogéneo**

O cálculo do caudal de ar de ventilação necessário dependerá da temperatura desejada no interior da sala, bem como os requisitos de operação e combustão do motor. De forma generalista, o caudal de ar necessário para arrefecimento da sala, motor e combustão será dado por:

$$V_{vent} = V_{adm\_ar} + (Q_{rad\_mot} + Q_{rad\_alt} + Q_{rad\_escp}) / (\rho_{ar} \times C_{par} \times \Delta T)$$

Em que:

$V_{vent}$  - Caudal de ar de ventilação necessário (m<sup>3</sup>/min)

$V_{adm\_ar}$  - Caudal de ar de combustão do motor (m<sup>3</sup>/min)

$Q_{rad\_mot}$  - Potência calorífica irradiado pelo motor (kWt)

$Q_{rad\_alt}$  - Potência calorífica irradiado pelo alternador (kWt)

$Q_{rad\_escp}$  - Potência calorífica irradiado pela tubagem de escape (kWt)

$\rho_{ar}$  - Densidade do ar (1,127 kg/m<sup>3</sup> a 40°C)

$C_{par}$  - Calor específico do ar a pressão constante (1,014 MJ/kg.°C)

$\Delta T$  - Aumento admissível de temperatura (°C)

O sistema deverá ser dimensionado para que a temperatura no interior da sala seja inferior a 50°C, idealmente 40°C, de forma a evitar quebras de potência do motor por admissão de ar com elevada temperatura.

Após obtermos o caudal de ar necessário, será necessário dimensionar as grelhas de admissão e exaustão para que o ar tenha uma velocidade que permita limitar a perda de carga e o nível sonoro. De uma forma geral, tenta-se respeitar uma velocidade de aproximadamente 3,5 m/s.

A figura 7 ilustra o circuito de refrigeração de um grupo eletrogéneo.

## 5. Conclusão

Como nota final, muitos outros aspetos poderiam ser abordados quanto ao dimensionamento, instalação e exploração de um grupo eletrogéneo. O principal a reter deste artigo será o facto de que devido à especificidade deste equipamento, cada instalação será sempre única e distinta das anteriores. No entanto, o fabricante/fornecedor do equipamento disporá de todas as ferramentas necessárias para prestar um apoio completo na conceção, montagem e manutenção do grupo eletrogéneo, de forma a garantir uma fonte de energia a toda a prova.

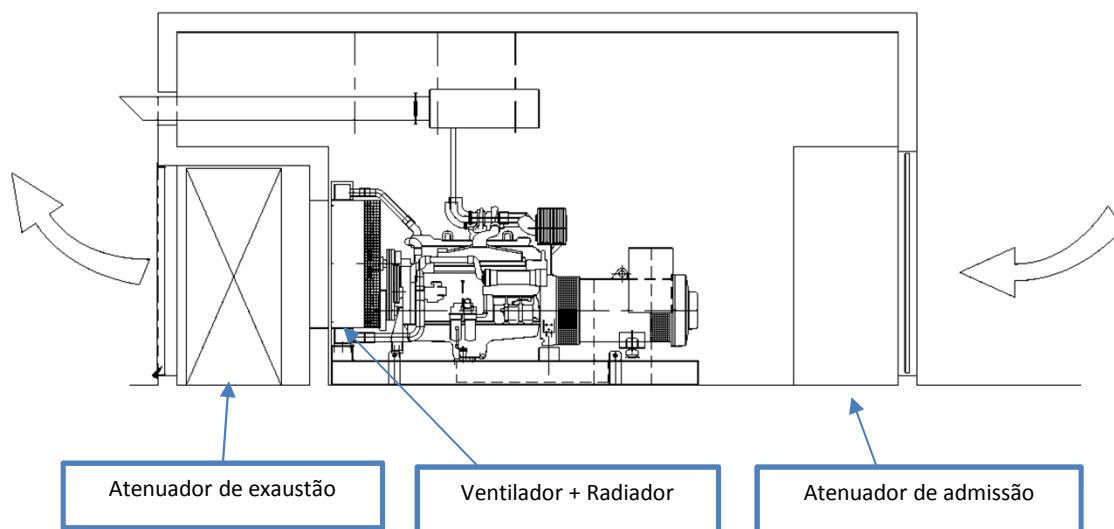


Figura 7. Circuito de refrigeração de um grupo eletrogéneo



## RESENHA HISTÓRICA DA REGULAMENTAÇÃO DE INFRAESTRUTURAS DE TELECOMUNICAÇÕES EM LOTEAMENTOS, URBANIZAÇÕES E CONJUNTOS DE EDIFÍCIOS (ITUR) EM PORTUGAL.

### 1. Preâmbulo

A sociedade atual usufrui do resultado das diversas revoluções passadas, sejam elas industriais, tecnológicas, científicas, políticas ou de pensamento. Com efeito, o quotidiano não mais foi o mesmo desde que Alexander Graham Bell anunciou ao mundo a invenção do telefone em 1876. Estavam lançadas as bases para o desenvolvimento do setor das telecomunicações e implementação de novos meios de comunicação que marcaram, irreversivelmente, o modo de vida das gerações vindouras.



Figura 1. Alexander G. Bell anunciando ao mundo a invenção do telefone em 1876

Em Portugal, um longo caminho foi percorrido pelas telecomunicações, mesmo antes da Telegrafia Sem Fios (TSF) ser uma realidade nacional. A Telegrafia Sem Fios foi precedida pela telegrafia elétrica e, ainda antes desta, pelas telegrafias semafórica e ótica.

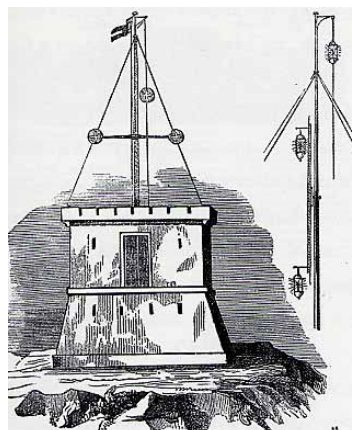
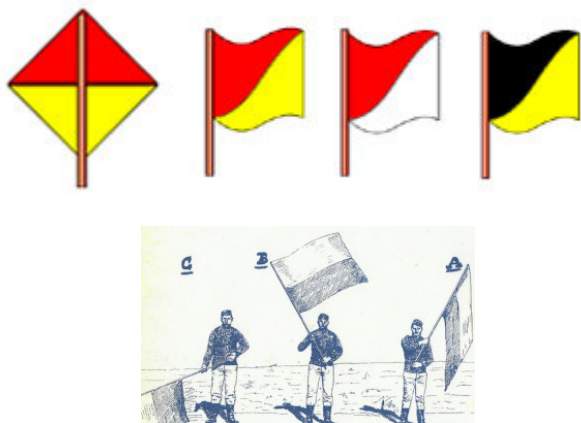


Figura 2. Telegrafia ótica e semafórica

### 2. Resenha histórica

De acordo com a Revista do “Exército e da Armada”, volume XV de 1900, a telegrafia semafórica foi criada em 1803, mas em 1810, em virtude da Guerra Peninsular, foi criada a telegrafia ótica para apoiar as comunicações militares nas linhas de Torres Vedras. Este tipo de comunicação conheceu um período de expansão (a par da telegrafia semafórica) mas acabaria por desaparecer por volta de 1855. Na década de 1830 é criado o telégrafo elétrico em que se usavam códigos para que a informação fosse transmitida de forma confiável e rápida, suportada por um sistema físico de fios.

Samuel Morse criou e registou a patente do telégrafo elétrico no ano de 1837. A 16 de Setembro de 1857, é inaugurado o telégrafo elétrico em Portugal. A telegrafia semafórica acabaria por ser incorporada neste serviço em 1867.

