



IMPACTO GERADO NA REDE ELÉTRICA PELA SMART LIGHTING

JORGE MANUEL BRAGA SIMÕES

Julho de 2022

IMPACTO GERADO NA REDE ELÉTRICA PELA *SMART LIGHTING*

Jorge Manuel Braga Simões



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2022

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

Candidato: Jorge Manuel Braga Simões, Nº 1040207, 10410207@isep.ipp.pt

Orientação científica: José António Beleza Carvalho, jbc@isep.ipp.pt

Coorientação científica: Renata Correa Nieto, renata.nieto@mackenzie.br



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2022

Agradecimentos

Presto aqui homenagem e agradecimento a todos aqueles que direta ou indiretamente participaram desta jornada.

Em especial:

À minha mãe que sempre esteve ao meu lado, apoiando-me e incentivando-me, sem nunca medir esforços no intuito de me proporcionar um ensino de qualidade.

Aos meus orientadores, Professor José Beleza Carvalho (ISEP) e Professora Renata Correa Nieto (UPM), que conduziram a concretização deste trabalho com paciência e dedicação, sempre disponíveis a compartilhar o seu tempo e conhecimento.

Ao Engenheiro Gustavo Gollan pela disponibilidade e colaboração na realização deste trabalho.

Resumo

A versatilidade, durabilidade, robustez, eficiência e possibilidade de associação a sistemas de controlo de iluminação, Smart Lighting, para dimerização da intensidade da luz proporcionada pela tecnologia *LED* tornou-a na fonte de luz mais usada nos dias de hoje.

Apesar da aparente menor amplitude de potência, há contribuição harmónica produzida por estes equipamentos, não devendo ser desconsiderada dada a sua influência na qualidade da energia eléctrica. Assim, à luz da norma IEC 61000-3-2, analisa-se os conteúdos harmónicos gerados por diversos equipamentos de iluminação em cenários distintos e com a associação de sistemas de dimerização.

Palavras-Chave

IEC 61000-3-2. LED. Harmónicos. Qualidade de energia. Iluminação Inteligente. Stand-by.

Abstract

The versatility, durability, robustness, efficiency and possibility of association with lighting control systems, Smart Lighting, for dimming the light intensity provided by LED technology has made it the most used light source today.

Despite the apparent lower power amplitude, the presence of harmonic contribution by these equipment should not be disregarded given their influence on the electric power quality. Thus, in light of the IEC 61000-3-2 standard, harmonic contents generated by different lighting equipment are analysed in different scenarios and associated with dimming systems.

Keywords

Keywords: IEC 61000-3-2. LED. Harmonics. Power quality. Smart Lighting. Stand-by.

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
SIGLAS E ACRÓNIMOS	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO.....	4
1.2.OBJETIVOS	6
1.3.CALENDARIZAÇÃO.....	6
1.4.ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	6
2. REVISÃO DA LITERATURA	9
2.1.SMART CITY, SMART HOME E SMART LIGHTING	9
2.2. LED	13
2.3.DRIVER	15
2.4.CONTROLO.....	18
2.5.STAND-BY	19
2.6.QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA	22
2.7.NORMA IEC 61000 – COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA – PARTE 3	24
3. METODOLOGIA	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5. CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXO A. ANÁLISE DAS FONTES DE ALIMENTAÇÃO	61
ANEXO B. RELATÓRIO DO DRIVER DE MARCA 1 ON/OFF	63
ANEXO C. RELATÓRIO DO DRIVER DE MARCA 2 ON/OFF	65
ANEXO D. RELATÓRIO DO DRIVER DE MARCA 1 1-10V	67
ANEXO E. RELATÓRIO DO DRIVER DE MARCA 1 DALI	69

ANEXO F. RELATÓRIO DO DRIVER DE MARCA 2 DALI	71
ANEXO G. RELATÓRIO DO DRIVER DE MARCA 3 DALI.....	73
ANEXO H. RELATÓRIO DO DRIVER DE MARCA 4 DALI.....	75

Índice de Figuras

Figura 1 - Composição de <i>LED SSL</i>	14
Figura 2 - Distribuição espectral relativa	14
Figura 3 - Comparação de eficiência de diferentes fontes de luz	15
Figura 4 - Diagrama de blocos básico de um driver	17
Figura 5 – Consumo em <i>stand-by</i> por equipamentos de iluminação inteligentes	19
Figura 6 – Consumo anual de iluminação inteligente com operação de 1hora/dia	20
Figura 7 – Consumo anual de iluminação inteligente com operação de 2horas/dia	21
Figura 8 - Onde deformada pelas componentes harmônicas	23
Figura 9 - Ilustração dos ângulos de fase e parâmetros de corrente a seguir em b)2	29
Figura 10 - Circuito para ensaio de equipamentos de fase única	31
Figura 11 - Fonte de alimentação CA programável de precisão	33
Figura 12 - Bancada de testes (vista superior e inferior)	34
Figura 13 - Fluxograma para determinação de conformidade da norma <i>IEC 61000-3-2</i>	35
Figura 14 - Análise dos limites máximos de V_h/V_1	38
Figura 15 - Correntes harmônicas vs limites nos drivers <i>DALI</i> e 1-10V	41
Figura 16 - Correntes harmônicas vs limites nos drivers <i>On/Off</i>	42
Figura 17 – Gráficos da corrente vs tensão de cada driver	43
Figura 18 – Dist. de ângulos de fase quando a 100% para harmônicos de ordem 3	45
Figura 19 – Dist. de ângulos de fase quando a 100% para harmônicos de ordem 5	45

Figura 20 – Dist. de ângulos de fase quando a 100% para harmônicos de ordem 7	46
Figura 21 – Dist. de ângulos de fase quando a 100% para harmônicos de ordem 9	46
Figura 22 – Dist. de ângulos de fase quando a 100% para harmônicos de ordem 11	47
Figura 23 – Dist. de ângulos de fase quando em <i>stand-by</i> para harmônicos de ordem 3	47
Figura 24 – Dist. de ângulos de fase quando em <i>stand-by</i> para harmônicos de ordem 5	48
Figura 25 – Dist. de ângulos de fase quando em <i>stand-by</i> para harmônicos de ordem 7	48
Figura 26 – Dist. de ângulos de fase quando em <i>stand-by</i> para harmônicos de ordem 9	49
Figura 27 – Dist. de ângulos de fase quando em <i>stand-by</i> para harmônicos de ordem 11	49

Índice de Tabelas

Tabela 1	Calendarização do projeto	6
Tabela 2	Limites para equipamentos de Classe D	28
Tabela 3	Características nominais dos drivers sujeitos aos ensaios	34
Tabela 4	Análise de qualidade da onda de tensão e frequência	37
Tabela 5	Resultados das medições harmónicas segundo os limites indicados em b)1	38
Tabela 6	Resultados das medições harmónicas segundo os limites indicados em b)3	40
Tabela 7	Ângulo de fase de corrente dos drivers a 100%	44
Tabela 8	Ângulo de fase de corrente dos drivers dimerizáveis em <i>stand-by</i>	44
Tabela A-1	Razão entre tensão harmónica de ordem h e a tensão eficaz	61
Tabela B-1	Relatório de análise do Driver de Marca 1 <i>On/Off</i> a 100%	63
Tabela C-1	Relatório de análise do Driver de Marca 2 <i>On/Off</i> a 100%	65
Tabela D-1	Relatório de análise do Driver de Marca 1 1-10V a 100%	67
Tabela D-2	Relatório de análise do Driver de Marca 1 1-10V em <i>stand-by</i>	68
Tabela E-1	Relatório de análise do Driver de Marca 1 <i>DALI</i> a 100%	69
Tabela E-2	Relatório de análise do Driver de Marca 1 <i>DALI</i> em <i>stand-by</i>	70
Tabela F-1	Relatório de análise do Driver de Marca 2 <i>DALI</i> a 100%	71
Tabela F-2	Relatório de análise do Driver de Marca 2 <i>DALI</i> em <i>stand-by</i>	72
Tabela G-1	Relatório de análise do Driver de Marca 3 <i>DALI</i> a 100%	73
Tabela G-2	Relatório de análise do Driver de Marca 3 <i>DALI</i> em <i>stand-by</i>	74

Tabela H-1 Relatório de análise do Driver de Marca 4 <i>DALI</i> a 100%	75
Tabela H-2 Relatório de análise do Driver de Marca 4 <i>DALI</i> em <i>stand-by</i>	76

Siglas e Acrónimos

CA	–	Corrente Alternada
CC	–	Corrente Contínua
CCR	–	Redução de Corrente Contínua
EMC	–	Compatibilidade Eletromagnética
EPS	–	<i>External Power Supply</i>
EUT	–	<i>Equipment Under Test</i>
FP	–	Factor de Potência
G	–	Tensão de Circuito Aberto da Fonte de Alimentação [V]
h	–	Ordem do Harmónico
I_1	–	Corrente Eficaz da Onda Fundamental [A]
IEC	–	<i>International Electrotechnical Commission</i>
I_h	–	Corrente Eficaz com Componente Harmónica de Ordem h [A]
I_{pico}	–	Corrente de Pico [A]
LED	–	<i>Light Emitting Diode</i>
lm	–	Lúmen
lm/W	–	Lúmen/Watt
M	–	Equipamento de Medição
N/A	–	Não Aplicável

Θ_p	–	Ângulo de Pico de Tensão [°]
P	–	Potência Ativa [W]
$POHC$	–	Corrente Harmónica Parcial de Ordem Ímpar (A)
$POHC_{LIM}$	–	Limite Máximo de Corrente Harmónica Parcial de Ordem Ímpar (A)
PWM	–	Modulação de Largura de Pulso
RMS	–	Valor Eficaz
S	–	Fonte de Alimentação
$SMPS$	–	<i>Switched Mode Power Supply</i>
THC	–	Corrente Harmónica Total (A)
THD_I	–	Distorção Harmónica Total de Corrente (%)
THD_V	–	Distorção Harmónica Total de Tensão (%)
TWh	–	Terawatt-hora
U	–	Tensão de Ensaio [V]
V_1	–	Tensão Eficaz da Onda Fundamental [V]
V_h	–	Tensão Eficaz com Componente Harmónica de Ordem h [V]
$V_{m\acute{a}x}$	–	Tensão de Pico [V]
W	–	Watt
Z_M	–	Impedância de Entrada do Equipamento de Medição [Ω]
Z_S	–	Impedância Interna da Fonte de Alimentação [Ω]

1. INTRODUÇÃO

Em 1882, a lâmpada incandescente de Thomas Edison foi uma das primeiras aplicações comerciais da energia elétrica, quando iluminou a Wall Street (NY, EUA) e um punhado de clientes privilegiados (INSTITUTE FOR ENERGY RESEARCH, 2021).

A energia elétrica aplicada à iluminação tornou-se então o primeiro serviço oferecido pelas concessionárias de energia e representa, segundo dados de 2017, 16,5% (aproximadamente 2.900TWh) de toda a eletricidade consumida no mundo (ZISSIS et al., 2021), sendo mais de 30% consumida apenas pelo sector residencial, de acordo com estimativas da *IEA* (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2006).

Dado o pequeno volume de novas construções, grandes economias de energia elétrica em iluminação só poderão ser alcançadas através da atualização/reforma do parque de imóveis existente. Deste, cerca de 75% são consideradas instalações de iluminação desatualizadas (com mais de 25 anos). Comparativamente às instalações existentes, a maioria das novas instalações apresenta facilmente níveis de eficiência pelo menos três vezes superior (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - SHC, 2015).

Deste modo, é possível perceber que o consumo de energia elétrica pela iluminação tem um enorme potencial de economia, principalmente pelo uso da tecnologia *SLL* (*Solid State Light* ou luz de estado sólido, em português), com níveis de eficiência que chegam, em alguns casos, aos 210lm/W, e ao uso de sistemas de controlo de iluminação, podendo reduzir o consumo de energia elétrica em até 60% (ALMEIDA et al., 2014).

Hoje, com o advento da Internet das Coisas (*IoT*), o mercado das chamadas casas inteligentes (*Smart Homes*) está em franca expansão, com previsão de chegar a 2025 com uma penetração no mercado doméstico mundial de 21,4%. No segmento referente à iluminação inteligente (*Smart Lighting*), no mesmo período, há a previsão que atinja 13,3% de penetração (STATISTA, 2021). Ou seja, mais da metade das casas inteligentes terão sistemas dedicados ao controlo da iluminação.

Apesar da redução do consumo de energia esperado em instalações elétricas deste tipo, há a preocupação de que os custos de infraestrutura da rede elétrica aumentem devido ao facto de se tratar de uma carga do tipo não linear com elevado conteúdo harmónico que pode resultar no aumento das correntes de distribuição, afetando o fator de potência, e criando por sua vez um aumento na demanda (ELECTRICAL INDIA, 2015).

A utilização de fontes de luz do tipo *LED* (*Light Emitting Diode* ou díodo emissor de luz, em português) teve um crescimento expressivo nos últimos anos, passando de uma quota de mercado de apenas 5% em 2013, para ser, à data de hoje, a fonte de luz mais usada em novas instalações e na atualização/reforma das existentes, representando quase 50% do mercado global de vendas e com previsão de atingir 100% antes do ano de 2030 (THIBAUT ABERGEL, 2021).

A sua alta eficiência, chegando a consumir cerca de 75% menos energia do que as tradicionais lâmpadas incandescentes, vida útil prolongada, podendo chegar a mais de 150.000h, design compacto e adaptável, variedade de cores, facilidade de dimerização e o facto de ser amigo do ambiente, são algumas das principais razões para esta tendência.

Apesar de todas estas características, uma luminária/lâmpada *LED* é tão boa quanto o seu driver. Este é um dispositivo eletrónico que faz a interface entre a fonte de alimentação elétrica (rede 220Vac 50/60Hz) e o *LED* (carga em corrente contínua regulada). Além de converter a energia para alimentar o *LED*, há aqueles com funções adicionais que permitem o controlo preciso da luz emitida e/ou com suporte à iluminação inteligente.

O driver é uma carga não linear, do tipo reativa. Assim, pode provocar picos e distorções na forma de onda da corrente, que deveria ser sinusoidal, interferindo na qualidade da energia elétrica da rede de distribuição a que está conectado. Não confundir qualidade de energia com qualidade de iluminação. A primeira diz respeito aos aspetos técnicos de operação do sistema de distribuição de energia, como forma de onda o mais próxima possível da

sinusoidal pura e amplitude definida, bem como a qualidade da energia entregue aos consumidores finais. A segunda refere-se principalmente ao conforto visual percebido pelo usuário.

A presença destas cargas não lineares e respectivas distorções harmônicas pode causar vários problemas como, redução do fator de potência (FP), superaquecimento dos condutores de neutro e dos enrolamentos dos transformadores de distribuição – aumentando as perdas do sistema –, desarme de fusíveis e disjuntores em níveis de energia inferiores àqueles para que a linha foi dimensionada, falha ou mau funcionamento dos equipamentos de geração e distribuição de energia, fenômenos de ressonância nas baterias de condensadores usados para corrigir o fator de potência das redes de distribuição e interferência com circuitos de comunicação, etc. (POURARAB et al., 2015)

Entende-se, portanto, que o controle da qualidade de energia é de suma importância para a eficiência do sistema elétrico, fazendo-se necessária, por parte dos órgãos públicos, a regulamentação e limitação dos valores de FP e de distorção harmônica total (*THD*) das luminárias/lâmpadas *LED*.

O FP é a relação entre potência efetivamente consumida para realizar trabalho (potência ativa) e a potência fornecida (potência aparente). No caso dos drivers para *LED*, devido a elementos reativos, como condensadores e indutores, é consumida uma potência reativa adicional além da potência realmente exigida pelo *LED*, elevando assim o valor da potência fornecida. O valor do FP é tanto melhor quanto mais próximo estiver de 1, momento em que as formas de onda da corrente e tensão estão mais próximas. À medida que o FP diminui, mais energia é desperdiçada na forma de energia reativa.

A *THD* costuma estar associada a problemas de baixo FP, caracterizando-se pela medição da distorção da forma de onda da corrente causada por cargas não lineares. Caso dos drivers para *LED* que podem distorcer a forma de onda da corrente e reduzir o FP, criando assim a distorção harmônica. A distorção harmônica também pode ocorrer quando a carga recebe uma corrente cuja forma de onda está distante de uma senoide pura. O valor de *THD* é tanto melhor quanto mais próximo de zero e, de modo a controlá-lo, faz-se uso de circuitos de correção de fator de potência (*PFC*) nos drivers para *LED*, que têm a função de moldar a corrente de entrada (LIGHTING MANUFACTURER, 2018).