As primeiras experiências telefónicas em Portugal ocorreram em 1877 com a ligação entre Carcavelos e a Central do Cabo em Lisboa. Cinco anos mais tarde, em 1882, a empresa *Edison Gower Bell Telephone Company of Europe Limited*, estabeleceu-se em Lisboa e Porto para explorar a respetivas concessões de serviço telefónico. Esta concessão é em 1887

transferida para a APT – *Anglo Portuguese Telephone Company*, que detém a mesma até 1968, ano em que é criada a empresa Pública Telefones de Lisboa e Porto (TLP). Para o restante país, o serviço telefónico era explorado pelos Correios, Telégrafos e Telefones (CTT).

Em 1970 os CTT passam a estatuto de Empresa Pública e em 1989 os TLP transformam-se em Sociedade Anónima, detida integralmente pelo Estado Português. No ano de 1991, é criada a Teledifusora de Portugal (TDP), com a missão de explorar as infraestruturas de teledifusão. Em 1992, os CTT passam a Sociedade Anónima de capitais públicos. Neste mesmo ano dá-se a autonomização das telecomunicações desenvolvidas pelos CTT mediante a criação da Telecom Portugal, SA, passando os CTT a dedicar-se somente aos correios.

Assim, Portugal passou a ter a sua rede de telecomunicações explorada por 3 operadores: os TLP que exploravam o serviço telefónico nas áreas de Lisboa e Porto; a Telecom Portugal, responsável pelas restantes comunicações nacionais, Europa e Bacia do Mediterrâneo e a Marconi que assegurava o tráfego internacional.

No ano de 1994 é constituído um único operador de telecomunicações que juntou, por fusão, as empresas do setor detidas pela holding estatal CN (Comunicações Nacionais, SPGS, SA), a Portugal Telecom, SA, conhecida por PT, pela fusão da Telecom Portugal, TLP e da TDP. Entre 1995 e 2000 a PT sofre cinco fases de privatização, ficando o seu capital privatizado praticamente na totalidade.

De facto, pode-se afirmar que, de certa forma, a história das telecomunicações em Portugal se confunde com a própria história da PT

Este operador (PT) detinha praticamente todo o “know-how” referente às boas práticas de instalação de infraestruturas de telecomunicações em edifícios e, principalmente, em urbanizações e conjuntos de edifícios.

Portugal assistiu nas últimas décadas do século passado, principalmente na década de 80 e 90, a um forte

crescimento económico e tecnológico, alicerçado na construção do edificado. O setor das comunicações eletrónicas foi um dos que mais progrediu e se destacou. Da disponibilização de, praticamente, um único serviço de voz à generalidade dos clientes, foram, paulatinamente, disponibilizados outros serviços como de transmissão de dados e televisão por cabo graças à utilização de cada vez maiores larguras de banda e, ainda, ao estabelecimento de infraestruturas que permitiram oferecer esses mesmos serviços, quer se trate de infraestruturas das redes individuais, coletivas ou de exterior (loteamento).

Assimilando a experiência de instalação aos longos dos tempos, a PT foi acumulando um conjunto de normas e recomendações técnicas que auxiliassem os projetistas e instaladores na realização de projetos e na instalação das infraestruturas de telecomunicações em urbanizações. Toda essa experiência empírica foi documentada e reunido um conjunto de recomendações tendo dado origem às Normas de Instalação da rede de condutas de Telecomunicações em Urbanizações (NITU).

Este documento reuniu, assim, informação adequada para a elaboração de projetos e construção da rede de condutas de telecomunicações em urbanizações. Era da competência do Loteador/Urbanizador submeter a apreciação do projeto da rede de condutas de telecomunicações em urbanizações, após informação de viabilidade favorável. Basicamente, as infraestruturas de telecomunicações das urbanizações eram constituídas pela rede de condutas de telecomunicações cuja execução era da responsabilidade do urbanizador.

A responsabilidade pela execução da rede de cabos era definida em função da do tipo de urbanização, se fechada (condomínio fechado) da responsabilidade do urbanizador, se pública da responsabilidade do único operador existente (PT).

A elaboração do projeto de infraestruturas de telecomunicações em urbanizações era, então, assumida por entidades responsáveis, tais como Técnicos ou Empresas, inscritos na ANACOM, na especialidade de Projeto.

Porém, estas “regras” não observavam qualquer enquadramento regulamentar. Deste modo, no ano de 2009, e com a publicação do Decreto-Lei n.º 123/2009, de 21 de maio, com a devida consideração da redação conferida pelo Decreto-Lei n.º 258/2009, de 25 de setembro, estabeleceram o regime jurídico da construção, do acesso e da instalação de redes e infraestruturas de comunicações eletrónicas em edifícios e em urbanizações e conjuntos de edifícios, lançando as bases para a primeira edição das prescrições e especificações técnicas das infraestruturas de telecomunicações em loteamentos, urbanizações e conjuntos de edifícios (1ª Ed. Manual ITUR).

Os técnicos responsáveis transitaram para as associações públicas profissionais (Ordem dos Engenheiros e Ordem dos Engenheiros Técnicos), sendo estas as entidades que reconhecem os atos de engenharia na realização do projeto de infraestruturas de telecomunicações.

Esta primeira edição do Manual ITUR, não sendo uma rotura com as anteriores “normas” do NITU, observou a devida

adequação das infraestruturas às exigências das três tecnologias obrigatórias: Par de Cobre, Coaxial e Fibra Ótica.

Cinco anos após a publicação da 1.ª edição do Manual ITUR, a 2.ª edição foi aprovada por decisão da ANACOM em 20 de novembro de 2014. A referida 2.ª edição do Manual ITUR resultou de alterações introduzidas no Manual ITED (3.ª edição), bem como da normal evolução normativa europeia, que consequentemente conduziram à necessidade de adaptação das regras técnicas aplicáveis às infraestruturas exteriores aos edifícios, nomeadamente as existentes em loteamentos, urbanizações e conjuntos de edifício, conduzindo à revisão do Manual ITUR.

A edição da 2ª edição do manual ITUR resulta de alterações introduzidas no Manual ITED (3.ª edição), bem como da normal evolução normativa europeia, que consequentemente conduziram à necessidade de adaptação das regras técnicas aplicáveis às infraestruturas exteriores aos edifícios, nomeadamente as existentes em loteamentos, urbanizações e conjuntos de edifícios.

---

### CURIOSIDADE – RESPEITO PELA NATUREZA



## LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA – SISTEMAS ELÉTRICOS DE ENERGIA

A Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia forma profissionais com competências nos tradicionais domínios dos sistemas elétricos de energia, mas também em áreas emergentes como as energias renováveis, mobilidade elétrica, *smart cities*, gestão de energia e eficiência energética, telecomunicações, automação e domótica, sistemas de segurança.

O curso tem uma forte componente de formação prática e laboratorial e possibilita a realização de um estágio curricular em ambiente profissional – fatores decisivos para a integração dos seus diplomados no mercado de trabalho.

**Duração:** 6 semestres curriculares / letivos

**Grau:** Licenciado

**Total de ECTS:** 180 créditos

**Provas de ingresso:** 19 Matemática e 07 Física e Química

**Regime de funcionamento:** Horários: diurno e pós-laboral

**Áreas gerais de empregabilidade:** Produção, transporte e distribuição e comercialização de energia elétrica, eficiência energética e gestão de energia, certificação energética de edifícios, projeto, execução e exploração, orçamentação: instalações elétricas, telecomunicações, sistemas de segurança, automação, domótica e Gestão técnica centralizada, eletromecânica, manutenção de instalações: industriais, comerciais, hospitalares,... atividades técnico-comerciais: fabricantes, distribuidores, ensino e formação.