A grande desvantagem técnica dos drivers que permitem o controlo da luz emitida pelo *LED* é o grande número de componentes eletrónicos que o constituem. Somado a isso, há o facto de a utilização de equipamentos para controlo de iluminação alterar a performance geral do sistema, tanto quando opera a plena carga bem como quando exerce dimerização, podendo ser de difícil previsão (PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY, 2014).

Dado o exposto, torna-se cada vez mais importante a medição e quantificação precisa da ordem dos harmónicos e do fator de potência, não apenas para determinar a conformidade com as normas e regulamentações, mas também para auxiliar na mitigação dos seus efeitos nocivos.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A iluminação *LED* é hoje a fonte de luz mais eficiente, aumentando consideravelmente a cada ano a sua penetração no mercado mundial de vendas relativas a fontes de luz, em parte, pela adoção de políticas de banimentos de lâmpadas convencionais, menos eficientes, em cada vez mais países. Em 2020, representou já quase 50% das vendas e espera-se que alcance os 76% em 2025 (STATISTA, 2021).

Dadas as características intrínsecas dos *LED*, quando associado a sistemas *Smart Lighting*, também eles em franco crescimento, torna-se possível o controlo preciso de cores, intensidade de fluxo luminoso e a criação de cenários. Estas características associadas à perspectiva de diminuição do consumo de energia elétrica, são outros dos motivos pela rápida penetração no mercado.

Porém, a substituição de tecnologias de iluminação antiquadas como a fluorescente e a incandescente para a moderna iluminação *LED* cria a necessidade de gerenciar cuidadosamente a qualidade da luz e da energia elétrica.

Apenas nos últimos anos começaram a surgir mais trabalhos onde se destaca a componente harmónica emitida pelas lâmpadas e luminárias *LED* (RAMLJAK; TOKIĆ, 2019). Nos primeiros anos os estudos eram focados no design, redução do volume do sistema, questões térmicas, confiabilidade etc.

Assim, estudos de emissão harmónica começam a ser considerados com mais atenção pelos fabricantes de lâmpadas e luminárias que tentam implementar circuitos eletrónicos mais eficientes, confiáveis e com menores contribuições harmónicas (VERMA et al., 2016).

O uso de sistemas de controlo de iluminação para obter os níveis desejados de fluxo luminoso, entre muitas outras funcionalidades permitidas hoje pela *Smart Lighting*, parecem aumentar a distorção harmónica, excedendo-se os valores indicados nas normas técnicas, podendo assim afetar a qualidade da energia nas linhas de distribuição (UDDIN et al., 2012). A simples adoção destes, mantendo o fluxo máximo da fonte de luz, já alteram os valores de distorção harmónica quando comparados com a situação em que não existe sistema de controlo e a fonte de luz é operada pelo tradicional interruptor *On/Off* (MAURO et al., 2016).

Contudo, faltam estudos nesta área, haja vista que a maioria deles se foca apenas na dimerização por fase, a qual modula a largura de pulso da tensão da rede (alternada), retificando-a para poder alimentar e variar a luz emitida pelo *LED*. É uma técnica semelhante à usada para controlar as tradicionais lâmpadas incandescentes, tendo sofrido algumas mudanças de forma a poder ser usada com as fontes de luz *LED*, mas que nem sempre se traduz numa boa performance, tanto do ponto de vista lumínico como no que à qualidade da energia diz respeito (UDDIN et al., 2012).

Há que considerar ainda a função *stand-by* em que podem ser mantidos os equipamentos de iluminação inteligentes. O consumo de energia neste estado pode, em alguns casos, ser superior à energia consumida nos estados em que se produz efetivamente luz. Este é, p. ex., um problema semelhante àquele que ocorreu no passado com as televisões.

O Dr. Peter Bennich, presidente do Comité de Gestão do *Solid State Light Annex* e representante da Agência de Energia Sueca, afirma que “Os decisores políticos que analisam os produtos de iluminação estão preocupados que esses equipamentos inteligentes possam criar novos e elevados níveis de consumo de energia em *stand-by* nas residências. Preocupamos que estes recursos inteligentes possam diminuir alguns dos ganhos obtidos com a eficiência energética da tecnologia *LED*.” (KOFOD, 2016).

Não obstante, alguns estudos indicam que há casos em que o uso de diferentes tipos de luminárias (de potência e fabricantes diferentes) podem reduzir o impacto e intensidade da distorção harmónica da instalação, devido à ocorrência de harmónicos de ângulo de fase de corrente opostos que se anulam, reduzindo assim a magnitude da distorção harmónica (AKILA; YOUSSEF; YASSIN, 2017 & RAMLJAK; TOKIć, 2019).

Devido ao rápido crescimento de sistemas de iluminação *LED* associados a sistemas de controlo inteligentes, faz-se necessário avaliar o impacto na qualidade da energia que estas

tecnologias poderão trazer para o sistema elétrico (IQBAL et al., 2020 & TARABA et al., 2019).

1.2. OBJETIVOS

O principal objetivo é analisar o impacto das fontes de luz dimerizáveis, *Smart Lighting*, na rede elétrica.

Como objetivos específicos temos:

- Analisar e comparar luminárias *LED*;
- Analisar equipamentos de controlo de iluminação analógicos e digitais;
- Realizar ensaios laboratoriais para aferição dos valores de fator de potência e de distorção harmónica em lâmpadas/luminárias com e sem sistema de controlo de iluminação;
- Aferir a conformidade com a norma vigente *IEC 61000-3-2*.

1.3. CALENDARIZAÇÃO

A calendarização deste trabalho de dissertação é apresentada na Tabela 1, abaixo:

Tabela 1 Calendarização do projeto

ACTIVIDADES	MÊS				
	1	2	3	4	5
Estudo do estado de arte de <i>LED</i> , drivers e sistemas de controlo	X	X			
Ensaio laboratorial de equipamentos de iluminação		X	X		
Avaliar resultados em relação à norma <i>IEC 61000-3-2</i>			X	X	
Discussão e possíveis soluções				X	X
Conclusão, revisão e entrega final					X

1.4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

No Capítulo 1 é feita a introdução ao tema objeto desta dissertação, contextualizando-o e indicando o problema que se pretende estudar e avaliar. No capítulo seguinte, 2, é realizada a pesquisa bibliográfica referente aos conceitos de *Smart City*, *Smart Home* e *Smart Lighting*,

abordando-se ainda as características da iluminação *LED*, do funcionamento em *stand-by*, das harmónicas e seus efeitos no sistema de distribuição, indicando e analisando o estado da arte, funcionamento e constituição dos diferentes tipos de drivers usados para alimentar cargas *LED*, tais como o *SMPS* chaveado/comutado e o linear, os diferentes tipos de sistemas de controlo, analógico e digital e ainda os aspetos mais relevantes da norma *IEC 61000-3-2* (2020). No Capítulo 3 indica-se a metodologia adotada nos ensaios laboratoriais de vários equipamentos de iluminação disponíveis, sendo que no Capítulo 4 se quantifica a influência de cada um na qualidade de energia, analisando também a diferença desta com a eficiência energética e comparados à luz da norma *IEC 61000-3-2* (2020). No último capítulo, o 5º, são reunidas as principais conclusões, indicando-se também possíveis soluções para o futuro.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. SMART CITY, SMART HOME E SMART LIGHTING

2.1.1. SMART CITY

Hoje, 78% da energia produzida no mundo é consumida nas cidades, onde cerca de 54% da população mundial vive. Em 2050, cerca de 66% da população mundial habitará nas cidades, expectando-se também o aumento no consumo de energia. Assim, à medida que as cidades crescem, os desafios que elas representam – ambientais, econômicos e sociais – crescem com elas. Porém, as cidades são também centros de diversidade e inovação, podendo tornar-se igualmente fonte de soluções.

É nesse contexto de renovação que surge o conceito de *Smart City* (Cidade Inteligente, em português), onde se usam avanços recentes em comunicações e tecnologias digitais, compartilhamento e análise de dados e design inteligente para tornar as cidades mais habitáveis, resilientes, economicamente sólidas e sustentáveis (PHILIPS, 2018).

A integração de infraestruturas como iluminação pública, medidores de energia, sinais de trânsito, entre outros, com novos serviços de informação (meteorológica, p. ex.), segurança (resposta mais rápida de organizações de segurança e emergência, p. ex.), monitoramento (ajuste de sinais de trânsito e de horários do transporte público, p. ex.), etc., desempenha papel fundamental na criação de uma rede conectada em tempo real, inteligente e aberta que,

através de administração e gestão central, é capaz de economizar energia, otimizar operações e melhorar a segurança e bem estar dos seus cidadãos.

São exemplos de implementação e teste do conceito *Smart City*, as cidades de Tenerife nas Ilhas Canárias, Siegburg na Alemanha, Los Angeles e Kansas nos Estados Unidos da América, entre outras. Contudo, apesar das diferenças existentes em cada um desses projetos e do impacto global e ampla implantação destas tecnologias não ser imediato, há um denominador comum que já é implementado atualmente nas nossas cidades. É o caso da Iluminação Pública, que desempenha um papel único na aparência visual das áreas urbanas, tornando-as mais acessíveis, seguras e usufruíveis, concedendo identidade e carácter a esses lugares (YOELIT HIEBERT, 2017).

A Iluminação Pública existente tem vindo a ser substituída por tecnologia *LED* e recebendo atualizações e novos sistemas que a tornam a “âncora” para a integração de vários equipamentos de coleta de dados. Isso significa que, além do atual controlo do feixe de luz e consequente redução do encandeamento e *skyglow* (luminância difusa do céu noturno), há também a possibilidade de incluir recursos de desempenho adicionais para a concretização do conceito de *Smart City*, tais como:

- Supervisão e medição de energia consumida;
- Dimerização, sensores de presença e ajuste da cor;
- Redes *Wi-fi* e de telecomunicação;
- Sensores ambientais e meteorológicos;
- Videovigilância, botão de pânico e informações de segurança;
- Pontos de carregamento para veículos elétricos;
- Sinalização e publicidade;
- Integração de painéis solares e de armazenamento de energia;
- Construção que permita a simples manutenção e atualização, bem como a interoperabilidade e compatibilidade dos sensores, *hardware* e *software*.

Os sistemas de iluminação inteligente transformam a Iluminação Pública das cidades numa rede com capacidades centralizadas de supervisão e controlo, onde cada ponto de luz pode ser examinado individualmente ou em conjunto com outros, permitindo, por exemplo, a análise remota de avarias. Dados provenientes de sensores que analisam a luz do dia, movimento, som e imagem, são processados para otimizar a eficiência energética e segurança operacional dos equipamentos de Iluminação Pública, promovendo economias

energéticas de pelo menos 60% quando comparada a outras soluções *LED* sem os recursos acima indicados.

Além disso, dada a interligação de toda a rede, cada um dos postes de Iluminação Pública se transforma numa plataforma *plug-in-play* para outras tecnologias baseadas em *IoT*, atuando assim como catalisadores para investimentos adicionais no conceito de Smart City, tais como câmaras de *CFTV* e painéis publicitários, promovendo a segurança pública e receita extra para as cidades (COLCLOUGH, 2021).

2.1.2. SMART HOME

Os avanços tecnológicos que vivenciamos atualmente proporcionam-nos várias oportunidades de descomplicar e aumentar a qualidade de vida do nosso dia a dia. É assim em todas as áreas e não poderia ser diferente no lugar mais importante das nossas vidas: a nossa casa.

Nasceu então o conceito de *Smart Home* (Casa Inteligente, em português). Este pode ser definido como um ambiente no qual um ou mais equipamentos que comunicam entre si e estão conectados à internet, podem ser controlados e monitorizados à distância, via dispositivos móveis ou comandos de voz, dentro ou fora de casa, garantindo conforto, praticidade, segurança e economia (SOUSA, 2019).

Alguns dos benefícios de se adotar o conceito de *Smart Home* são (RODRIGUES, 2021):

- Interconectividade entre equipamentos inteligentes (sistemas de segurança, fechaduras, iluminação, termostatos, sensores, etc.);
- Controlo e gestão total dos equipamentos inteligentes, presencialmente ou remotamente;
- Aumento da eficiência energética e consequente redução dos gastos com energia elétrica e água;
- Aumento da segurança e vigilância em tempo real;
- Personalização de preferências ou necessidades específicas;
- Conveniência ao delegar e simplificar tarefas por meio de uso de assistentes inteligentes.

As *Smart Home* deixaram de ser algo restrito àqueles com alto poder aquisitivo, com instalações onerosas e de alta complexidade. Hoje, esta tecnologia de ponta está em franco crescimento e ao alcance de todos, sendo uma conexão à internet *Wi-Fi* praticamente o único pré-requisito para que seja possível desfrutar das suas várias habilidades. A previsão é de

que a penetração no mercado doméstico mundial até 2025 seja de 21,4% (STATISTA, 2021).

Um estudo realizado em 2015 pelo instituto *GFK* (Growth from Knowledge) nos mercados dos EUA, Alemanha, Brasil, China, Japão, Coreia do Sul e Reino Unido, com mais de sete mil pessoas, indicou que 57% da população acredita que as *Smart Home* ganharão cada vez mais espaço e influência na nossa vida nos próximos anos (THE ONE BRIEF, 2018).

Quase 70% dos americanos imagina que, em cerca de uma década, as *Smart Home* serão tão populares quanto *smartphones*. Além disso, quando o assunto é a aquisição de um novo imóvel, mais de 80% dos americanos prefere que estes já possuam equipamentos e capacidades inerentes às *Smart Home* (TECHAERIS, 2018).

Estudos indicam que há um desperdício de cerca de 25% da energia consumida nas residências. Com o uso de tecnologias inteligentes é possível reduzir o consumo de energia em quase 30% (JACKMAN, 2022).

No que há segurança diz respeito, um estudo de 2012 do Prof. Joseph B. Kuhns mostrou que 89% dos assaltantes evitam a intrusão em residências consideradas inteligentes (JACKMAN, 2022).

No Brasil, 80% dos inquiridos indica que a tecnologia específica das *Smart Home* que mais lhes interessa é a relativa à segurança e vigilância das residências, 78% apontaram os sistemas de controlo de iluminação e de consumo de energia. Percentagem idêntica foi obtida no que a equipamentos para entretenimento e conectividade diz respeito e 71% indicaram os recursos com foco em saúde (TECHAERIS, 2018).

2.1.3. SMART LIGHTING

A *Smart Lighting* é uma das tecnologias mais usada e mais facilmente percebida por aqueles que residem ou visitam as *Smart Home*. Esta permite que se ilumine uma residência de forma avançada, em que equipamentos *LED* inteligentes possuem *hardware* e *software* que lhes permite a conexão com aplicações, assistentes inteligentes ou outros acessórios inteligentes para que seja possível a automação e controlo remoto da iluminação, eliminando a necessidade de interruptores de parede tradicionais (PHILIPS HUE, 2019).

Estima-se que, até 2025, a *Smart Lighting* atinja uma penetração no mercado residencial mundial de 13,3% (STATISTA, 2021).

Entre os benefícios do seu uso temos:

- Automação – equipamentos *LED* inteligentes podem ser configurados individualmente ou em grupo, com rotinas em função do tempo e da presença ou não de pessoas no local, p. ex.;
- Controlo – dimerização da intensidade e cor da luz emitida;
- Conectividade – controlo remoto e possibilidade de associação com outros equipamentos inteligentes;
- Personalização – definição de cenas e ambientes que se adequam à ocasião, gosto pessoal e estado de espírito;
- Saúde – diferentes comprimentos de onda da luz afetam o ritmo circadiano, ajudando a combater a depressão e a melhorar os níveis de concentração, p. ex.

A introdução de novas tecnologias permite novos campos de inovação. Não só no que à iluminação de novas áreas e cenários diz respeito, mas também na possibilidade dos aparelhos de iluminação se tornarem a plataforma para acomodar uma panóplia de diferentes sensores. Os mais óbvios são os sensores de luminosidade e de presença. Mas há também a possibilidade de associar sensores de qualidade do ar e CO₂ para ajudar a garantir ambientes saudáveis, bem como sensores que contribuam para uma maior eficiência na gestão de sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado.

A atual iluminação *LED* é um exemplo de inovação que criou grandes mudanças nas nossas vidas num período relativamente curto de tempo. O controlo da *Smart Lighting* apresenta novas oportunidades de mudar substancialmente as nossas vidas para melhor, bastando para isso muitas ideias inovadoras e os parceiros certos para arriscar na sua implementação (MATTHEW REYNOLDS, 2021).