### Competências profissionais OE/OET:

Técnico responsável pelo Projeto, Execução e Exploração de Instalações elétricas. (Sem formação complementar).

Técnico Responsável pelo Projeto e Execução de Infraestruturas de Telecomunicações – ITED/ITUR. (Mediante formação habilitante complementar (ANACOM)).

Peritos Qualificados em Certificação Energética. (Mediante formação habilitante complementar/exame (ADENE)).

Projetista de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE). (Mediante formação habilitante complementar (ANPC)).



## DETEÇÃO DE INCÊNDIOS EM TÚNEIS RODOVIÁRIOS.



### Resumo

Incêndios em Túneis rodoviários podem ter custos brutais não só em perdas de vidas humanas como também nos custos de operação e de reparação do túnel!

Na maioria dos casos a libertação de fumos é a principal causa de morte pela inalação de gases tóxicos, muito à frente dos problemas causados por queimaduras devido ao incêndio.

Os convencionais cabos térmicos detectam o incêndio por variação de temperatura mas com grande atraso quando comparados com detectores de fumo *Fireguard*.

### 1. Generalidades

Em 1999, a ocorrência de um fogo num camião no túnel de Montblank (Itália- França), provocou a morte de 41 pessoas e teve prejuízos de cerca de 900 milhões devido a interrupção do túnel e aos trabalhos de manutenção.

Em 2001, devido a uma colisão de camiões no túnel de Gothard na Suíça , 11 pessoas morreram e os custos foram de 11 milhões de euros.

Em 2008, um fogo num camião de químicos no Eurotúnel (Inglaterra - França) teve um prejuízo de 260 milhões.

Na maioria dos incidentes em túneis rodoviários, a principal causa de morte é por inalação de gases tóxicos e não por temperatura.

As principais causas destes incidentes são devidos a sobreaquecimento dos motores, a falhas no sistema de travagem, falhas nos turbocompressores, pneus defeituosos, que originam grande libertação de fumo, tornando a visibilidade drasticamente reduzida. Nestas condições, os detetores lineares de temperatura não respondem porque só funcionam com fogo aberto e por variação de temperatura, e os sistemas de vídeo são pouco eficazes porque emitem falsos alarmes devido à falta de contraste e à reflexão de luz devido à imensa nuvem de fumo.

A necessidade de instalar detetores de fumo está bem enfatizada na legislação de vários países, em especial documentada pela FEDRO - entidade rodoviária Suíça.

Os detetores de fumo devem ser distanciados de cerca de 100m, não devem emitir mais do que um falso alarme por ano, e não devem ter interferências devido a nevoeiro.

## 2. Sistema Fireguard

O *Fireguard* está instalado, com sucesso, desde 2007 em milhares de pontos em vários túneis, nomeadamente o de Gothard e Montblank, deteta fumos pelo princípio de “*back scatter light*”, tem extrema fiabilidade e requer mínimo de manutenção.

A figura 1 mostra um sistema de deteção de fumo *Fireguard*.



Figura 1. Sistema de deteção de fumo *Fireguard*

Para além da deteção de fumo, o *Fireguard* pode incorporar detetor de temperatura e assim verificar se existe só libertação de fumos ou se também incêndio.

Testes feitos com fogo real numa viatura e com o *Fireguard* a 62,5m e outro a 125m de distância mostram a grande diferença no tempo de deteção de incêndio em comparação com o cabo térmico.

A figura 2 mostra os resultados de um ensaio de fogo real realizado numa viatura, com detetores *Fireguard* e cabo térmico linear.

A linhas verticais 1 e 2 marcam o mínimo tempo possível de alarme baseado na velocidade do vento e na distância dos detetores *Fireguard* a 62,5m e a 125m da viatura.

A linha horizontal pontuada marca o nível estabelecido para o alarme.

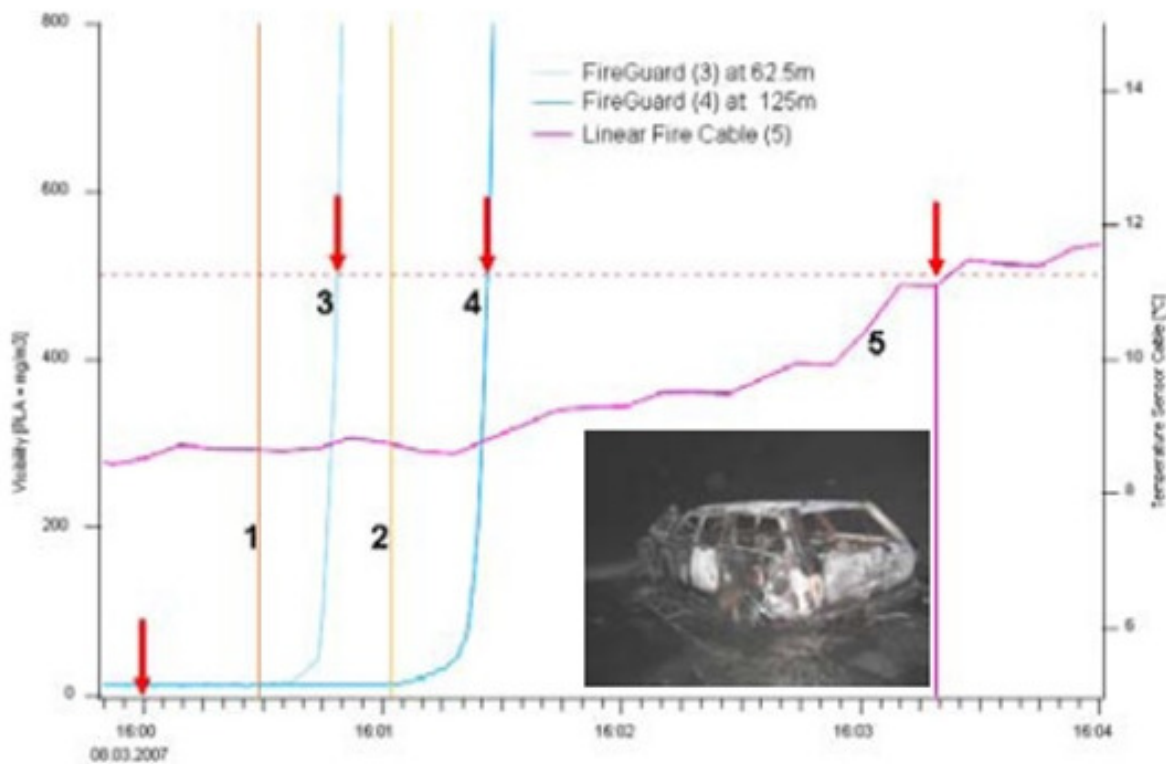


Figura 2. Ensaio de fogo real realizado numa viatura com detetores *Fireguard* e cabo térmico linear

As linhas 3 e 4 mostram o aumento de intensidade do sinal do *Fireguard* para ambos os detetores.

O alarme foi atuado nos 2 *Fireguard* após 20 segundos.

No cabo térmico o alarme só é dado após 3 minutos – só depois de haver já fogo aberto.