2.2. LED

O *LED* é um semicondutor que à passagem da corrente elétrica no sentido ânodo-cátodo emite luz de cor correspondente à energia dos fótons, determinada pela energia libertada pelos eletrões quando passam da banda de valência para a banda de condução. A Figura 1 apresenta a construção genérica dos *LED SSL* mais usados atualmente.

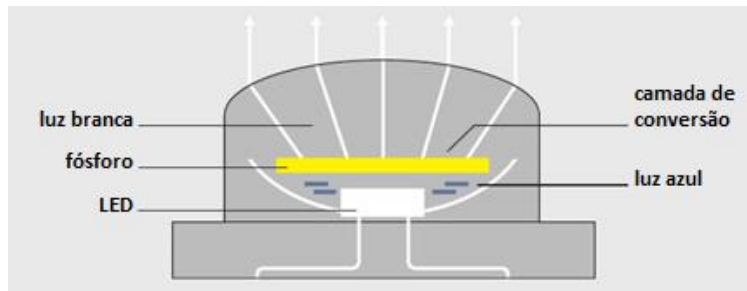


Figura 1 - Composição de *LED SSL* (Fonte: LEDVANCE, 2021)

Contrariamente às lâmpadas incandescentes, que emitem um espectro contínuo, o *LED* emite luz monocromática, como indicado na Figura 2. A cor desta depende do material com que é produzido o semicondutor. Dado que o *LED* emite luz numa cor específica, a cor branca é obtida pela conjugação de três *LED*, vermelho, verde e azul (pouco usado para este efeito), ou através do princípio de fotoluminescência, aplicando uma fina camada de fósforo em cima de um *LED* azul. A adição de corantes na camada de fósforo é que define os diferentes tons de branco, mais quente ou frio, amarelado ou azulado, respetivamente.

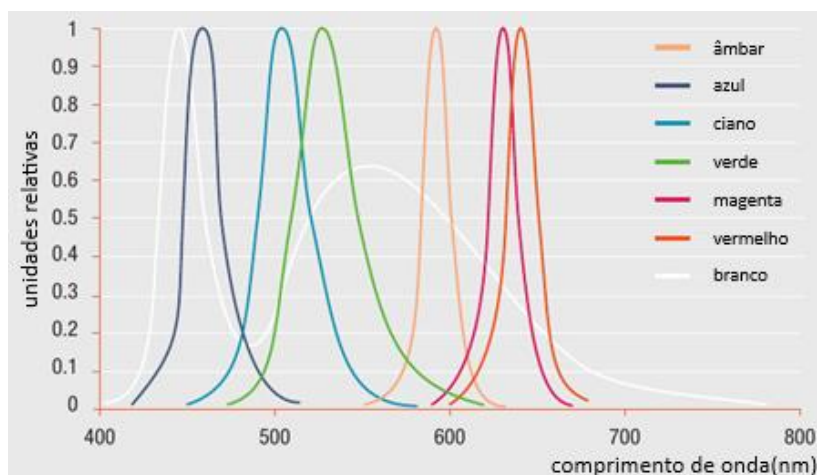


Figura 2 - Distribuição espectral relativa (Fonte: LEDVANCE, 2021)

Os *LED* são hoje a fonte de luz de maior qualidade, eficiência e viabilidade económica (THIBAUT ABERGEL, 2021). A rápida evolução tecnológica sofrida pelo *LED* fez com que em poucos anos superasse em larga medida a eficiência energética e lumínica das lâmpadas convencionais, além de ser mais ecológico. A eficiência, desde 2010, melhorou ao ritmo de 6 a 8 lm/W ao ano, apesar de, no momento, mostrar sinais de desaceleração devido ao grau de maturidade que a tecnologia atingiu. Os *LED* disponibilizados a nível comercial têm, normalmente, uma eficiência de mais de 100lm/W, sendo que produtos especiais alcançam valores de 210 lm/W, como é possível observar na Figura 3.

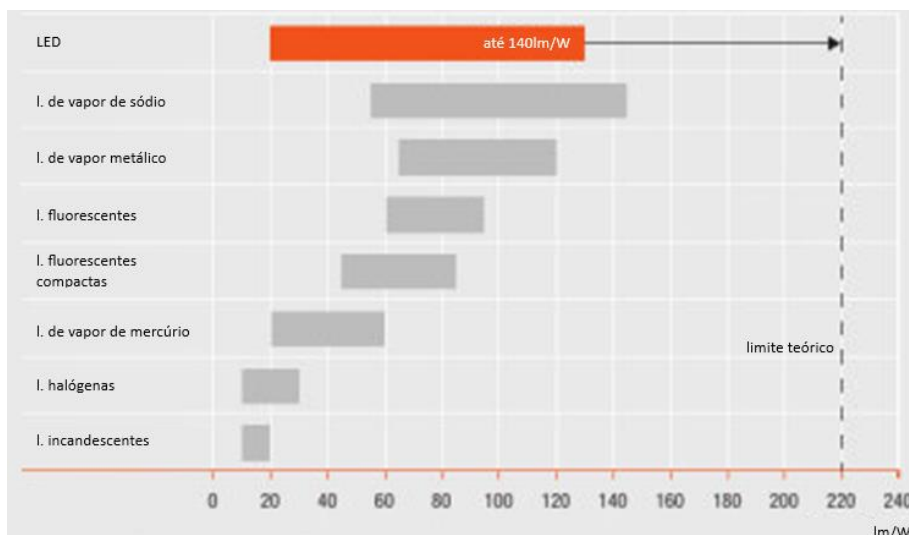


Figura 3 - Comparação de eficiência de diferentes fontes de luz (Fonte: LEDVANCE, 2021)

Quando corretamente projetado, a robustez mecânica e elétrica do *LED*, bem como a sua simplicidade de construção, proporcionam alta confiabilidade, mesmo em condições ambientais difíceis, o que permite uma vida útil longa e, por consequência, uma taxa de manutenção reduzida.

A facilidade e flexibilidade de agrupamento dos *LED*, devido à sua dimensão reduzida, associada à variedade de cores emitida, permite possibilidades ilimitadas de design (LEDVANCE, 2021).

A quantidade de luz emitida é função do valor de corrente que circula pelo *LED*. Quanto maior a corrente, mais elétrons circulam, gerando mais fótons e emitindo mais luz. Essa característica de funcionamento permite a regulação do fluxo de luz emitido pelo *LED* de forma linear, de 0% a 100%, sem perdas significativas de eficiência ou alteração no tom de cor emitida (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2006).

2.3. DRIVER

Um equipamento de iluminação *LED* tem como um dos seus componentes essenciais o driver, que atua como cérebro de todo o sistema, promovendo a conversão de energia, regulação de carga e proteção dos componentes a jusante. Além disso, são também a interface através do qual sensores e módulos de comunicação, com ou sem fio, são integrados para permitir a interação homem-máquina para aplicações de *Smart Lighting*.

Contrariamente às tradicionais fontes de luz que são alimentadas diretamente pela tensão alternada da rede, os *LED* operam em corrente contínua. Assim, faz-se necessário um fornecimento constante e contínuo de corrente elétrica, de valor fixo ou com variação dentro da faixa de operação estável do *LED*, já que o potencial máximo deste só pode ser plenamente alcançado quando as características de operação dos drivers são consistentemente combinadas com as características elétricas da fonte de luz.

Dependendo do arranjo elétrico com que vários *LED* são interligados e/ou das suas características, pode fazer-se uso de drivers de corrente constante (CC) ou de drivers de tensão constante (CV).

Preferencialmente, em esquemas de ligação série de *LED*, são usados drivers de corrente constante, pois desta forma se garante que a corrente que percorre cada um dos *LED* é igual. Estes drivers permitem a regulação do fluxo emitido pelo *LED* via modulação de largura de pulso (*PWM* - obtida em função do tempo em que o *LED* permanece ligado e desligado, *duty cycle*, com frequência constante) e via redução de corrente constante (*CCR* - conseguida através do controlo da magnitude da corrente direta que alimenta o *LED*).

Para esquemas de ligação em paralelo de *LED* empregam-se preferivelmente drivers de tensão constante, onde cada semiconductor tem o seu próprio regulador de corrente, linear ou chaveado, para limitar a corrente e manter um fluxo constante. Estes drivers permitem regular o fluxo emitido pelo *LED* apenas via modulação de largura de pulso (*PWM*) (LIGHTING MANUFACTURER, 2021).

De forma genérica, existem dois tipos de arquiteturas para a construção de drivers: temos as fontes de alimentação chaveadas e as fontes de alimentação lineares (LIGHTING MANUFACTURER, 2021):

- As fontes de alimentação chaveadas modulam o sinal elétrico através do uso de elementos de chaveamento de alta frequência como os Mosfet, gerando assim um valor de corrente contínua predeterminado em função da tensão de alimentação ou da variação da carga. Nestas fontes é também necessário que a energia seja armazenada como corrente, usando indutores, e/ou como tensão, usando condensadores, de modo a ser possível manter os valores de corrente ou tensão estáveis no *LED* durante os ciclos de chaveamento liga/desliga. O fluxo de luz emitido pelo *LED* é definido pela frequência de chaveamento e pelo tempo em cada estado (*duty cycle*);

- As fontes de alimentação lineares usam reguladores lineares que comparam continuamente o valor da tensão em resistências shunt (resistências que detetam o valor de corrente e o convertem num valor de mensurável de tensão) com o valor de tensão de referência, ajustando a tensão de saída até que a corrente que percorre a resistência shunt seja igual à tensão de referência. Dada a sua natureza, uma fonte de alimentação linear tem um design bastante simples, não sendo necessário qualquer elemento de armazenamento de energia e não produzindo qualquer ruído por comutação de alta frequência. Contudo, há a proliferação de soluções de baixo custo deste tipo de drivers, evidenciando soluções de baixa eficiência, alto índice de *flicker*, deficiente controlo térmico dada a característica de dissiparem o excesso de potência na forma de calor e a tipologia não isolada destes não fornece isolamento elétrico do *LED* à fonte de alimentação CA.

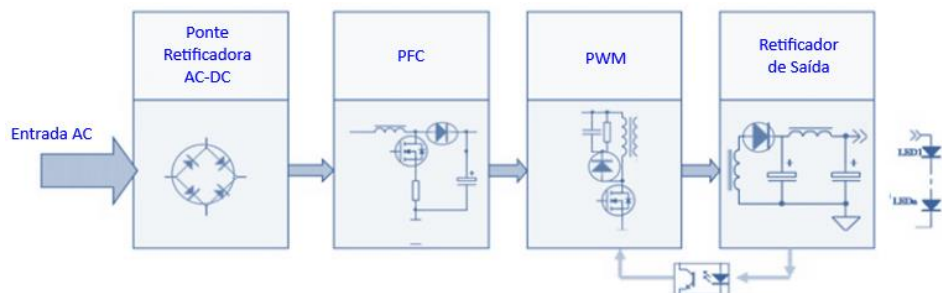


Figura 4 - Diagrama de blocos básico de um driver (Fonte: POURARAB et al., 2015)

Fontes de alimentação chaveada são assim a melhor escolha quando se pretende eficiência, controlo e qualidade da luz, segurança elétrica, alto fator de potência e baixa distorção harmónica. Particularmente, a controlabilidade digital inerente a este tipo de driver, quando equipados com tecnologias de comunicação, com e sem fio, e sensores inteligentes, permitirá uma variedade de aplicações *IoT*, como o *LiFi* (*Light Fidelity*) que transmite dados bidireccionalmente e em alta velocidade através da luz *LED* (IBERDROLA, 2021).

Contudo, o chaveamento de alta velocidade destas fontes, obtido com componentes reativos volumosos, caros e, em certa medida, não confiáveis, como transformadores, indutores e condensadores, causa muito ruído e altos níveis de interferência eletromagnética que devem ser filtrados e blindados através do uso de vários componentes como filtros e retificadores e circuitos adicionais como o de correção de fator de potência (*PFC*) (ver Figura 4), aumentando a complexidade construtiva destes tipo de drivers, podendo criar problemas de

confiabilidade. Problemas este, que tende a aumentar com o tempo de vida do driver devido ao elevado número de componentes eletrónicos que o compõem.

As fontes de alimentação chaveada consomem energia de forma irregular devido à forma como os elementos de chaveamento extraem pulsos de corrente da rede elétrica, tornando-os numa carga não linear.

Cargas não lineares são conhecidas por poderem criar picos e distorções na forma de onda da corrente interferindo na qualidade da energia elétrica, sendo a emissão de componentes harmónicas um dos distúrbios de qualidade que mais preocupa as entidades reguladoras de energia. O FP correlacionado aos distúrbios harmónicos, tornou-se um requisito de especificação em muitos mercados. Diretivas da União Europeia exigem FP superior a 0,9 para produtos *LED* com mais de 25W.

O *Design Light Consortium (DLC)* e o *Energy Star*, nos E.U.A., têm regulamentos semelhantes e no caso específico do estado da Califórnia, há a exigência clara de FP superior a 0,9 para todos os níveis de potência de iluminação *LED* residencial e comercial (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - SHC, 2021).

2.4. CONTROLO

Os ganhos obtidos com a transição de tecnologias de iluminação tradicional para iluminação *LED SSL* são mais observados nas áreas de eficiência, controlo e interação. Na área do controlo da iluminação, a dimerização é funcionalidade mais importante e facilmente observável em sistemas de gestão da luz, dada a capacidade dos *LED* de responder instantaneamente às mudanças do valor de corrente que o percorrem.

A performance da dimerização de um driver é cada vez mais importante à medida que a iluminação se torna mais conectada e adaptável às necessidades e preferências do usuário. Os sistemas de dimerização mais usados são a dimerização por fase, 0/1-10V, *DALI (Digital Addressable Lighting Interface)*, *Bluetooth* de baixa energia (*BLE*), *Zigbee*, *Wi-fi*, etc.

Dimerização por fase e 0/1-10V são consideradas tecnologias de dimerização de carácter analógico e unidireccionais (apenas no sentido sistema de comando – driver/luminária), muito usadas para dimerização de sistemas de iluminação tradicional ou em casos de *retrofit*, sempre em casos de luz branca. A dimerização por fase ocorre por meio do corte de secções da onda de tensão CA de forma a variar o valor eficaz desta e assim variando a luz emitida

pela fonte de luz. A dimerização 0/1-10V usa um par de fios extra, polarizados, apenas para fins de controlo, e, através de um sinal de tensão de 0/1 a 10V, ajusta a intensidade luminosa da fonte de luz de 1% a 100%.

Como tecnologias de dimerização de carácter digital temos a *DALI*, *BLE*, *Zigbee* e *Wi-fi*, sendo todas elas bidirecionais (no sentido sistema de comando – driver/luminária e vice-versa) e usadas primordialmente em sistemas de iluminação *LED*, branca ou colorida. A dimerização *DALI* faz uso de um par extra de fios, sem polaridade, para conectar o centro de comando ao driver. Nestes percorre informação, através da qual é possível endereçar individualmente cada um dos drivers/luminárias conectados ao sistema e controlá-los de forma individualizada. A dimerização *BLE*, *Zigbee* e *Wi-fi* são protocolos de comunicação que, através de um hub, enviam sinais wireless para controlo da luz emitida pelas fontes de luz (ou outros dispositivos) que necessitam apenas estar conectados à rede elétrica (MOTLAGH; MOHAMMADREZAEI; HUNT; ZAKERI, 2020).

2.5. STAND-BY

Designers e fabricantes desenvolvem novos produtos inteligentes todos os dias, em resposta à alta demanda por parte dos usuários. Como abordado, uma dessas tecnologias é a *LED*, a qual não se limita apenas à eficiência energética e longa vida útil. Equipamentos *LED* serão amplamente usados em sistemas de controlo de iluminação inteligentes e, apesar dos benefícios que isso trará, deve também considerar-se o custo oculto destes: consumo de energia em *stand-by*.

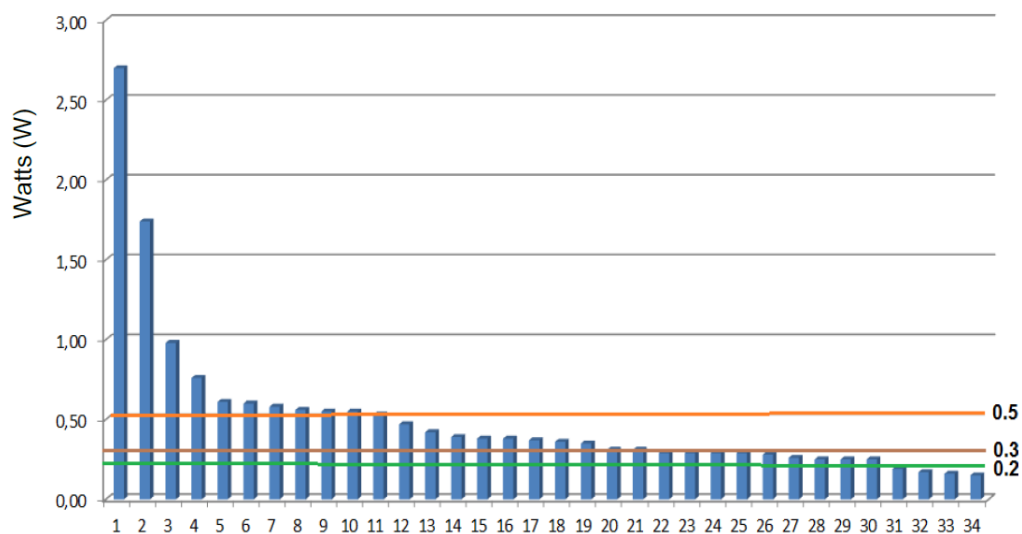


Figura 5 – Consumo em *stand-by* por equipamentos de iluminação inteligentes (Fonte: KOFOD, 2016)

Quando, através de uma aplicação no telemóvel, p. ex., se desliga um equipamento de iluminação inteligente, este deixa de emitir luz, mas continua a consumir energia. Este consumo de energia em *stand-by* é atribuído ao *hardware* que mantém o equipamento em espera, aguardando um novo comando, e ao *hardware* responsável por traduzir o sinal entre o dispositivo de comando e o equipamento de iluminação inteligente (DIKEL et al., 2019).

Estudos indicam uma grande variação no consumo de energia em *stand-by* por parte de vários equipamentos de iluminação inteligente usados no setor residencial, partindo de 0,15W até 2,70W, havendo, portanto, a possibilidade de implementar melhorias no design destas (ver Figura 5).

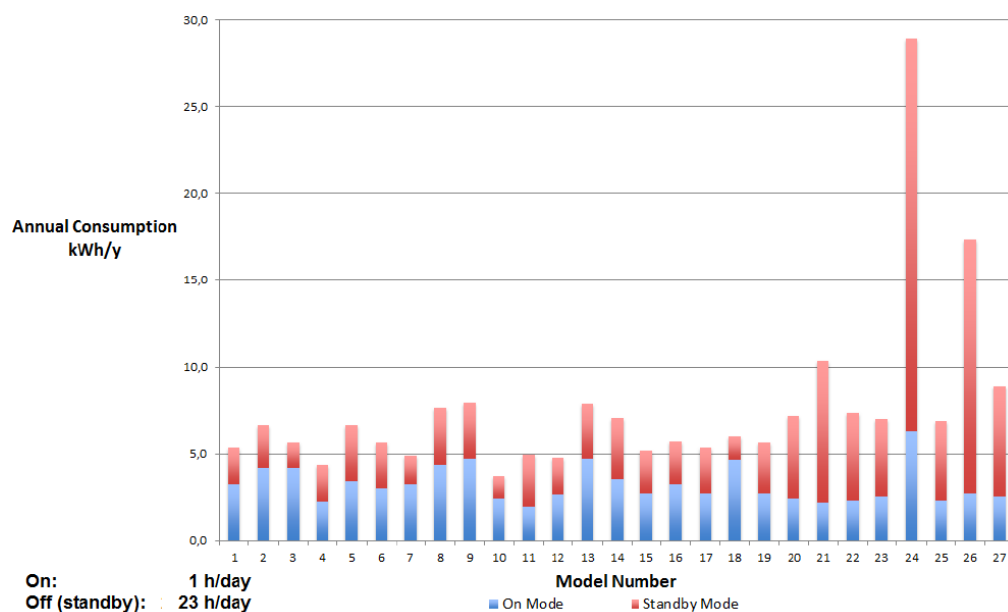


Figura 6 – Consumo anual de iluminação inteligente com operação de 1hora/dia (Fonte: KOFOD, 2016)

Segundo o que foi apurado, nas residências dos países membros¹ do *IEA 4E SSL Annex*, bem como de muitos outros, a operação diária das fontes de luz está, tipicamente, entre 1 e 2 horas. Para fontes de luz inteligentes que emitem de 200 a 1000 lm, o consumo médio de energia em *stand-by* representa 51% do consumo total diário quando operam uma hora por

¹ Austrália, Áustria, Canadá, Dinamarca, França, Japão, Coreia do Sul, Holanda, Suíça, Suécia, Reino Unido e EUA

dia, correspondendo a uma eficiência média de 9 a 51 lm/W, ou seja, quase a mesma eficiência das tradicionais lâmpadas incandescentes (ver Figura 6).

Se estas fontes de luz operarem duas horas por dia, o consumo médio de energia em *stand-by* será de 35%, com uma eficiência de 16 a 64 lm/W, bem abaixo da eficiência das fontes de luz *LED* não inteligentes (ver Figura 7).

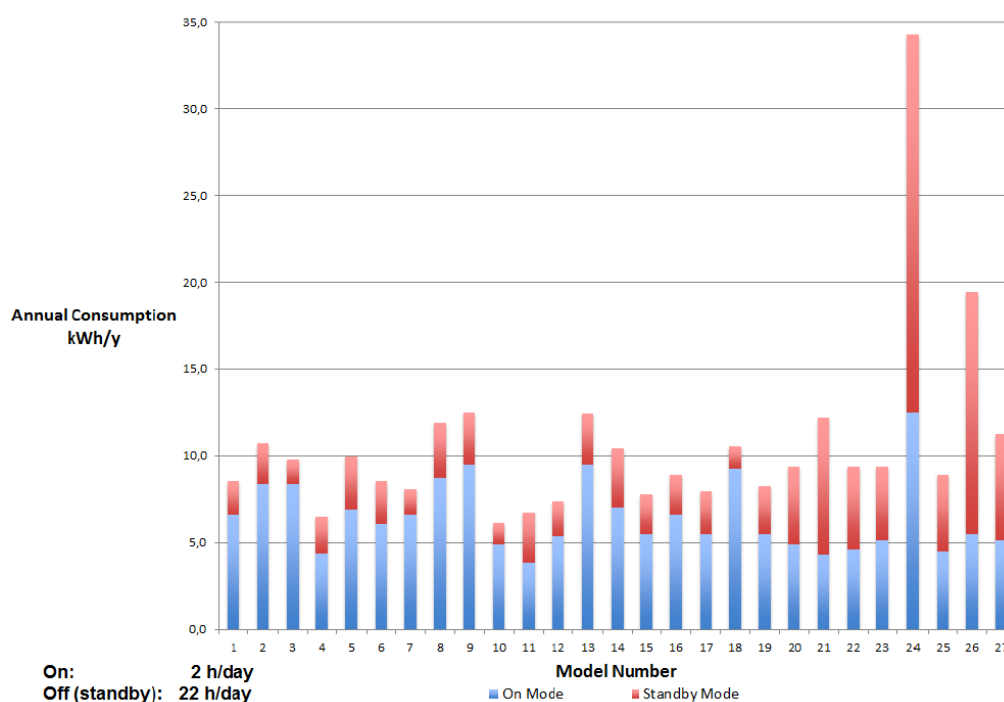


Figura 7 – Consumo anual de iluminação inteligente com operação de 2 horas/dia (Fonte: KOFOD, 2016)

Resultados semelhantes aos descritos acima foram obtidos por outras duas entidades:

- *DOE* – Departamento de energia dos Estados Unidos (DOE, 2016);
- *NRC Canada* – Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá (Knudsen, Arsenault, & Meng Qi Zhang, 2017).

Estudos indicam que a função *stand-by* pode aumentar drasticamente o consumo total do equipamento e, dependendo da quantidade de horas de operação, pode até ser superior à energia consumida quando efetivamente produz luz (KOFOD, 2016).

Está claro que o consumo de energia em *stand-by* é hoje um assunto a ser tratado com a máxima atenção. No futuro, as residências poderão ter dezenas de equipamentos de iluminação inteligentes o que, em conjunto, poderá resultar em elevados consumos de

energia em *stand-by*. Prevê-se que este consumo atinja os 3,3 TWh em 2025, sendo que era de 0,1 TWh em 2015 (ECONOLER, 2017).

Algumas organizações e governos procuram implementar medidas regulatórias e voluntárias que visam limitar o valor máximo do consumo de energia em *stand-by* de equipamentos de iluminação inteligentes. São eles:

- A US Energy Star indica o valor de 0,5 W como o valor máximo;
- A Comissão Europeia, com a EC 1275, indica também o valor de 0,5 W como valor máximo;
- A IEA 4E SSL Annex Task 6 indica, igualmente, o valor de 0,5 W como valor máximo;
- Os países da Austrália e Nova Zelândia propõem um valor máximo de 0,5 W, prevendo que a partir de 2023 seja de apenas 0,3 W;
- A *California Energy Commission*, diferente das demais, indica um valor máximo de apenas 0,2 W.

2.6. QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

Segundo Dias (2002), caracteriza-se como um problema de qualidade de energia qualquer distúrbio ou ocorrência manifestada nos níveis de tensão, nas formas de onda de tensão e corrente que possam resultar em insuficiência, má operação, falha ou defeito permanente em equipamentos de um sistema elétrico.

Pode então definir-se a Qualidade de Energia Elétrica (QEE) como o suprimento permanente de energia elétrica com forma de onda sinusoidal pura, sem distorções e com valores de tensão e frequência dentro das tolerâncias aceitáveis.

Os distúrbios na qualidade de energia podem ser divididos em cinco categorias:

- Interrupções (*blackouts*);
- Sub ou sobretensão de longa duração;
- Afundamento de tensão e surtos de curta duração;
- Transitório;
- Distorções harmônicas.

As distorções harmônicas, foco deste trabalho, criam correntes de magnitude superior à esperada com componentes de frequência harmônica e são causadas por cargas não lineares ligadas ao sistema de energia elétrica, como é o caso de equipamentos de acionamentos

estáticos, fontes chaveadas e dispositivos eletrônicos (diodos, transístores, tirístores, etc.). Dada a dificuldade de aferição destas correntes, a sua amplitude pode ser subestimada em até 40%, podendo causar um subdimensionamento da instalação, originando aquecimentos e perdas elétricas de aproximadamente 2% a 3% da carga. As componentes de frequência harmônica provocam o aumento das perdas nos transformadores por correntes parasitas, causando aumentos de temperatura e reduzindo a sua vida útil, disparo dos dispositivos de proteção, ressonância nas baterias de condensadores, vibrações, aquecimento no condutor neutro, aumento da queda de tensão, redução do fator de potência e efeito pelicular (SANTOS, 2007). Deve considerar-se também as elevadas frequências emitidas por equipamentos *LED*, entre 2 e 150 KHz, que podem causar problemas nos equipamentos que usam sistemas de comunicação via rede elétrica (*PLC, Power Line Communication*) como os medidores inteligentes, p. ex. (DRGONA et al., 2021).

As distorções harmônicas são um fenómeno contínuo e criam perturbações na forma da onda. Estas podem ser definidas como um sinal sinusoidal cuja frequência é múltiplo inteiro da frequência fundamental do sinal de alimentação. A Figura 8 mostra uma onda deformada, T, devido à soma das correntes harmônicas de ordem 1 e 5.

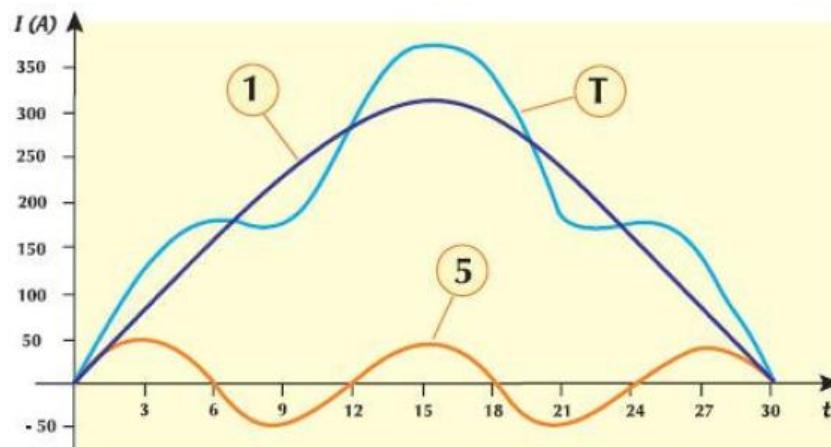


Figura 8 - Onda deformada pelas componentes harmônicas (Fonte: Santos, 2007)

Como forma de mitigar a propagação de distorções harmônicas nas redes elétricas faz-se uso de filtros passivos ou ativos, considerados como métodos corretivos, haja vista que a sua função é amenizar um problema já existente. Quanto a métodos ativos para evitar os harmônicos temos os reatores de linha CA, indutores no link CC e conversores multipulso. Como métodos preventivos pode-se indicar a produção de normas, regulamentos e leis que

visam a redução de emissão de distúrbios harmônicos que todos os intervenientes do sector elétrico, direta ou indiretamente, sejam obrigados a cumprir.

2.7. NORMA IEC 61000 – COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA – PARTE 3

O *IEC (International Electrotechnical Commission)* é uma organização internacional que tem por objetivo a elaboração e publicação de normas técnicas que atuarão como padrão internacional nos campos da elétrica, eletrônica e tecnologias relacionadas. Conta hoje com 88 membros, sendo 62 desses Comitês Nacionais, que intervêm ativamente nas atividades de avaliação de conformidade e padronização no campo da tecnologia elétrica, ao mesmo tempo que representam os interesses públicos e privados dos seus respetivos países, e 26 afiliados, os quais podem ter acesso a todo o trabalho desenvolvido pela *IEC (IEC List)*.

Especificamente, a norma *IEC 61000* refere-se à compatibilidade eletromagnética (*EMC - Electromagnetic Compatibility*) entre equipamentos elétricos e eletrônicos, os quais, na medida dos limites especificados para cada tipo de equipamento, não devem influenciar e/ou ser influenciados negativamente por outros equipamentos. Esta norma é composta por várias partes que aprofundam diversos temas relacionados à compatibilidade eletromagnética, como conceitos gerais, descrição de ambientes, limites, técnicas de teste e medição, entre outros. Especificamente, é de destacar a relevância da Parte 3-2 onde se indica o limite máximo de correntes harmônicas que podem ser injetadas na rede pública de energia por equipamentos elétricos e eletrônicos com corrente de entrada de até 16A por fase e destinados a serem conectados à rede de distribuição de baixa tensão (220/380V, 230/400V e 240/415V)² que operam à frequência de 50Hz ou 60Hz (*IEC 61000-3-2, 2020*).

Esta norma teve a sua primeira edição ainda no século passado, no ano de 1995, recebendo pequenas atualizações nos anos 2000 e 2005, com as edições 2 e 3, respetivamente. Em 2014, com a edição 4, importantes mudanças ao nível dos métodos de medição foram introduzidas, garantindo assim a uniformização dos testes. Já em 2018, na 5ª Edição, também referida

² Sistemas com tensão nominal inferior a 220V (fase-neutro) não possuem ainda os limites definidos.

como “*Lighting Edition*”³, foram adicionadas alterações que refletiam os avanços tecnológicos na indústria da iluminação, especificamente no que concerne à tecnologia *LED*. Na edição mais recente, 5.1, de Julho de 2020, foram feitas correções à norma e dados alguns esclarecimentos como detalhamento de definições, condições de teste e limites para equipamentos de iluminação (Handschin, 2020).

Para fins de limitação de corrente harmónica, a norma separa os equipamentos em quatro classes distintas (A, B, C e D).

A classe A compreende todos os equipamentos que não são abrangidos pelas restantes classes (B, C e D). São exemplos os equipamentos com alimentação trifásica, equipamentos de uso residencial (excluindo-se os identificados como fazendo parte da classe D), ferramentas elétricas (excluídas as de carácter portátil, que pertencem a classe C), *dimmers*⁴ independentes para controlo de fase e equipamentos de áudio.

Da classe B fazem parte equipamentos como ferramentas portáteis e equipamentos de solda por arco eléctrico, desde que não sejam definidos como profissionais.

Os equipamentos de iluminação têm uma classificação própria, classe C, que define criteriosamente os valores máximos de distorção harmónica permitidos para cada equipamento.