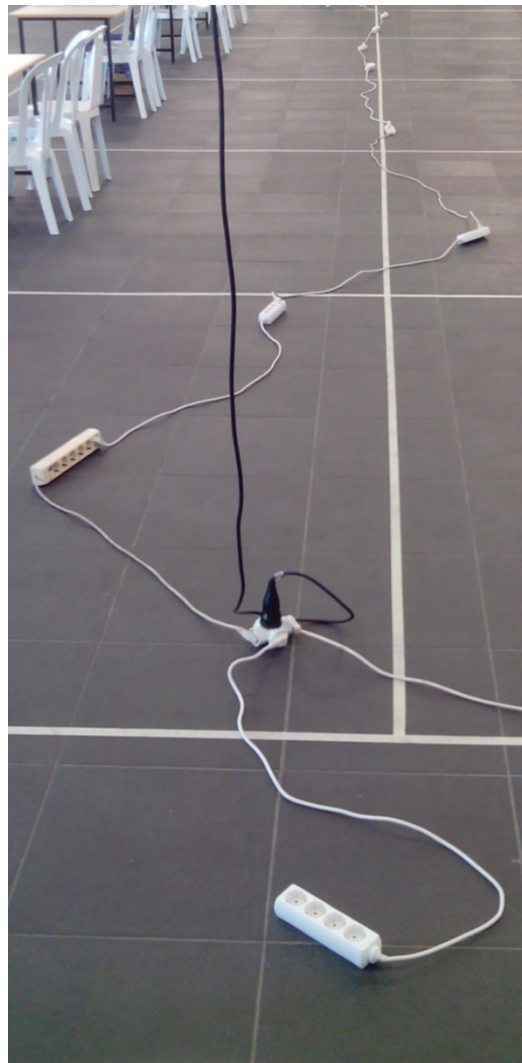
### 3. Observações finais

O *Fireguard* está instalado com sucessores em milhares de pontos em túneis na Europa e representa a solução atual mais segura para a deteção precoce de incêndios.



---

### Curiosidade:



**S+****SCHMITT+SOHN  
ELEVADORES**

# ELEVADORES

O elevador modificou a arquitectura. E a arquitectura por sua vez inspirou-nos a criar um design inovador. Claro na forma e na função. Qualidade máxima para uma arquitectura exigente.



[www.schmitt-elevadores.com](http://www.schmitt-elevadores.com)



**REDUZA A SUA FATURA DE ELETRICIDADE E POUPE DINHEIRO.****COMO OPTAR PELO MELHOR COMERCIALIZADOR DE ENERGIA.**

**Resumo:** O presente artigo tem como principal objetivo, orientar o leitor e consumidor de energia elétrica a reduzir a sua faturação energética. Focando-se no mercado liberalizado de energia e em assuntos relacionados com o mesmo, será abordado o processo de decisão da escolha do comercializador de energia mais adequado a cada tipo de perfil. Serão ainda abordados neste artigo, alguns aspetos relevantes, que podem fazer com que o consumidor de energia economize.

**Palavras-chave:** Mercado Liberalizado, faturação energética, Simulações.

**I. MERCADO LIBERALIZADO**

Mercado liberalizado (ML), classifica-se como sendo o regime, que permite a livre concorrência nos mercados de eletricidade e gás. Possibilitando o aparecimento de vários comercializadores de energia e uma maior escolha por parte dos consumidores [1]. A grande diferença entre o ML e o mercado regulado é o facto de no ML os preços serem estipulados por cada comercializador, enquanto, que no regulado são estabelecidos pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) e praticados pela EDP [2].

O processo iniciou-se a 4 de setembro de 2006. A totalidade dos clientes de energia elétrica em Portugal continental passaram a poder efetivamente escolher o seu fornecedor de eletricidade e a 1 de Janeiro de 2013 já não era possível assinar contrato no mercado regulado.

Segundo o resumo informativo publicado pela ERSE em Dezembro de 2014, globalmente, o mercado liberalizado de eletricidade fechou 2014 com 3,56 milhões de clientes. No mercado regulado ainda estavam 2,52 milhões [3]. O peso do mercado livre no total de eletricidade consumida em Portugal é de 83% [3]. Este valor tende a aumentar, uma vez que os consumidores em regime regulado com potência contratada até 10,35 kVA, têm um período transitório que vigorará, apenas até 31 de dezembro de 2015.

**II. MERCADO IBÉRICO DE ELETRICIDADE**

A liberalização do mercado de eletricidade em Portugal, surgiu em meados de 2006, como consequência de um seguimento de implementações recomendadas pelo parlamento europeu, e, deste modo, à semelhança do que estava a decorrer na Europa e ao mesmo tempo que o processo de liberalização espanhol. Portugal e Espanha aliaram-se no Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL), estando esta plataforma ao seu dispor desde 1 de julho de 2007 [4].

A união de Portugal e Espanha num mercado único, o MIBEL, trouxe alguns impactos, um dos quais foi a aproximação de preços de mercado entre estes dois países. Verifica-se que a partir de 2007, houve uma aproximação dos preços entre os mercados de Portugal e Espanha, sendo que, a partir de 2009 Portugal consegue energia elétrica aproximadamente ao mesmo preço que a Espanha, havendo atualmente uma diferença entre os preços considerada residual. O gráfico 1 representa a evolução do preço dos mercados, de Portugal e Espanha, desde o início da entrada de Portugal no MIBEL até 2011 [5].

**Gráfico 1. Evolução do mercado do MIBEL**

### III. EMPRESAS A OPERAR NO MERCADO DE ELETRICIDADE

Com a abertura do mercado da energia a vários comercializadores, o leque de escolha aumentou. A operar no mercado da eletricidade estão empresas como a EDP Comercial, ENAT, ENFORCESCO, Galp Power, Gold Energy, HEN, Iberdrola Generación, LUZBOA E Union Fenosa Comercial [6].

### IV. COMO OPTAR PELO MELHOR COMERCIALIZADOR

Com o objetivo de ajudar o consumidor, a DECO e a ERSE, assim como alguns comercializadores de eletricidade, fornecem um simulador online, que determina o comercializador mais adequado ao consumidor. É expectável que os simuladores de entidades comercializadoras favoreçam a sua marca. O consumidor insere dados como potência contratada, consumo médio mensal, tipo de tarifa e comercializador atual. O simulador, conforme o perfil em análise, identifica o melhor comercializador e por vezes a poupança com a nova entidade.

No presente artigo foram simulados alguns perfis típicos de consumo e uma possível previsão da opção de melhor comercializador de eletricidade. Na tabela 1 e 2, estão apresentados os resultados para cada perfil simulado através do simulador disponibilizado pela DECO [7].

#### 1) Perfil 1:

- Habitantes: 1Pessoa;
- Potência contratada: 6.9 kW;
- Consumo médio mensal: 50 kWh;
- Tarifa: Simples.

#### 2) Perfil 2:

- Habitantes: Casal+filho;
- Potência contratada: 6.9kW;
- Consumo médio mensal: 175 kWh;
- Tarifa: Simples.

#### 3) Perfil 3:

- Habitantes: Casal+3filhos;
- Potência contratada: 10.35kW;
- Consumo médio mensal: 300 kWh;
- Tarifa: Bi-horária.

#### 4) Perfil 4

- Habitantes: 8Pessoas;
- Potência contratada: 13.8 kW;
- Consumo médio mensal: 400 kWh;
- Tarifa: Simples.

**Tabela I. Resultados das simulações**

	Perfil 1		Perfil 2	
Potencia Contratada KW	6,9		6,9	
Consumo Mensal kWh	50		175	
Tarifa	Simples		Simples	
Preço Mercado Regulado	€ 285,58 por Ano		€ 580,23 por Ano	
Class.	Menor Custo	Escolha económica Deco	Menor Custo	Escolha económica Deco
Preço Mercado Liberalizado por Ano	YLCE (simples) 252,74€	GALP ON Online (simples) 265,63€	YLCE (simples) 528,08€	IBERDROLA Plano Casa Conect@ (simples) 558,65€
Poupa por Ano	32,84 €	19,95 €	52,15 €	21,58 €

**Tabela II. Resultados das simulações**

	Perfil 3		Perfil 4	
Potencia Contratada KW	10,35		13,8	
Consumo Mensal kWh	150 vazio   150 ponta		400	
Tarifa	Bio-Horário		Simples	
Preço Mercado Regulado	€ 871,66		€ 1 244,97	
Class.	Menor Custo	Escolha económica Deco	Menor Custo	Escolha económica Deco
Preço Mercado Liberalizado por Ano	YLCE (bi horária) 806,47€	EDP Casa Click (bi horária) 855,01€	YLCE (simples) 1130,73€	IBERDROLA Plano Casa Plus (simples) 1196,8€
Poupa por Ano	65,19 €	8,33 €	114,24 €	48,17 €

## V. ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES

Após a simulação de alguns perfis típicos de consumidores de energia, através dos simuladores da DECO e ERSE [8], verifica-se que atualmente o comercializador de energia elétrico mais barato é a YLCE.