Na classe D estão incluídos equipamentos com potência nominal menor ou igual a 600W como computadores pessoais, monitores, televisões, bem como frigoríficos e arcas frigoríficas que contenham variadores de velocidade para controlo do compressor.

No domínio desta dissertação são relevantes os seguintes termos da norma:

- Fonte de luz – superfície ou objeto capaz de emitir;
- Lâmpada – fonte de luz com pelo menos um soquete/base;

³ Edição da Iluminação, em português.

⁴ *Dimmer* - dispositivo utilizado para variar o valor de tensão eficaz numa carga, como lâmpadas incandescentes ou de halogénio, através do qual é possível controlar a intensidade de luz emitida.

- Lâmpada integrada – lâmpada elétrica projetada para conexão direta à tensão de alimentação que não pode ser desmontada sem ser permanentemente danificada, incorporando todo o equipamento de controle da luz emitida e todos os demais elementos necessários à sua partida e operação estável;
- Luminária – aparelho que difunde, filtra ou transforma a luz emitida por pelo menos uma fonte de radiação ótica e que inclui, à exceção das próprias fontes de luz, todas as partes necessárias para a fixação e proteção das fontes de luz e, quando necessário, circuitos auxiliares juntamente com os meios para conectá-los à alimentação;
- Equipamento de iluminação⁵ – equipamento que tem como principal função gerar, regular e/ou distribuir a radiação emitida por uma fonte de luz;
- Equipamento para controle da iluminação – equipamento inserido entre a fonte de alimentação e pelo menos uma fonte de luz, que serve para fornecer à(s) fonte(s) de luz a voltagem e/ou corrente necessária(s) à sua correta operação, podendo consistir em um ou mais componentes separados;
- *Dimmer* – dispositivo capaz de variar o fluxo luminoso de fontes de luz, podendo ser do tipo embutido no corpo da luminária ou do tipo independente;
- Modo *stand-by* – modo não operacional e de baixo consumo de energia que pode persistir por tempo indeterminado;
- Fonte de alimentação externa (*EPS*) – equipamento que converte a energia fornecida pela rede elétrica em energia com diferente valor de tensão, que tem seu próprio invólucro físico e que se destina ao uso com equipamentos separados que constituem a carga;
- Corrente de entrada – corrente diretamente fornecida a um equipamento ou a parte de um equipamento pelo sistema de distribuição de corrente alternada (CA);
- Potência ativa de entrada – valor médio da potência instantânea, obtido em 10 (sistemas de 50 Hz) ou 12 (sistemas de 60 Hz) períodos fundamentais e medido nos terminais da alimentação de entrada do equipamento em teste;

⁵ Estes equipamentos podem ser parcialmente ou totalmente integrados à fonte de luz e incluir meios para acender, dimerizar, corrigir o fator de potência entre outras funções de controle.

Ainda segundo a norma *IEC 61000-3-2*, há três importantes fórmulas que devem ser usadas para auxiliar na avaliação de conformidade dos equipamentos medidos:

- Corrente harmónica total (*THC*)⁶ – valor eficaz, em amperes, do somatório das componentes de corrente harmónica (I_h) de ordem 2 a 40, expresso por:

$$THC = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2} \quad (1)$$

- Distorção harmónica total de corrente (*THD_I*)⁷ – valor eficaz, em percentagem, do somatório da razão das componentes de corrente harmónica (I_h) de ordem 2 a 40 com o valor eficaz da componente fundamental de corrente harmónica (I_1), expresso por:

$$THD_I = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2} \quad (2)$$

- Corrente harmónica parcial de ordem ímpar (*POHC*)⁸ – valor eficaz, em amperes, do somatório das componentes de corrente harmónica (I_h) de ordem ímpar de 21 a 39, expresso por:

$$POHC = \sqrt{\sum_{h=21,23}^{39} I_h^2} \quad (3)$$

2.7.1. CLASSE C – LIMITES DE CORRENTES HARMÓNICAS

Os limites de corrente harmónica aplicam-se às correntes na fase e não no neutro. Porém, para equipamentos monofásicos, é permitido realizar a medição também no condutor neutro.

A Classe C define limites para 2 níveis de potência em equipamentos de iluminação. São eles:

⁶ *THC* – valor particularmente útil para determinar as características necessárias à instalação de modernos filtros ativos.

⁷ *THD_I* – mede como o equipamento pode afetar a qualidade e segurança da rede elétrica.

⁸ *POHC* – o conceito foi introduzido de forma a proporcionar maior flexibilidade aos fabricantes, permitindo-lhes ter algumas correntes harmónicas de ordem ímpar elevadas e compensá-las com outras de menor valor.

a. Equipamento com potência ≥ 25 W:

1. Luminárias – Para luminárias com lâmpadas incandescentes e dimerização por controlo de fase embutido com potência nominal superior a 25 W, as componentes de corrente harmónica não devem exceder os limites indicados para a Classe A;
2. Outro equipamento de iluminação – Para qualquer outro equipamento de iluminação com potência nominal superior a 25 W, as componentes de corrente harmónica não devem exceder os limites especificados para a Classe C.

b. Equipamento com potência ≥ 5 W e ≤ 25 W, devendo cumprir um dos requisitos abaixo:

1. As componentes de corrente harmónica não devem ultrapassar os limites indicados na Classe D (Tabela 2);

Tabela 2 Limites para equipamentos de Classe D (Fonte: IEC 61000-3-2, 2020)

Ordem do harmónico <i>h</i>	Corrente harmónica máxima por Watt mA/W
3	3,4
5	1,9
7	1,0
9	0,5
11	0,35
$13 \leq h \leq 39$ (apenas harmónicos ímpares)	$\frac{3,85}{h}$

2. A componente de corrente harmónica de ordem 3, expressa percentagem da corrente fundamental, não deve exceder 86% e a componente de corrente harmónica de ordem 5 não deve exceder 61%, além de cumprir os requisitos apresentados na Figura 9;

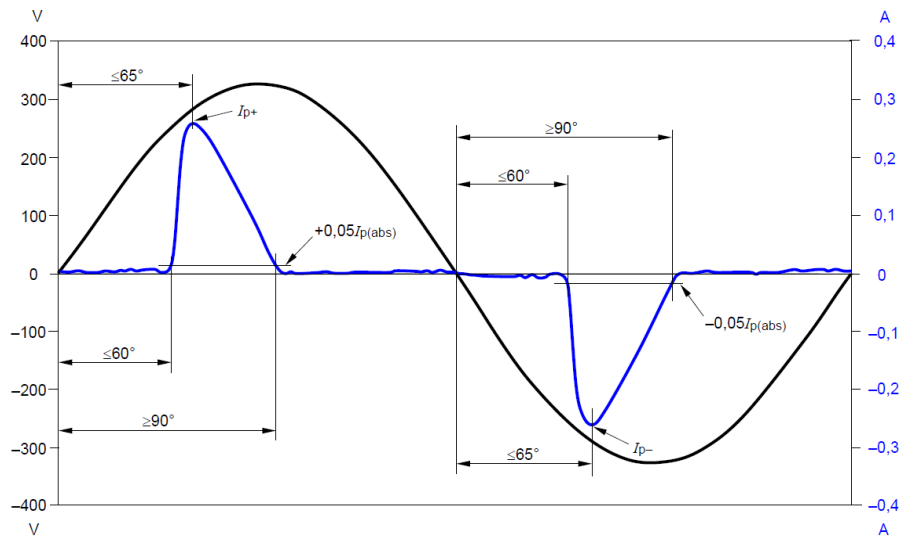


Figura 9 - Ilustração dos ângulos de fase e parâmetros de corrente a seguir em b)2 (Fonte: IEC 61000-3-2, 2020)

3. O *THD* não deve exceder 70%, com a componente de corrente harmônica de ordem 3, expressa percentagem da corrente fundamental, $\leq 35\%$, a componente de corrente harmônica de ordem 5 $\leq 25\%$, a componente de corrente harmônica de ordem 7 $\leq 30\%$, as componentes de corrente harmônica de ordem 9 e 11 $\leq 20\%$ e a componente de corrente harmônica de ordem 2 $\leq 5\%$.

Para efeitos da presente dissertação, foram considerados os limites indicados em b)1 e b)3, devendo os valores eficazes de cada ordem de corrente harmônica ser menores ou iguais aos limites aplicáveis. Para cada ordem harmônica, todos os valores de corrente harmônica eficaz, devem ser $\leq 150\%$ dos limites aplicáveis. Contudo, correntes harmônicas menores que 0,6% ou 5mA da corrente de entrada medida, podem ser desconsideradas.

Já o *POHC* medido não pode exceder o *POHC* que pode ser calculado a partir dos limites aplicáveis.

Dado o exposto neste Capítulo 2, está claro que existe uma tendência mundial para o aumento do uso de sistemas inteligentes. Nesse contexto, a *Smart Lighting* é de particular interesse dada a sua facilidade de implementação e personalização que permite. Contudo, o uso em larga escala destes sistemas gera ainda várias incógnitas quanto aos possíveis efeitos causados na rede elétrica como um todo, tornando a sua análise um tema de primordial importância.

3. METODOLOGIA

As medições de componentes harmônicas do equipamento sujeito a teste (*EUT*, em inglês, *Equipment Under Test*) devem ser feitas de acordo com o circuito para ensaio de equipamentos de fase única indicado na Figura 10, abaixo:

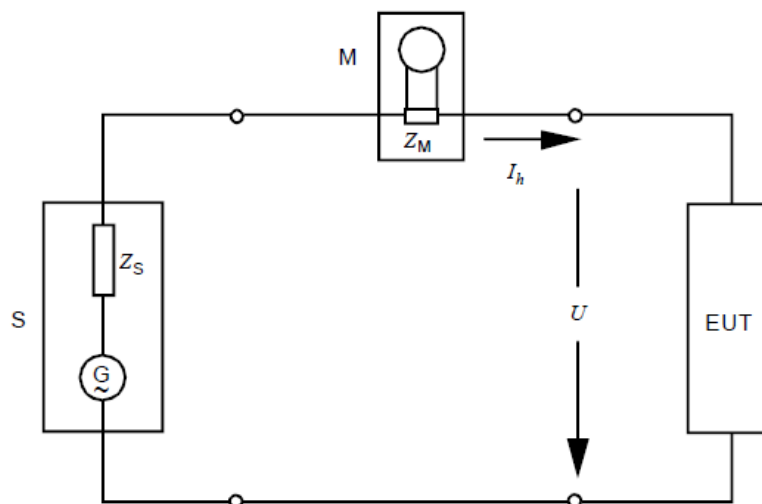


Figura 10 - Circuito para ensaio de equipamentos de fase única (Fonte: IEC 61000-3-2, 2020)

Em que:

- S – Fonte de alimentação;
- Z_s – Impedância Interna da fonte de alimentação;
- G – Tensão de circuito aberto da fonte de alimentação;

- M – Equipamento de medição;
- ZM – Impedância de entrada do equipamento de medição;
- I_h – Corrente com componente harmónica de ordem h;
- U – Tensão de ensaio;
- *EUT* – Equipamento sujeito a teste.

A fonte de alimentação deve fornecer uma tensão de ensaio (U) aos terminais do equipamento sujeito a testes igual à tensão nominal indicada no próprio *EUT*. Portanto, é necessário desde logo, aferir se a tensão de ensaio (U) se mantém dentro de $\pm 2,0\%$, se a frequência se mantém dentro de $\pm 0,5\%$ do valor nominal e se o valor de pico da tensão ($V_{m\acute{a}x}$) é atingido entre 87° e 93° após a passagem por zero e está compreendido no intervalo de 1,40 vezes a 1,42 vezes do valor de tensão eficaz (*RMS*).

Deve ser ainda garantido que o valor da razão entre a tensão com componente harmónica de ordem h e a tensão eficaz (*RMS*) não exceda o indicado abaixo:

- 0,9 % para harmónicos de ordem 3;
- 0,4 % para harmónicos de ordem 5;
- 0,3 % para harmónicos de ordem 7;
- 0,2 % para harmónicos de ordem 9;
- 0,2 % para harmónicos de ordem par de 2 a 10;
- 0,1 % para harmónicos de ordem 11 até 40.

Adicionalmente, para a realização de ensaios de medição de correntes harmónicas em equipamentos de iluminação, é necessário garantir condições específicas, tais como:

- As medições devem ser feitas numa atmosfera livre de correntes de ar e com uma temperatura ambiente entre os 20°C e os 27°C ;
- Luminárias devem ser testadas de acordo com a forma como foram fabricadas e com todos os seus dispositivos incluídos, devendo ser seguidas as instruções do fabricante;⁹

⁹ São exemplos disso equipamentos com a fonte de luz separada dos dispositivos de controlo de iluminação.

- Lâmpadas e luminárias devem estar a operar por pelo menos 15 minutos antes de serem realizadas quaisquer medições, devendo estar instaladas em posição igual à de uso normal;
- Equipamentos para controlo da iluminação devem ser testados com fontes de luz para eles especificados;
- Fontes de alimentação externa devem ser testadas com luminárias que tenham características de funcionamento adequadas, assegurando sempre as condições de teste especificadas para a fonte.

Para a realização dos ensaios fez-se uso de um equipamento da marca *California Instruments*, série 2253i, que combina uma fonte de alimentação CA programável de precisão, S, com um analisador de energia de alto desempenho ou M, equipamento de medição. Assim, com um único equipamento, foi possível obter uma fonte de energia limpa para alimentação aos drivers e ao mesmo tempo realizar as medições dos distúrbios harmónicos por estes criados (ver Figura 11).

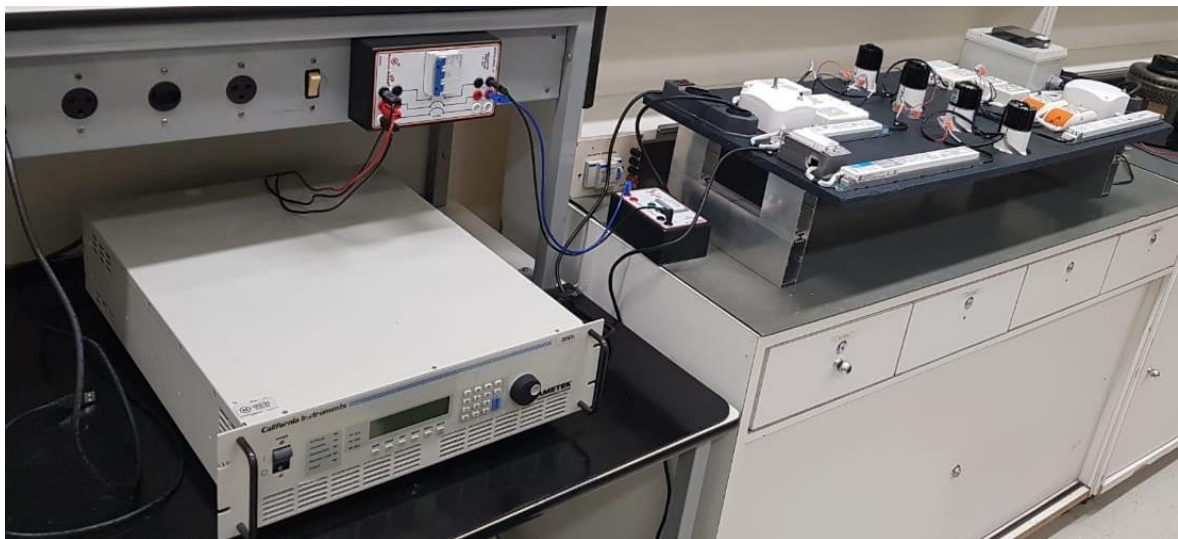


Figura 11 - Fonte de alimentação CA programável de precisão

Na Figura 12 é possível observar a bancada de testes que foi montada para a realização dos ensaios, com as cargas, spot embutidos, ao centro, instalados em posição condizente à de uso normal, e todos os drivers usados para a sua alimentação e equipamentos para dimerização da luz emitida que foram sujeitos a ensaios de conformidade com a norma *IEC 61000-3-2*.



Figura 12 - Bancada de testes (vista superior e inferior)

A carga em teste é caracterizada por dois spots embutidos, cada um deles composto por um *LED* que funciona à corrente contínua de 180mA, e que estavam ligados há pelo menos 15 minutos antes de serem realizadas quaisquer medições.

Quanto aos drivers, foram analisados diferentes tipos e marcas, de acordo com o indicado na Tabela 3.