YLCE "Yes, Low Cost Energy" com sede na Covilhã, é a marca comercializada pela Enforcesco S.A, que passou a operar em julho de 2013. Tal como o nome sugere, a YLCE é uma empresa que se dedica a venda de eletricidade em modo *low cost*. A YLCE compra energia ao mesmo preço que as outras entidades, tendo o mesmo custo na distribuição da mesma pelas redes elétricas, contudo, diferencia-se na redução dos custos operacionais.

Para manter os preços de operação mais reduzidos, e, assim conseguir uma oferta mais competitiva, a empresa portuguesa investiu em tecnologia que permite o mínimo de trabalho manual, investimento em infraestruturas e espaço físico. Provavelmente, este facto, justifica a razão, pela qual a YLCE, ser a única comercializadora que tem como restrição a de os seus clientes contratualizarem com a empresa apenas por via eletrónica, incluindo a faturação que também chega aos clientes do mesmo modo. Segundo João Nuno Serra, CEO da Enforcesco "O mercado diário onde adquirimos energia (OMIE) permite a todos os operadores aprovisionarem energia a preços muito similares. A diferença está nos custos operacionais e de estrutura que impactam na tarifa praticada" [9].

Contudo, o barato às vezes sai caro. Efetivamente a YLSE lidera com os preços mais baixos no mercado da eletricidade em Portugal, no entanto o contacto pessoal e profissional, poderá não ser igual ao que o consumidor está habituado com outras entidades mais conhecidas. Surge a dúvida, se a redução nos custos operacionais aplicados pela YLCE, não causam impacto na relação com o cliente. É possível verificar no site "portaldaqueixa.com" que existem algumas reclamações relativas a assistência da YLCE, sobre pedidos efetuados por clientes que não foram correspondidos.

Na hipótese, da desconfiança na recente empresa YLCE, a DECO, em resposta às simulações, dá uma sugestão.

Sugestão essa que não é a mais económica, mas sim, classificada pela DECO como um "produto de boa qualidade".

## VI. TIPO DE TARIFA

Com escolha do comercializador de energia, cabe ao consumidor também decidir que tipo de tarifa mais se adequa ao ser perfil. Mediante a tarifa escolhida pelo consumidor, simples, bi-horário ou tri-horário existe uma tarifação diferente. Dentro da tarifa bi-horária e tri-horária existem ainda dois ciclos optativos pelo consumidor, ciclo semanal e ciclo diário. O ciclo semanal caracteriza-se por uma definição dos períodos horários em três categorias - dias úteis, sábados e domingos. O ciclo diário não faz distinção entre os dias úteis e os fins-de-semana, nem para períodos de Verão e Inverno. Existe um período horário igual para todos os dias da semana.

A escolha do tipo tarifa é feita consoante o diagrama de carga do consumidor.

Nas alíneas que se seguem, são apresentados os horários fornecidos pela ERSE que distinguem horas de ponta, cheias e vazio para cada tarifa [10].

É de salientar que para a tarifa simples não há distinção de períodos de consumo. O consumidor paga o mesmo valor €/kWh a qualquer hora do dia.

Ciclo Diário:

### a) Tarifa Bi-Horário

Ciclo diário bi-horário para BTN em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
Fora de Vazio:	08.00/22.00 h	Fora de Vazio:	08.00/22.00 h
Vazio:	22.00/08.00 h	Vazio:	22.00/08.00 h

### b) Tarifa Tri-Horária

Ciclo diário tri-horário para BTN em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
Ponta:	09.00/10.30 h 18.00/20.30 h	Ponta:	10.30/13.00 h 19.30/21.00 h
Cheias:	08.00/09.00 h 10.30/18.00 h 20.30/22.00 h	Cheias:	08.00/10.30 h 13.00/19.30 h 21.00/22.00 h
Vazio:	22.00/08.00 h	Vazio:	22.00/08.00 h

Ciclo Semanal:

c) Tarifa Bi-Horário

Ciclo semanal bi-horário em Portugal Continental	
Período de hora legal de Inverno	Período de hora legal de Verão
De segunda-feira a sexta-feira	
Fora de Vazio: 07.00/24.00 h	Fora de Vazio: 07.00/24.00 h
Vazio: 00.00/07.00 h	Vazio: 00.00/07.00 h
Sábado	
Fora de Vazio: 09.30/13.00 h 18.30/22.00 h	Fora de Vazio: 09.00/14.00 h 20.00/22.00 h
Vazio: 13.00/18.30 h 22.00/09.30 h	Vazio: 14.00/20.00 h 22.00/09.00 h
Domingo	
Vazio: 00.00/24.00 h	Vazio: 00.00/24.00 h

d) Tarifa Tri-Horária

Ciclo semanal tri-horário em Portugal Continental	
Período de hora legal de Inverno	Período de hora legal de Verão
De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta: 09.30/12.00 h 18.30/21.00 h	Ponta: 09.15/12.15 h
Cheias: 07.00/09.30 h 12.00/18.30 h 21.00/24.00 h	Cheias: 07.00/09.15 h 12.15/24.00 h
Vazio: 00.00/07.00 h	Vazio: 00.00/07.00 h
Sábado	
Cheias: 09.30/13.00 h 18.30/22.00 h	Cheias: 09.00/14.00 h 20.00/22.00 h
Vazio: 13.00/18.30 h 22.00/09.30 h	Vazio: 14.00/20.00 h 22.00/09.00 h
Domingo	
Vazio: 00.00/24.00 h	Vazio: 00.00/24.00 h

Apostar na tarifa bi-horária é uma forma rápida de começar a poupar. Para isso, é necessário que parte dos consumos sejam deslocados para os horários de vazio. Programando alguns eletrodomésticos, como por exemplo, máquinas de lavar roupa/loia e aquecimento central, será possível a mesma a utilização a um menor custo.

Após uma análise, verifica-se que a partir da altura, que cerca de 35% do consumo é efetuado em horas de vazio, a tarifa bi-horária é financeiramente mais vantajosa. Contudo, quando essa percentagem é baixa (menos que 35%), a tarifa simples é mais vantajosa.

Em relação á tarifa tri-horária, quando comparada com a bi-horária, verifica-se que os horários de vazio são exatamente iguais mas, enquanto no bi-horário há o horário fora de vazio, no tri-horário este divide-se em horário de ponta e cheias.

Em relação a grandeza €/kWh, verifica-se que nas horas de cheias a tarifa tri-horária é ligeiramente mais barata em relação à tarifa simples e à bi-horária. Por outro lado, o preço por kWh nas horas de ponta é superior, pelo que a tarifa tri-horária é vantajosa para consumos muito reduzidos neste horário.

## VII. CONCLUSÃO

Conclui-se com o presente artigo, que a liberalização do mercado elétrico representa um fenómeno evolutivo, de questões económicas e sociais. O mercado liberalizado tem evoluído ao longo dos anos e cada vez mais o consumidor de energia tem em seu poder numerosas opções de escolha. Verificou-se que na eletricidade o preçário encontra-se equiparado, no entanto surgem algumas discrepâncias.

Este artigo é focado no mercado liberalizado de eletricidade, contudo em paralelo com a evolução deste mercado anda o mercado do gás natural. O leitor, consumidor e interessado no mercado liberalizado deve ponderar a sua escolha no caso de ser consumidor de gás natural.

Foram também discutidos assuntos relativos a tipos de tarifa. Conclui-se que a escolha de tipo de tarifa e ciclo deve ser ponderada consoante o perfil do utilizador. Má escolha do tipo de tarifário, pode trazer prejuízos superiores, do que a má escolha do comercializador.

## REFERÊNCIAS

[1] CORREIA, Susana – Sessões de esclarecimento para consumidores. Olhão: DECO, 2013.

[Consult. 10 Fev. 2015].

Disponível na internet:

<URL:<http://www.cmolhao.pt/municipio/documentos/category/156-comunicacao?download=992:liberalizacao-do-mercadoenergetico>>.



- [2] EDP. Área de apoio ao cliente - Liberalização do mercado de eletricidade e gás [Em linha]. Portal EDP [Consult. 12 Fev. 2015].  
Disponível na internet:  
<URL:<http://www.edp.pt/pt/particulares/informacoesut eis/Pages/ALiberalizacao.aspx>>.
- [3] Entidade Reguladora dos serviços energéticos – Resumo Informativo: Mercado Liberalizado de Eletricidade. ERSE, 2014.  
[Consult. 17 Fev. 2015].  
Disponível na internet:  
<URL:[http://www.erse.pt/pt/electricidade/liberalizaao d osector/informacaosobreomercadoliberalizado/2014/Co municados/201412\\_ML\\_elec\\_ResInf.pdf](http://www.erse.pt/pt/electricidade/liberalizaao d osector/informacaosobreomercadoliberalizado/2014/Co municados/201412_ML_elec_ResInf.pdf)>.
- [4] GALP. Área de apoio ao cliente - O Negócio da Eletricidade em Portugal [Em linha]. Portal GALP [Consult. 20 Fev. 2015].  
Disponível na internet:  
<URL: <http://www.galpenergia.com/PT/agalpenergia/os-nossos-negocios/Gas-Power/Power/Paginas/Negocio-da-electricidade-em-Portugal.aspx>>.
- [5] SANTOS, Vitor – A regulação do setor energético. Apresentação realizada na FEUC: ERSE, 2012.  
[Consult. 2 Fev. 2015].  
Disponível na internet:  
<URL:[https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s &source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCAQFjAA &url=http%3A%2F%2Fwww.uc.pt%2Fefs%2Fdocs%2FSES \\_2012%2FVitorSantos\\_ERSE\\_maio2012&ei=3O0aVbGUKs z0UqmSg9gB&usg=AFQjCNHnwn1- ewaArIJ4Un6GKFsmTFp5nQ&bvm=bv.89381419,d.d24](https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s &source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCAQFjAA &url=http%3A%2F%2Fwww.uc.pt%2Fefs%2Fdocs%2FSES _2012%2FVitorSantos_ERSE_maio2012&ei=3O0aVbGUKs z0UqmSg9gB&usg=AFQjCNHnwn1- ewaArIJ4Un6GKFsmTFp5nQ&bvm=bv.89381419,d.d24)>.
- [6] ERSE. Área de apoio ao cliente - Comercializadores para Clientes domésticos [Em linha]. Portal ERSE [Consult. 22 Fev. 2015].  
Disponível na internet:  
<URL<http://www.erse.pt/pt/electricidade/agentesdosect or/comercializadores/Paginas/Clientesnaodomicos.as px>>.
- [7] Entidade Reguladora dos serviços energéticos – Simulador ERSE. ERSE, 2015.  
[Consult. 15 Mar. 2015].  
Disponível na internet:  
<URL:<http://www.erse.pt/pt/electricidade/simuladores/ simuladoresdecomparacaodeprecosomercado/Paginas/ simuladordecomparacaodeprecosembtntparaportugalcon tinenta.aspx>>.
- [8] ANEXO, 1100356\_1100367.xlsx, Resultados\_ERSE.
- [9] YLCE-“Yes, Low Cost Energy”. Notícia RTP, 02'05".  
Disponível em:  
<https://www.youtube.com/watch?v=JxMiB0PCyJw>.  
[Consult. 1 Mar. 2015].
- [10] ERSE. Área de apoio ao cliente - Ciclo Horário [Em linha]. Portal ERSE [Consult. 5 Mar. 2015].  
Disponível na internet:  
<URL:[http://www.erse.pt/consumidor/electricidade/que rosercliente/tenholigacaoarede/Documents/Documento \\_CiclosHor%C3%A1rios\\_Electricidade.pdf](http://www.erse.pt/consumidor/electricidade/que rosercliente/tenholigacaoarede/Documents/Documento _CiclosHor%C3%A1rios_Electricidade.pdf)>.

Este trabalho foi desenvolvido de acordo com o programa da unidade curricular de Aplicações Informáticas em Sistemas Eléctricos (APLIN), do mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia (MEESEE). J. Ferreira como docente, L. Rodrigues e P. Pereira, estudantes do Instituto Superior de Engenharia do Porto – Instituto Politécnico do Porto (ISEP/IPP), Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto, Portugal (e-mail: 1100356@isep.ipp.pt / 1100367@isep.ipp.pt).



## SMART CITY.

### O FUTURO JÁ ACONTECE.

#### I. INTRODUÇÃO

Águeda recebeu formalmente no passado mês de Março o Selo de SMART CITY assim como o prémio de inovação no que ao apoio á internacionalização das suas empresas diz respeito e ao empreendedorismo que sempre demonstrou neste processo de desenvolvimento sustentável que já decorre no concelho á alguns anos.

Mais do que uma SMART CITY, Águeda quer ser uma HUMAN SMART CITY onde a tecnologia é utilizada para servir as pessoas. Os pilares principais deste projeto assentam:

- Governação
- Mobilidade / Acessibilidades
- Desenvolvimento Económico
- Imagem de Marca
- Ambiente / Sustentabilidade
- Inovação

#### II. PLANO DIRETOR DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A definição e especificação de aplicação de soluções energeticamente eficientes para a iluminação pública em municípios, que se pretendem inovadores, eficazes e energeticamente eficientes começa por um Bom Plano.

Tudo começa por um bom cadastro georreferenciado, traçar as medidas a aplicar no sentido de obter um serviço diferenciado seja por locais, horas ou fatores exteriores ao regular funcionamento da Iluminação Pública.

Neste Plano podemos definir os critérios mais importantes para cada Município sendo que alguns serão provavelmente comuns, tais como:

- Hierarquia Viária
- Tipos de Iluminação Existente
- Morfologia Urbana
- População

- Sinistralidade Rodoviária
- Níveis / Classes de Iluminação
- Modelos de Luminárias
- Temperatura de Cor
- Perfis de Funcionamento
- Aplicações de Sensores

A Soneres empresa de capitais 100% nacionais, presente no mercado desde 1959, apresenta uma família completa de produtos pensados para este tipo de aplicações. Estas soluções asseguram níveis de desempenho global sem precedentes, sem comprometer as questões económicas, uma vertente importante no âmbito deste projeto com um retorno de investimento muito atrativo.

É pois na exigência técnica que a Soneres tem a sua vantagem competitiva. A parceria de I&D com fornecedores de excelência na área dos LEDs e lentes óticas (líderes mundiais) permite colocar no mercado soluções de eficiência sem precedentes para a iluminação pública – o que aconteceu em Abril de 2009 pela primeira vez – na primeira Rua LED em Portugal (Pombal).