Tabela 3 Características nominais dos drivers sujeitos aos ensaios

Identificação	Tensão (V)	Frequência (Hz)	FP	Eficiência (%)	Pot. Nominal (W)
Marca 1 On/Off	220	60	0,64	82	15
Marca 2 On/Off	220	60	0,9	90	35
Marca 1 1-10V	220	60	0,95	87	20
Marca 1 DALI	220	60	0,95	88	20
Marca 2 DALI	220	60	0,9	89	36
Marca 3 DALI	220	60	0,9	80	7,74
Marca 4 DALI	220	60	0,98	88	18

Todos os drivers são de corrente constante, sendo que os da Marca 1, 2 e 4 permitem a definição de vários valores desta. Contudo, todos foram definidos para operar com o valor de corrente contínua de 180mA, incluindo o da Marca 3, variando automaticamente o valor de tensão de acordo com a carga. Para drivers da Marca 1, 3 e 4, foi usado um driver para

cada spot. Para drivers da Marca 2, foi usado um único driver para alimentação de dois spots ligados em série entre si.

O procedimento para aplicação dos limites e avaliação dos resultados é mostrado no fluxograma¹⁰ indicado na Figura 13.

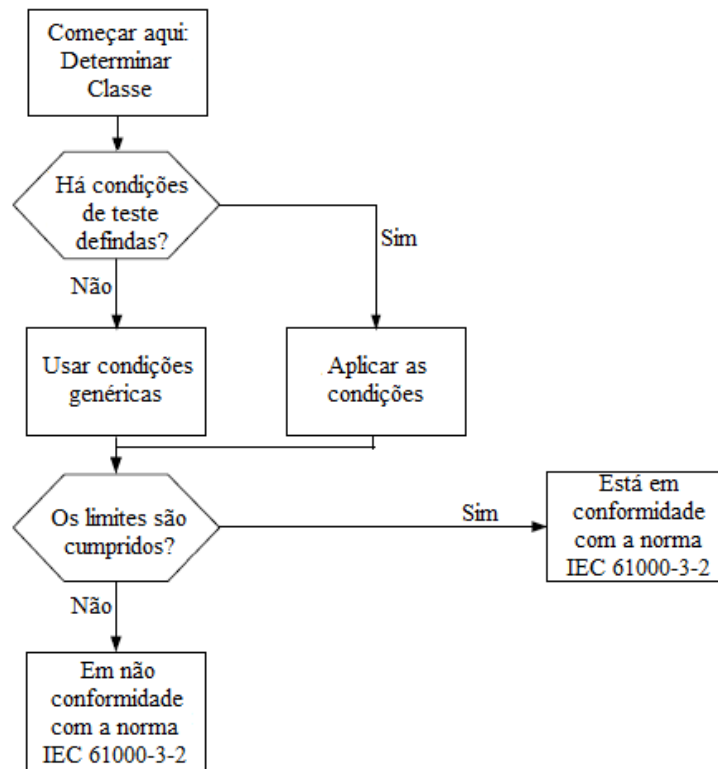


Figura 13 - Fluxograma para determinação de conformidade da norma IEC 61000-3-2 (Fonte: IEC 61000-3-2, 2020)

Dado o exposto no Capítulo 3, seguiu-se então o fluxograma da Figura 13, respeitando-se as considerações específicas de teste, para a realização dos ensaios dos drivers e suas características de funcionamento.

¹⁰ Fluxograma baseado na norma IEC 61000-3-2. Alterado de forma a simplificar a leitura do mesmo, refletindo apenas a avaliação de resultados de equipamentos da Classe C.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes de qualquer análise aos níveis de harmônicos criados pelos diferentes drivers, foi necessário aferir a qualidade da tensão de ensaio para os vários drivers. Para isso definiu-se que a fonte produziria uma tensão de valor de 220Vac com frequência de 60Hz, aferindo-se então se os valores destas estão dentro dos limites indicados na norma (ver Tabela 4).

Tabela 4 Análise de qualidade da onda de tensão e frequência

Identificação	V_{rms} (V)	$V_{máx}$ (V)	Θ_p (°)	F (Hz)	V_{rms}	F	$V_{máx}$ > $1,40.U_{rms}$ < $1,42.U_{rms}$	Θ_p > 87° < 93°
					> $0,98.U$ < $1,02.U$			
Marca 1 On/Off	219,85	311,00	89,97	60,008	Cumpre	Cumpre	Cumpre	Cumpre
Marca 2 On/Off	219,91	311,05	89,98	60,000	Cumpre	Cumpre	Cumpre	Cumpre
Marca 1 1-10V	219,89	311,02	89,98	60,007	Cumpre	Cumpre	Cumpre	Cumpre
Marca 1 DALI	219,98	311,01	90,03	60,000	Cumpre	Cumpre	Cumpre	Cumpre
Marca 2 DALI	219,99	310,96	90,06	60,000	Cumpre	Cumpre	Cumpre	Cumpre
Marca 3 DALI	219,98	311,06	90,02	60,000	Cumpre	Cumpre	Cumpre	Cumpre
Marca 4 DALI	219,96	310,94	90,05	60,000	Cumpre	Cumpre	Cumpre	Cumpre

Deve ser ainda garantido que a razão entre a tensão com componente harmónica de ordem h e a tensão eficaz não exceda os limites indicados na norma (colunas a azul na Figura 14).

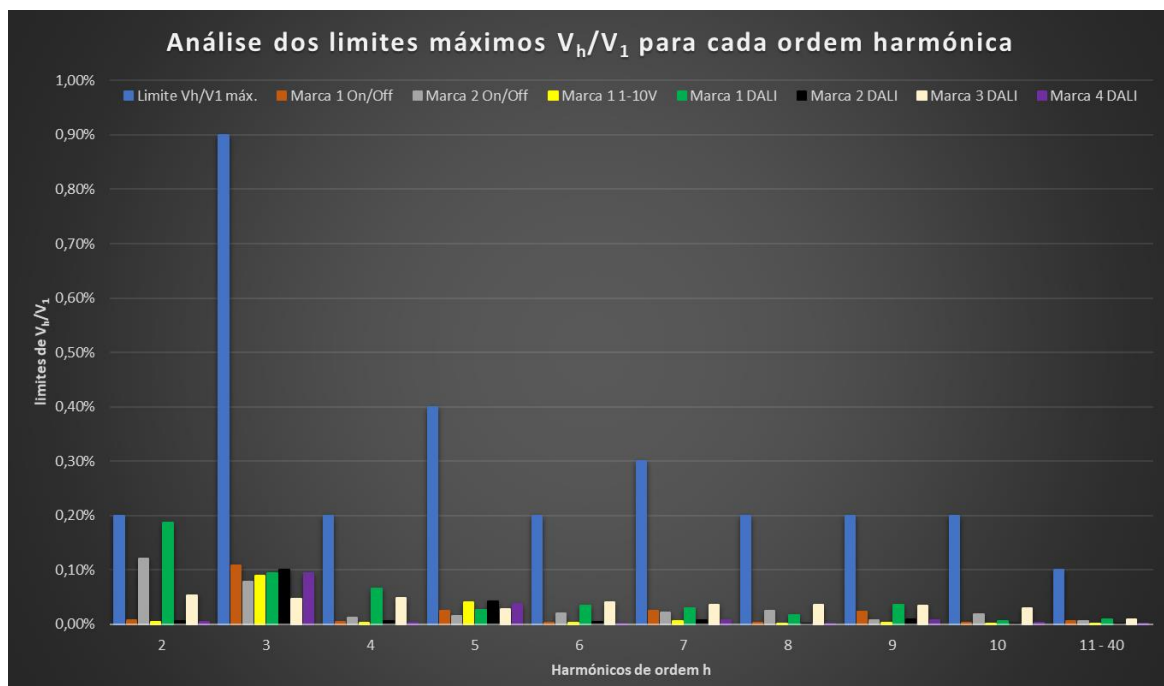


Figura 14 - Análise dos limites máximos de V_h/V_1

No Anexo A estão indicadas as medições que permitiram a construção do gráfico apresentado na Figura 14.

Validados que foram os valores de tensão, frequência e respetivos limites, procedeu-se à medição dos conteúdos harmónicos de cada driver. Para os limites indicados em b)1 obteve-se os valores na Tabela 5.

Tabela 5 Resultados das medições harmónicas segundo os limites indicados em b)1

Identificação	Estado	P_{medido} (W)	FP_n	FP_m	ΔFP (%)	THD_v (%)	THD_I (%)	THC (A)	POHC (A)	Resultado
Marca 1 v. On/Off	100%	17,11	0,640	0,452	-29%	0,124%	180,71%	0,1504	0,0271	Falha
Marca 2 v. On/Off	100%	17,73	0,900	0,918	2%	0,156%	12,64%	0,0110	0,0007	Cumpre
Marca 1 v. 1-10V	100%	18,63	0,950	0,944	-1%	0,098%	8,39%	0,0075	0,0012	Cumpre
Marca 1 v. 1-10V	Stand-by	0,99	0,950	0,213	-78%	0,143%	26,56%	0,0050	0,0011	Falha
Marca 1 v. DALI	100%	20,02	0,950	0,918	-3%	0,236%	16,38%	0,0160	0,0042	Cumpre
Marca 1 v. DALI	Stand-by	1,93	0,950	0,316	-67%	0,092%	46,03%	0,0111	0,0040	Falha
Marca 2 v. DALI	100%	19,08	0,900	0,907	1%	0,110%	26,38%	0,0243	0,0041	Cumpre
Marca 2 v. DALI	Stand-by	1,8	0,900	0,269	-70%	0,095%	68,64%	0,0155	0,0059	Falha
Marca 3 v. DALI	100%	19,38	0,900	0,956	6%	0,132%	15,05%	0,0137	0,0046	Cumpre
Marca 3 v. DALI	Stand-by	1,69	0,900	0,461	-49%	0,137%	94,86%	0,0107	0,0042	Falha
Marca 4 v. DALI	100%	19,38	0,980	0,845	-14%	0,103%	12,99%	0,0137	0,0052	Cumpre
Marca 4 v. DALI	Stand-by	1,61	0,980	0,156	-84%	0,096%	24,65%	0,0111	0,0044	Falha

O THD_V diz apenas respeito ao conteúdo harmónico já existente na rede. Como referido, fez-se uso de uma fonte de energia limpa, sendo os valores medidos bem abaixo do limite máximo de 5% indicado na norma *IEC*.

O driver da Marca 1, versão *On/Off*, falhou no cumprimento de vários itens da norma como o THD_I e o *POHC*. Além disso o fator de potência deste reduziu bastante. Tudo indica que, neste driver, o circuito de *PFC* está dimensionado para a potência nominal do driver, 15W, não sendo capaz de lidar de forma eficiente com cargas com metade desse valor.

Pelo contrário, os drivers dimerizáveis, apesar de também lidarem com cargas consideravelmente menores que as nominais, tiveram um bom comportamento, mantendo valores de fator de potência próximos aos nominais ou excedendo-os, como é o caso dos drivers *DALI* da Marca 2 e 3. Dada a construção e eletrónica aprimorada destes drivers, é de supor que o circuito de *PFC* haja de forma ativa, adequando o seu funcionamento à potência da carga, promovendo assim melhores resultados.

Apesar de o driver *DALI* de Marca 4 ter visto o seu fator de potência reduzido em quase 15%, foi aquele que apresentou o menor valor de THD_I , 12,99%.

De forma geral, o driver 1-10V da Marca 1 foi o que teve menor THD_I , 8,39%, talvez devido ao sistema de dimerização analógico face ao digital dos drivers *DALI*.

Todos os drivers dimerizáveis cumprem os requisitos da norma quando no estado de 100%. Contudo, quando colocados no modo *stand-by*, ou seja, quando o driver permanece alimentado, mas o fluxo do *LED* é definido para 0%, apagado, falham no cumprimento dos limites indicados na norma em maior ou menor medida, verificando-se ainda uma queda expressiva no valor de fator de potência.

Além disso, todos os drivers testados consomem em *stand-by* 2 a 4 vezes mais energia que aquela indicada por organizações como a *US Energy Star*, Comissão Europeia ou *IEA 4E SSL*, com valor máximo de 0,5 W.

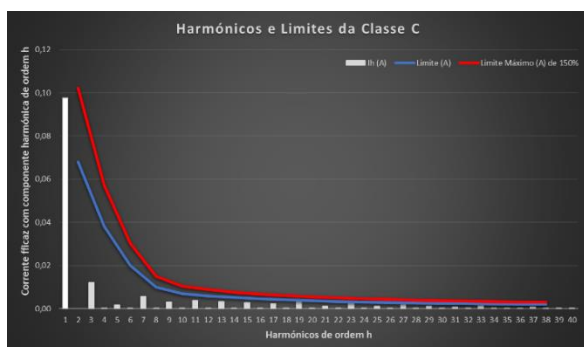
Avaliou-se ainda os dados recolhidos à luz dos limites indicados em b)3 como é possível verificar na Tabela 6. Aqui, continua a verificar-se a não conformidade com a norma do Driver *On/Off* de Marca 1.

Tabela 6 Resultados das medições harmônicas segundo os limites indicados em b)3

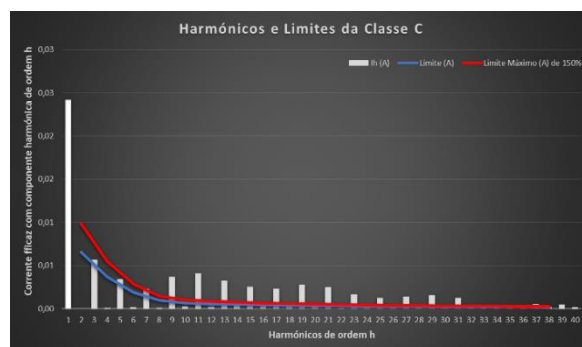
Identificação	Estado	THD ₁ <70%	I ₂ /I ₁ <5%	I ₃ /I ₁ <35%	I ₅ /I ₁ <25%	I ₇ /I ₁ <30%	I ₉ /I ₁ <20%	I ₁₁ /I ₁ <20%	Resultado
Marca 1 v. On/Off	100%	180,71%	0,00%	90,84%	84,55%	75,52%	64,47%	53,01%	Falha
Marca 2 v. On/Off	100%	12,64%	0,00%	12,06%	2,41%	1,77%	1,33%	1,07%	Cumpre
Marca 1 v. 1-10V	100%	8,39%	0,00%	5,90%	3,72%	2,74%	2,09%	1,72%	Cumpre
Marca 1 v. 1-10V	Stand-by	26,56%	0,00%	19,39%	11,95%	6,88%	5,42%	5,42%	Cumpre
Marca 1 v. DALI	100%	16,38%	0,00%	12,41%	1,71%	5,90%	3,08%	3,72%	Cumpre
Marca 1 v. DALI	Stand-by	46,03%	0,00%	23,24%	13,91%	9,48%	14,98%	16,90%	Cumpre
Marca 2 v. DALI	100%	26,38%	0,00%	23,82%	5,21%	5,67%	3,07%	2,94%	Cumpre
Marca 2 v. DALI	Stand-by	68,64%	0,00%	24,32%	23,92%	24,58%	22,52%	21,31%	Falha
Marca 3 v. DALI	100%	15,05%	0,00%	8,82%	4,75%	5,94%	2,17%	4,43%	Cumpre
Marca 3 v. DALI	Stand-by	94,86%	0,00%	36,09%	22,98%	35,11%	35,86%	26,80%	Falha
Marca 4 v. DALI	100%	12,99%	0,00%	3,96%	4,01%	6,07%	3,79%	5,35%	Cumpre
Marca 4 v. DALI	Stand-by	24,65%	0,00%	11,21%	10,53%	8,83%	7,30%	5,95%	Cumpre

Contudo, drivers *DALI* de Marca 1 e 4 e 1-10V de Marca 1 cumprem todos os requisitos deste ponto da norma, em ambos os estados, 100% e *stand-by*. Os drivers *DALI* de Marca 2 e 3 falham os requisitos da norma no estado de *stand-by*.

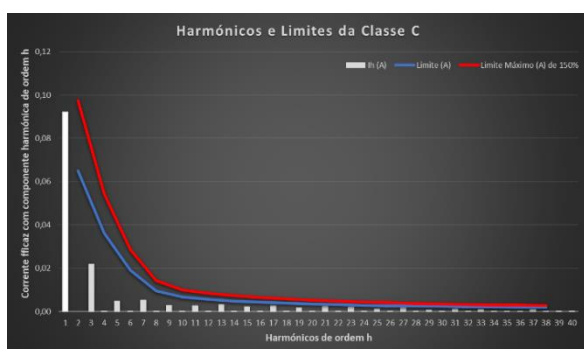
a) Driver Marca 1 v. *DALI* 100%



b) Driver Marca 1 v. *DALI stand-by*



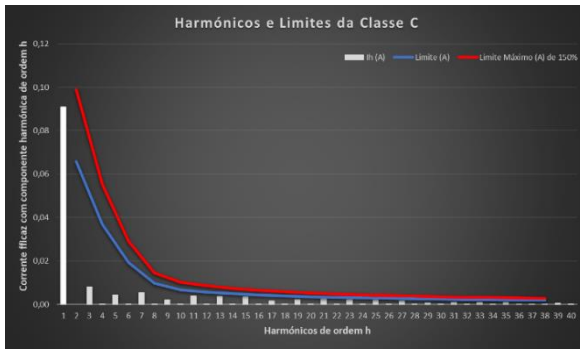
c) Driver Marca 2 v. *DALI* 100%



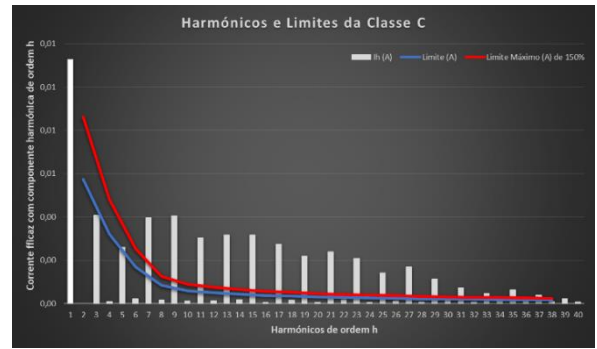
d) Driver Marca 2 v. *DALI stand-by*



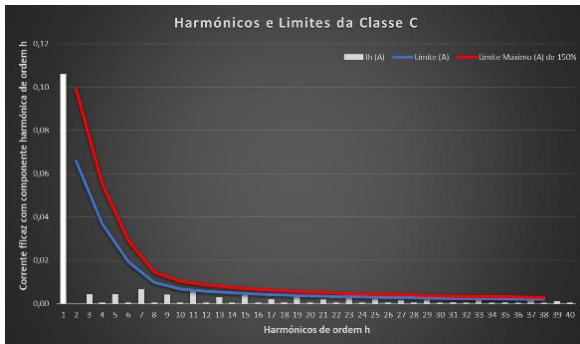
e) Driver Marca 3 v. *DALI* 100%



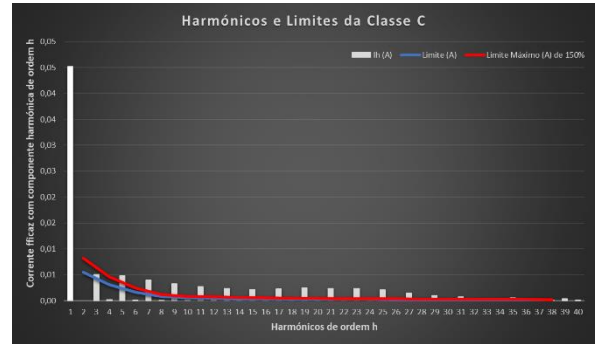
f) Driver Marca 3 v. *DALI stand-by*



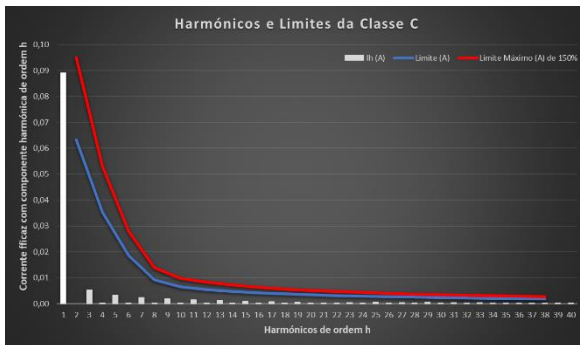
g) Driver Marca 4 v. *DALI* 100%



h) Driver Marca 4 v. *DALI stand-by*



i) Driver Marca 1 v. 1-10V 100%



j) Driver Marca 1 v. 1-10V *stand-by*

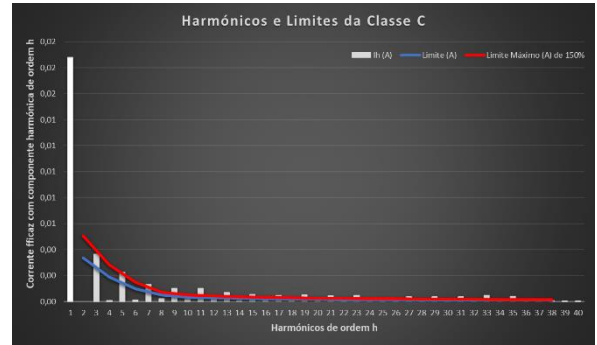
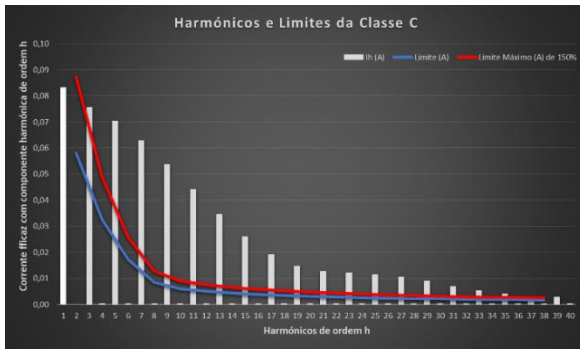


Figura 15 - Correntes harmónicas vs limites nos drivers *DALI* e 1-10V

Na Figura 15 é possível observar e comparar graficamente as componentes harmónicas e respetivos limites dos drivers *DALI* e 1-10V nos estados de 100% e *stand-by*.

Na Figura 16 compara-se graficamente os drivers *On/Off* das Marcas 1 e 2, sendo notória a diferença entre eles, haja vista que o 1 não está em conformidade com a norma e o 2 cumpre os requisitos desta.

a) Driver Marca 1 v. *On/Off*



b) Driver Marca 2 v. *On/Off*

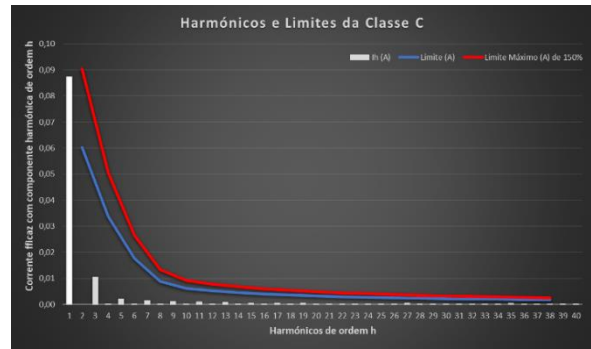
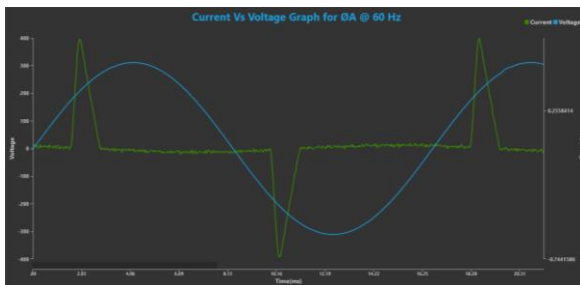


Figura 16 - Correntes harmônicas vs limites nos drivers *On/Off*

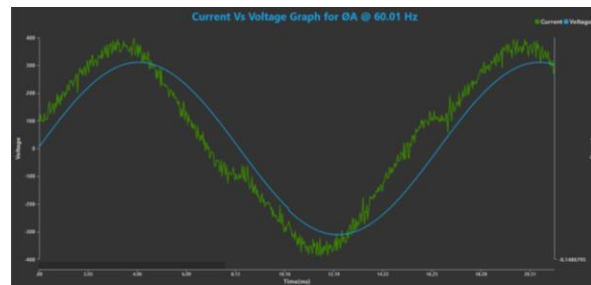
Nos Anexos B a H são apresentadas as tabelas que permitiram a produção dos resumos indicados nas Tabelas 5 e 6, bem como os gráficos exibidos nas Figuras 15 e 16.

Em todos os itens da Figura 17, abaixo, é possível perceber que as ondas de tensão são uma senoide quase que perfeita. Tal se deve ao THD_V que, como informado, tem expressão quase que insignificante.

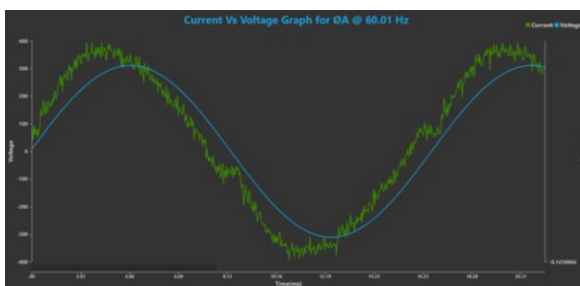
a) Driver Marca 1 v. *On/Off*



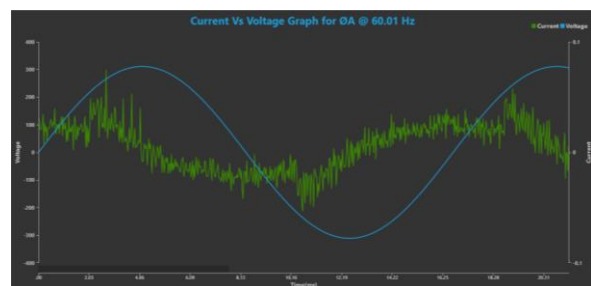
b) Driver Marca 2 v. *On/Off*



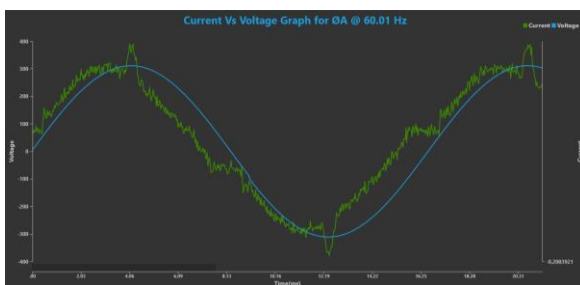
c) Driver Marca 1 v. 1-10V 100%



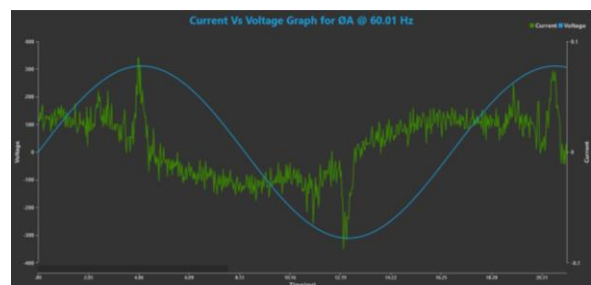
d) Driver Marca 1 v. 1-10V *stand-by*



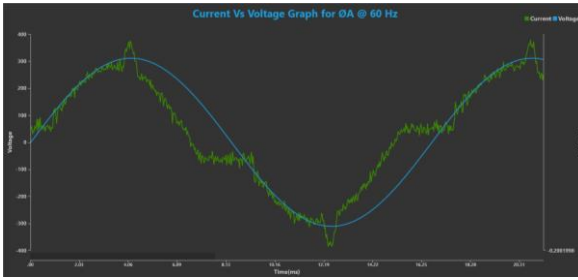
e) Driver Marca 1 v. *DALI* 100%



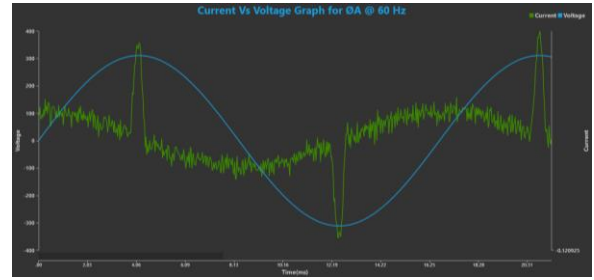
f) Driver Marca 1 v. *DALI stand-by*



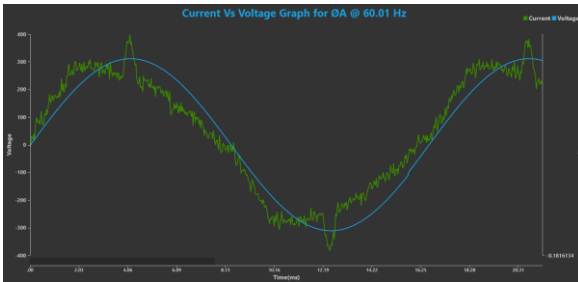
g) Driver Marca 2 v. *DALI* 100%



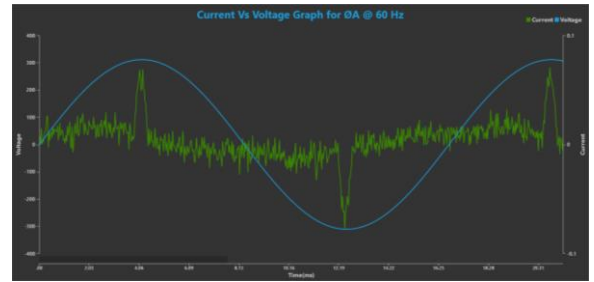
h) Driver Marca 2 v. *DALI stand-by*



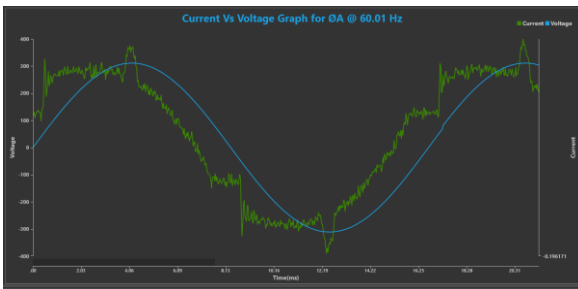
i) Driver Marca 3 v. *DALI* 100%



j) Driver Marca 3 v. *DALI stand-by*



k) Driver Marca 4 v. *DALI* 100%



l) Driver Marca 4 v. *DALI stand-by*

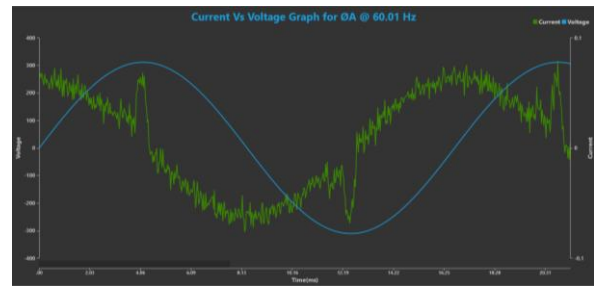


Figura 17 – Gráficos da corrente vs tensão de cada driver

Quando se analisa as ondas de corrente de cada um dos drivers é possível verificar graficamente as diferenças entre os drivers *On/Off* da marca 1 e 2. O de marca 2 tem uma forma de onda semelhante à sinusoidal enquanto o de marca 1 não, apresentando um pico na alternância positiva da onda e outro na alternância negativa, estando de acordo com os dados medidos e analisados pelos métodos b)1 e b)3, mostrados anteriormente.

No driver de marca 1 com dimerização 1-10V, verificamos que a onda é praticamente sinusoidal quando opera a 100% e, em *stand-by*, a distorção harmônica aumenta, distorcendo a forma de onda, falhando no cumprimento dos limites indicados em b)1, apesar de passar nos limites indicados em b)3.

Nos drivers *DALI*, a onda de corrente é semelhante à sinusoidal, em maior ou menor grau, quando operam a 100%. Quando em *stand-by*, observa-se um formato sinusoidal nas ondas de corrente dos drivers 1 e 4, apesar da existência de alguns picos de corrente, o que favorece

no cumprimento dos limites indicados em b)3. Nenhum dos drivers *DALI* em *stand-by* cumpre, contudo, os requisitos indicados em b)1.

Como antecipado, é possível que harmônicos da mesma ordem, gerados por equipamentos elétricos diferentes, se anulem ou sejam mitigados se apresentarem ângulos de fase opostos. Assim, para avaliar esta hipótese, foram analisados os drivers nos cenários de funcionamento em 100% e em *stand-by*, nos harmônicos de ordem mais significativa: 3, 5, 7, 9 e 11.

Na Tabela 7 apresentam-se as amplitudes e ângulos da corrente para as ordens de harmônicos indicados, tabulados na forma complexa para todos os drivers funcionando a 100%.