#### III. LUMINÁRIAS E TECNOLOGIAS PROPOSTAS

A Soneres apresenta diversos modelos de luminárias com tecnologia LED e VSAP com balastros eletrónicos de duplo-nível e multinível, bem como sistemas de telegestão, com vista ao cumprimento de medidas de eficiência energética.

##### Tecnologia LED



**Luminária LUSA**

para utilização em zonas com perfil preponderantemente viário, urbano ou rural, dotada de diferentes curvas de distribuição fotométrica e potências.

Recomendável para instalações com apoios de 4 a 10 metros de altura.

**Luminária Fosteri**

Para a substituição direta de luminárias existentes tipicamente em praças e jardins, apresentam-se os mesmos conceitos de iluminação Radial ou Axial, neste caso a LED.

Recomendável para instalações de 4 a 6 metros de altura.

**Luminária Village**

Finalmente, com o intuito de permitir a substituição de luminárias utilizadas em centros históricos (lanternas), apresenta-se o modelo Village. Este modelo procura manter o traço original, ao mesmo tempo que assegura níveis elevados de eficiência energética e fotométrica.

Recomendável para instalações de 4 a 6 metros de altura.

As luminárias LED, podem ser equipadas com driver de alimentação com “dimming” para incorporação em sistemas de Telegestão, ou para sistemas “Stand- Alone”

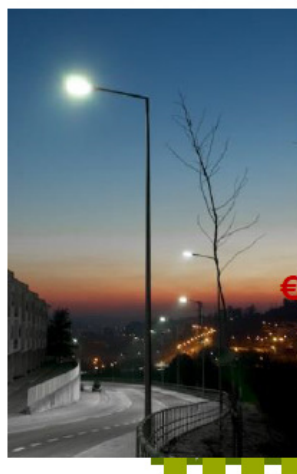
Todos os modelos apresentados encontram-se homologados na EDP para uso corrente nas redes de iluminação pública nacional.

**Sistema Telegestão**

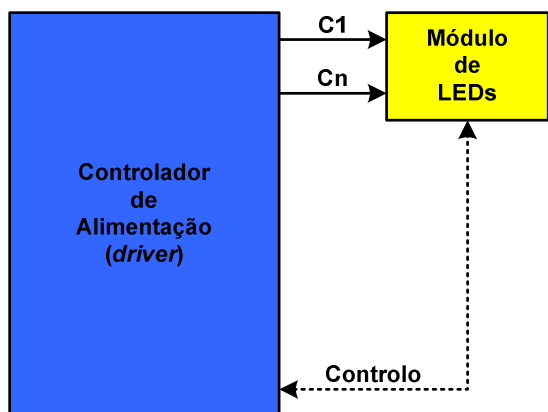
Os avanços tecnológicos na iluminação pública com tecnologia LED e os balastros eletrónicos trouxeram-nos para uma nova realidade, permitindo estas tecnologias com unidades eletrónicas, a possibilidade de gerir e controlar a iluminação, possibilitando reduções significativas nos custos operacionais.

O controlador é uma unidade eletrónica que utiliza rádio frequência (RF) como tecnologia de comunicação, para integração em luminárias LED ou luminárias com lâmpadas de descarga e balastros eletrónicos dimáveis. Este dispositivo permite uma regulação inteligente do fluxo, assim como a monitorização e controlo dos equipamentos.

Com este sistema pretende-se responder às principais necessidades da iluminação com soluções que apresentem uma poupança energética cerca de 50% face ao cenário base sem comprometer a qualidade de serviço prestada.

**IV. DESCRIÇÃO GERAL**

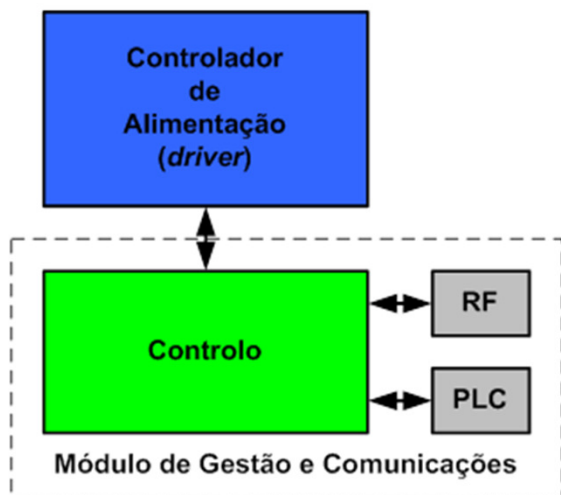
O driver de alimentação e o módulo controlador encontram-se separados fisicamente do compartimento do módulo de LEDs. Estes foram desenhados e concebidos para assegurarem a correta dissipação de calor gerado em funcionamento. A imagem seguinte ilustra o esquema do controlador de alimentação simplificado previsto.



**Múltiplos canais de alimentação**

Em relação ao módulo de gestão e comunicações, este poderá estar dotado de interface RF.

A imagem seguinte ilustra o esquema simplificado previsto.



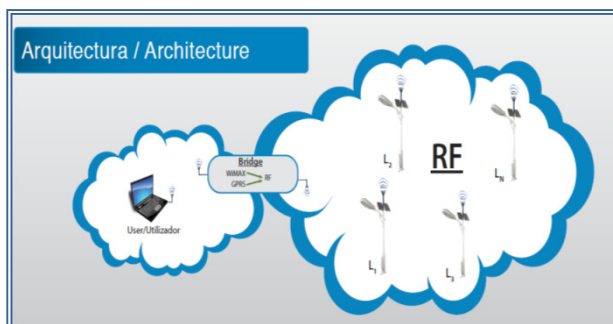
Estes módulos foram concebidos de acordo com as normas EN62384 (que regulamenta os equipamentos de controlo eletrónico para alimentação AC ou DC dos módulos de LED) e EN61347-2-13 (que regulamenta os requisitos particulares aplicáveis a equipamentos de controlo eletrónico para alimentação AC ou DC dos módulos de LED). Estão igualmente de acordo com o disposto nas normas ISO/IEC 14908, ANSI/CEA-709.1 e normas relacionadas para o desenvolvimento, fabrico e utilização de interoperabilidade aberta multifornecedor/multimarca de sistemas de gestão, utilização e controlo.

**Benefícios**

- Regulação de fluxo de 0 a 100% em passos de 1%;
- Comunicações sem fios do tipo RF (868 MHz), com capacidade de integração de luminárias em rede (evita a utilização de condutores adicionais);
- Interface para os protocolos DALI e DMX;
- Possibilidade de receção de comandos por infravermelhos;
- Calendário com programação de perfis horários;
- Entradas para sensores de presença e luminosidade;
- Entrada para interligação de periférico GSM/GPRS para interação remota;
- Medição do consumo e temperatura;

Em termos funcionais, o controlador de alimentação encontra-se equipado com correção ativa do fator de potência, assegurando, nas condições nominais de funcionamento (carga máxima) um fator de potência superior a 0,95. Para uma regulação de fluxo da ordem de 50% do mesmo, o valor do fator de potência não irá baixar dos 0,80. De modo a garantir a necessária resiliência a avarias, o controlador tem saídas para múltiplas séries de LEDs.

**Arquitetura**



### Visualização de páginas por país

---

Portugal	13862
Estados Unidos	2219
Brasil	958
Alemanha	286
Angola	124
Rússia	109
Reino Unido	102
França	72
Espanha	67
Andorra	61



## COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



**André Filipe Pereira Ponte**

**1110433@isep.ipp.pt**

Frequenta o Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia (MEESEE) no Instituto Superior de Engenharia do Porto – Instituto Politécnico do Porto (ISEP/IPP), tendo completado o grau de licenciatura em Engenharia de Sistemas (LES) no ISEP em 2013/2014. As suas áreas de interesse estão vocacionadas para sistemas inteligentes aplicados a redes elétricas de energia (Smart Grids).



**António Augusto Araújo Gomes**

**aag@isep.ipp.pt**

Mestre (pré-bolonha) em Engenharia Eletrotécnica e Computadores, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Professor do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 1999. Coordenador de Obras na CERBERUS - Engenharia de Segurança, entre 1997 e 1999. Prestação, para diversas empresas, de serviços de projeto de instalações elétricas, telecomunicações e segurança, formação, assessoria e consultoria técnica.



**António Carlos Sepúlveda Machado e Moura**

Natural do Porto (1950), é licenciado (1973) e doutorado (1984) em Engenharia Eletrotécnica pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

Desenvolveu trabalho de investigação na *Direction des Études et Recherches* da *Electricité de France* (EDF), para a preparação do grau de Doutor (1979-82).

Professor Catedrático da FEUP desde Novembro de 1991. É membro eleito do Conselho de Departamento de Engenharia Eletrotécnica e Computadores e do Conselho Científico da FEUP.

Promoveu a criação, instalação e montagem do Laboratório de Alta Tensão (LAT) da FEUP.

Tem dedicado particular atenção aos problemas relativos à produção de energia elétrica por recurso a fontes renováveis, em especial a energia hidroelétrica.

Membro efetivo da Ordem dos Engenheiros, assume as funções de Presidente do Colégio Nacional de Engenharia Eletrotécnica para o mandato de 2013-2016.

Colabora com a Agência de Avaliação e Acreditação do Ensino Superior (A3ES) na área da Engenharia Eletrotécnica e Computadores, tendo participado em diversas Comissões de Avaliação Externa (CAE).



**Carlos Valbom Neves**

**c.neves@tecnisis.pt**

Com formação em Engenharia Eletrotécnica, pelo Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, e licenciatura em Gestão de Empresas, tendo colaborado com a FESTO, PHILIPS, ABB – Asea Brown Boveri, Endress&Hauser e TECNISIS. É especialista em Instrumentação, Controle de Processos Industriais e em Sistemas de Aquecimento e Traçagem Elétrica. Tem cerca de 25 anos de experiência adquirida em centenas de projetos executados nestas áreas. Vive no Estoril, em Portugal.

### TECNISIS

Tecnisis é especialista em Sistemas de extinção automática de incêndios, em instrumentação industrial, em sistemas para zonas perigosas ATEX e em medição de visibilidade e deteção de incêndios em túneis rodoviários. A Tecnisis tem 25 anos de atividade em Portugal com milhares de aplicações em todos os segmentos da indústria.

[www.tecnisis.pt](http://www.tecnisis.pt)

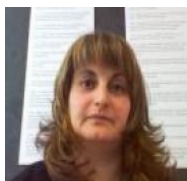


**José Carlos P. Cerqueira**

**1140189@isep.ipp.pt**

Frequenta o Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia (MEESEE) no Instituto Superior de Engenharia do Porto no Instituto Superior de Engenharia do Porto – Instituto Politécnico do Porto (ISEP/IPP), tendo completado o grau de licenciatura em Engenharia Eletrotécnica na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) em 2013/2014. As suas áreas de interesse estão vocacionadas para as energias renováveis sistemas inteligentes aplicados à gestão de equipamentos de redes elétricas de energia.

## COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



**Maria Judite Madureira Da Silva Ferreira**

**mju@isep.ipp.pt**

Diretora e docente na licenciatura de Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia (LEE-SEE) no Instituto Superior de Engenharia do Porto – Instituto Politécnico do Porto (ISEP/IPP). As suas áreas de investigação são relacionadas com Redes Elétricas.



**Luís Miguel Pereira da Costa Rodrigues**

**1100356@isep.ipp.pt**

Frequenta o Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia (MEESEE) no Instituto Superior de Engenharia do Porto – Instituto Politécnico do Porto (ISEP/IPP). As suas atividades de pesquisa atuais estão focadas em Wireless Power.



**Mário André da Silva Fonseca**

**1140191@isep.ipp.pt**

Frequenta o Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia (MEESEE) no Instituto Superior de Engenharia do Porto no Instituto Superior de Engenharia do Porto – Instituto Politécnico do Porto (ISEP/IPP), tendo completado o grau de licenciatura em Engenharia Eletrotécnica na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) em 2013/2014. As suas áreas de interesse estão vocacionadas para as energias renováveis e sistemas inteligentes aplicados à gestão de equipamentos de redes elétricas de energia.



**Nelson José Domingues Machado Gonçalves**

**negoncalves@autosueco.pt**

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Engenharia, pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Desde agosto de 2009 que desempenha funções na Auto Sueco, na Direção de Equipamentos Industriais, no apoio técnico e comercial à representação de grupos eletrogéneos.



**Auto Sueco**

Empresa do grupo NORS, é responsável pela representação em Portugal de veículos pesados da marca Volvo, motores industriais e marítimos da Volvo Penta e soluções de energia da SDMO.



**Paulo Gonçalves**

**paulo.goncalves@exporlux.pt**

Bacharelato e Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas de Energia, Instituto Superior de Engenharia do Porto. Pós-Graduação em Gestão de Vendas, Escola de Gestão do Porto.

De 1985 a 1988, Empregado de Armazém / Atendimento ao Público, DIODO, LDA. De 1988 a 1997, Técnico Comercial / Gestor de Produto, CASA DAS LAMPADAS, LDA. De 1997 a 2011, Técnico Comercial / Gestor de Negócio, SCHREDER – Iluminação, SA. Desde 2011, Diretor Coordenador Comercial, EXPORLUX – Iluminação, SA.



**Pedro Miguel Azevedo de Sousa Melo**

**pma@isep.ipp.pt**

Mestre em Automação, Instrumentação e Controlo pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Aluno do Programa Doutoral em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Docente do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 2001. Desenvolveu atividade de projetista de instalações elétricas de BT na DHV-TECNOPOP.



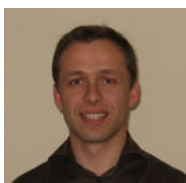
## COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



**Pedro Miguel Lopes Pereira**

**1100367@isep.ipp.pt**

Frequenta o Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia (MEE-SEE) no Instituto Superior de Engenharia do Porto – Instituto Politécnico do Porto (ISEP/IPP). As suas áreas de investigação são relacionadas com Smart Grids



**Rui Paulo Ramos De Castro**

**rrc@isep.ipp.pt**

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto e Mestre em Gestão de Ciência, Tecnologia e Inovação pela Universidade de Aveiro. Atualmente, frequenta o Doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e Computadores na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Docente do Instituto Superior de Engenharia do Porto na área de Sistemas de Elétricos de Energia e Especialista em Eletricidade e Energia do Departamento de Engenharia Eletrotécnica. Desenvolve o seu trabalho na área de projetos de instalações elétricas de média e baixa tensão bem como em infraestruturas de telecomunicações, tendo uma atividade regular no âmbito de projetos, de consultoria técnica e cooperação com empresas do sector.

Investigador do Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão.



**Sérgio Filipe Carvalho Ramos**

**scr@isep.ipp.pt**

Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, na Área Científica de Sistemas Elétricos de Energia, pelo Instituto Superior Técnico de Lisboa. Aluno de doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores no Instituto Superior Técnico de Lisboa. Docente do Departamento de Engenharia Eletrotécnica do curso de Sistemas Elétricos de Energia do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 2001. Prestação, para diversas empresas, de serviços de projeto de instalações elétricas, telecomunicações e segurança, formação, assessoria e consultadoria técnica. Investigador do GECAD (Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão), do ISEP, desde 2002.