Tabela 7 Ângulo de fase de corrente dos drivers a 100%

Identificação	Harmónico de ordem									
	3		5		7		9		11	
	Irms	Θ (°)	Irms	Θ (°)	Irms	Θ (°)	Irms	Θ (°)	Irms	Θ (°)
Marca 1 v. On/Off	-0,0640	147,81	0,0421	-53,24	-0,0175	106,20	-0,0034	-93,62	0,0165	67,98
Marca 2 v. On/Off	-0,0079	139,04	-0,0005	102,49	0,0006	65,98	0,0011	23,96	0,0009	-7,43
Marca 1 v. 1-10V	-0,0046	-152,13	-0,0014	114,15	0,0003	82,74	0,0009	59,54	0,0011	44,61
Marca 1 v. DALI	-0,0110	155,08	-0,0011	132,22	0,0033	55,08	-0,0025	145,83	0,0035	-16,69
Marca 2 v. DALI	-0,0170	140,75	-0,0035	137,65	0,0024	62,27	-0,0027	-161,45	0,0016	-52,69
Marca 3 v. DALI	-0,0029	-111,04	-0,0029	-132,28	0,0004	85,77	-0,0005	-105,36	0,0023	54,55
Marca 4 v. DALI	0,0028	48,16	-0,0040	160,64	0,0064	-0,19	0,0038	18,67	-0,0030	-121,73

Na Tabela 8 apresentam-se as amplitudes e ângulos da corrente para as ordens de harmônicos indicados, tabulados na forma complexa para todos os drivers dimerizáveis em *stand-by*.

Tabela 8 Ângulo de fase de corrente dos drivers dimerizáveis em stand-by

Identificação	Harmónico de ordem									
	3		5		7		9		11	
	Irms	Θ (°)	Irms	Θ (°)	Irms	Θ (°)	Irms	Θ (°)	Irms	Θ (°)
Marca 1 v. 1-10V	0,0030	35,18	-0,0014	126,98	-0,0006	-119,75	0,0010	12,52	-0,0005	119,57
Marca 1 v. DALI	0,0056	8,02	0,0019	54,81	0,0011	62,32	-0,0003	95,08	-0,0036	153,03
Marca 2 v. DALI	0,0046	-33,57	0,0054	5,40	0,0038	47,19	0,0004	85,94	-0,0027	124,57
Marca 3 v. DALI	0,0008	78,56	-0,0019	136,46	-0,0030	-140,19	0,0033	-34,95	0,0018	54,61
Marca 4 v. DALI	0,0031	-52,96	0,0045	-20,59	0,0040	1,18	0,0031	22,05	0,0021	38,88

Apenas pela análise das Tabelas 7 e 8 é possível verificar que não há, nas amostras testadas, mitigação relevante da distorção harmônica, já que não se encontram números complexos em quadrantes opostos. Exceção poderá ser dada, de forma parcial, aos drivers *DALI* de marca 3 e 4, quando operam a 100%, onde há uma mitigação parcial dos harmônico de ordem

3. É possível observar nas Figuras de 18 a 22, para funcionamento a 100%, e nas Figuras de 23 a 27, quando em *stand-by*, que a distribuição dos ângulos de fase não é homogênea.

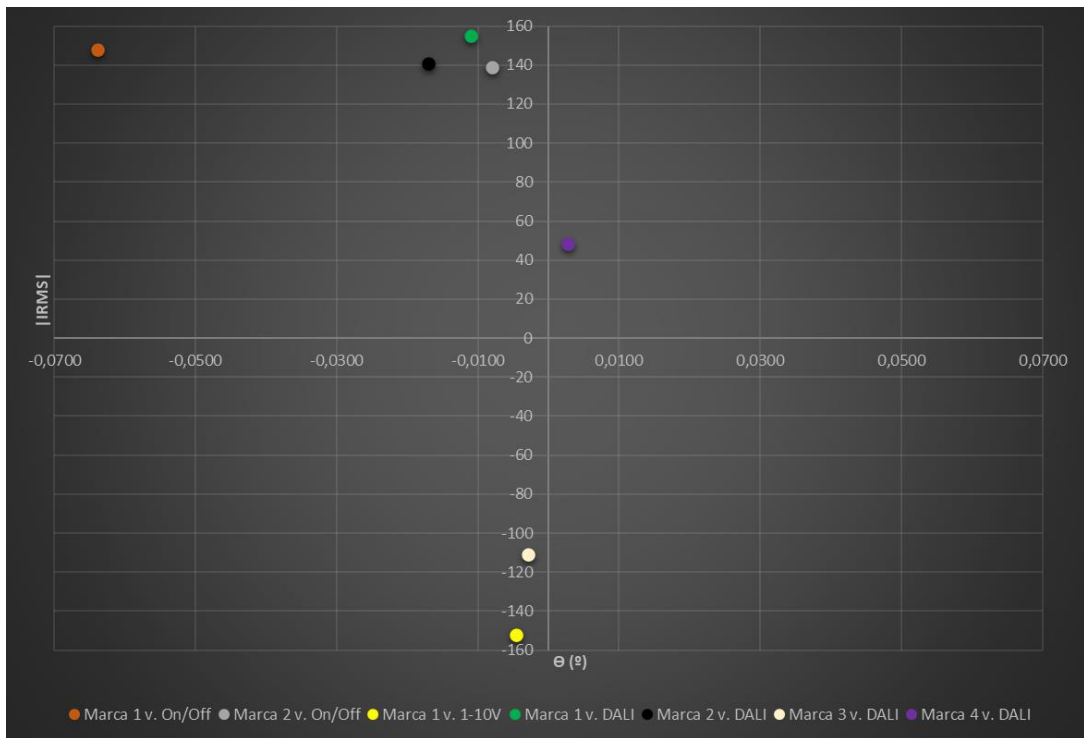


Figura 18 – Dist. de ângulos de fase quando a 100% para harmônicos de ordem 3

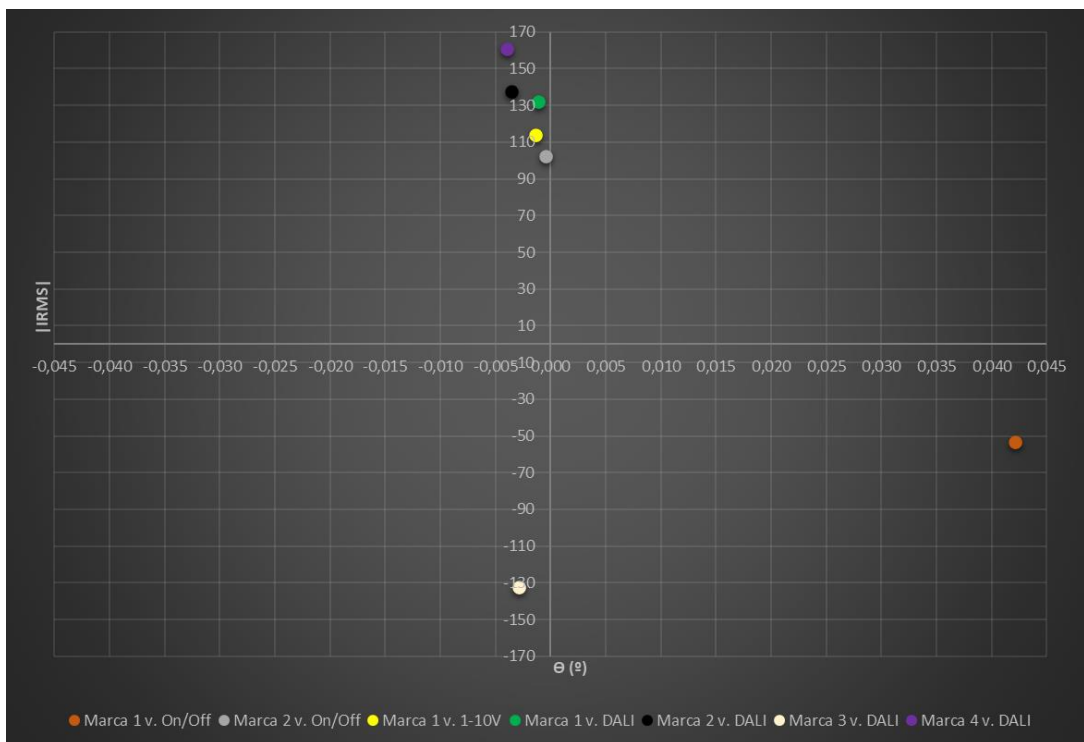


Figura 19 – Dist. de ângulos de fase quando a 100% para harmônicos de ordem 5

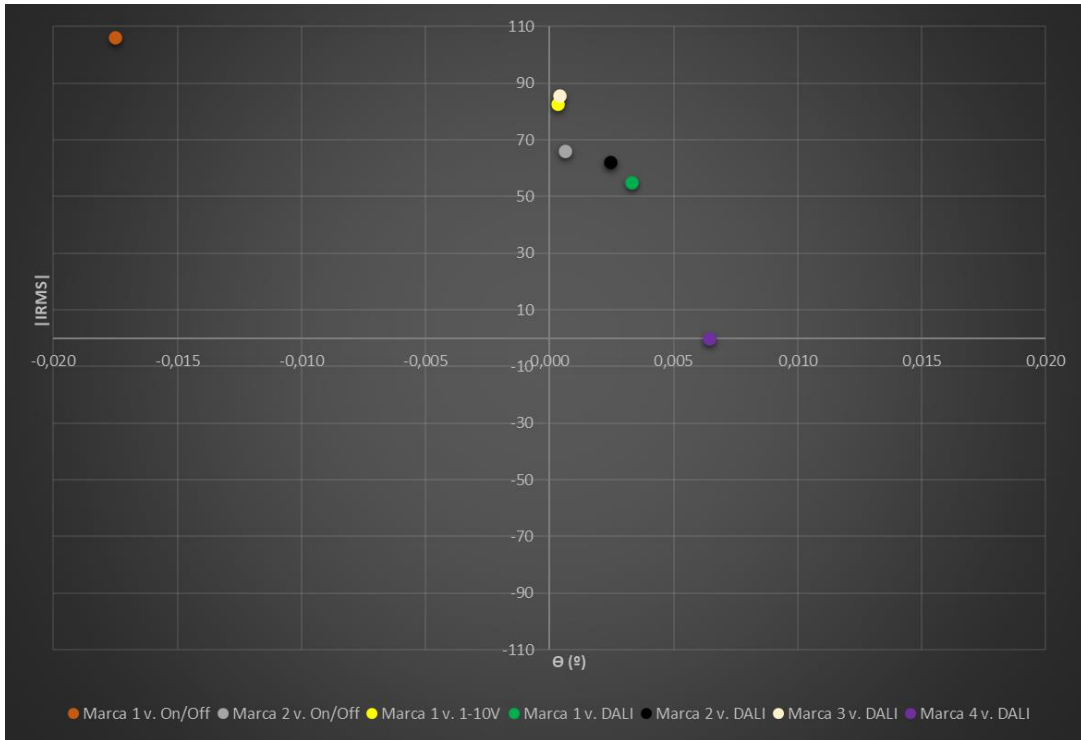


Figura 20 – Dist. de ângulos de fase quando a 100% para harmônicos de ordem 7

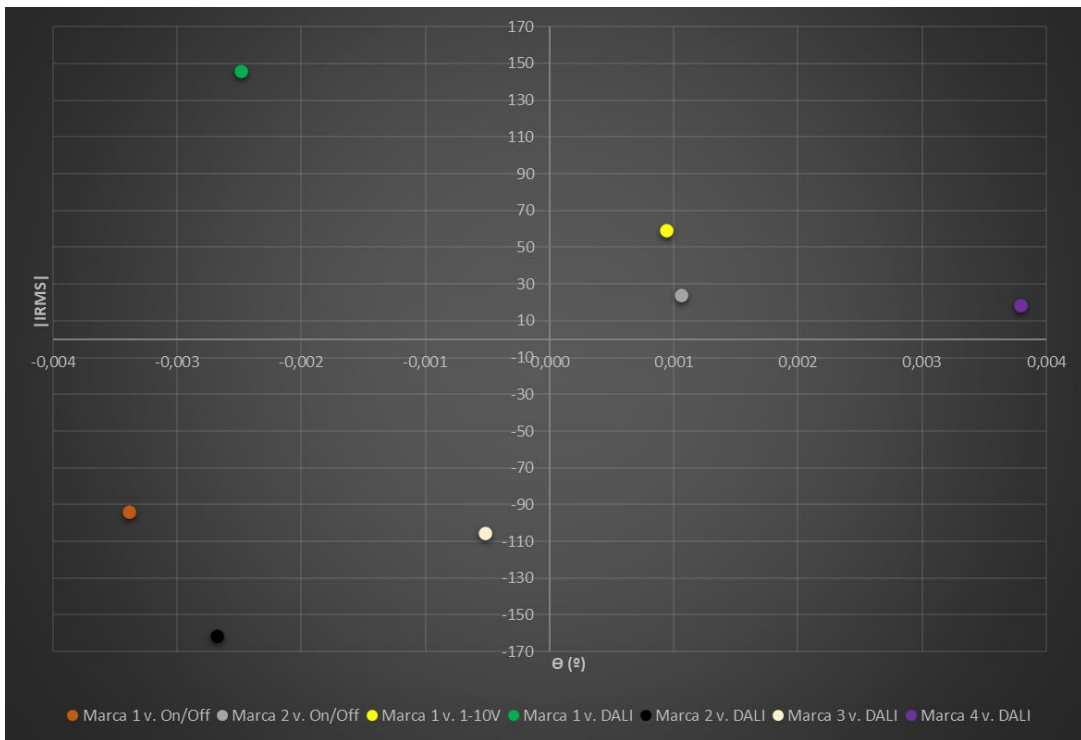


Figura 21 – Dist. de ângulos de fase quando a 100% para harmônicos de ordem 9

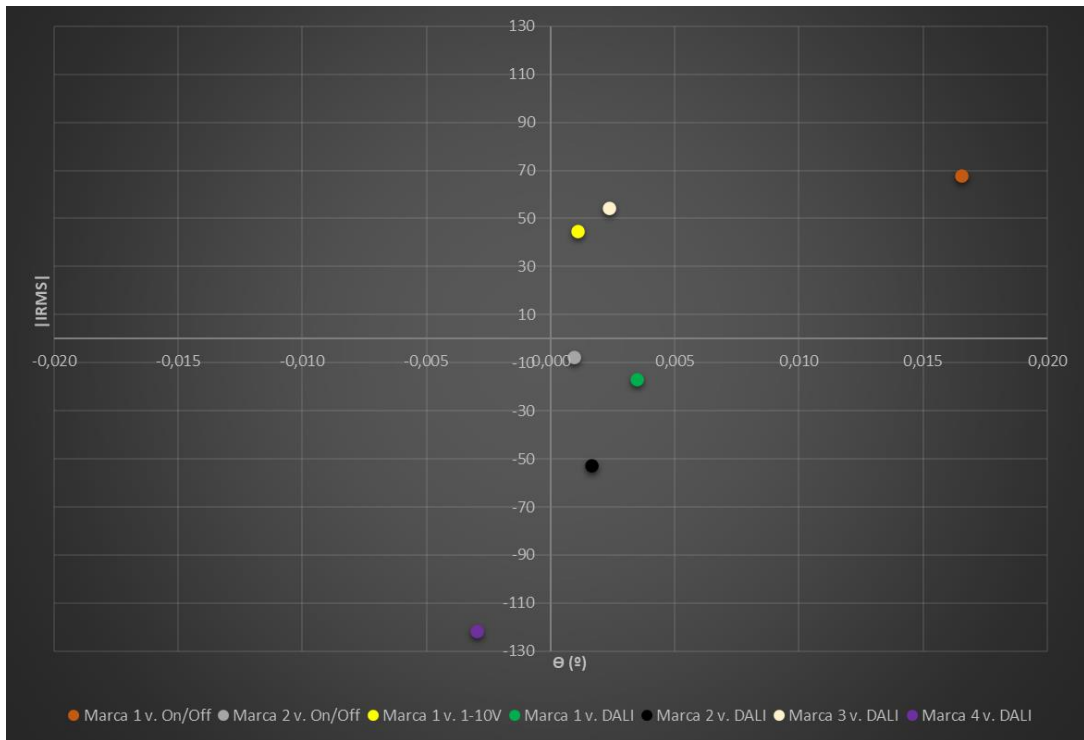


Figura 22 – Dist. de ângulos de fase quando a 100% para harmônicos de ordem 11

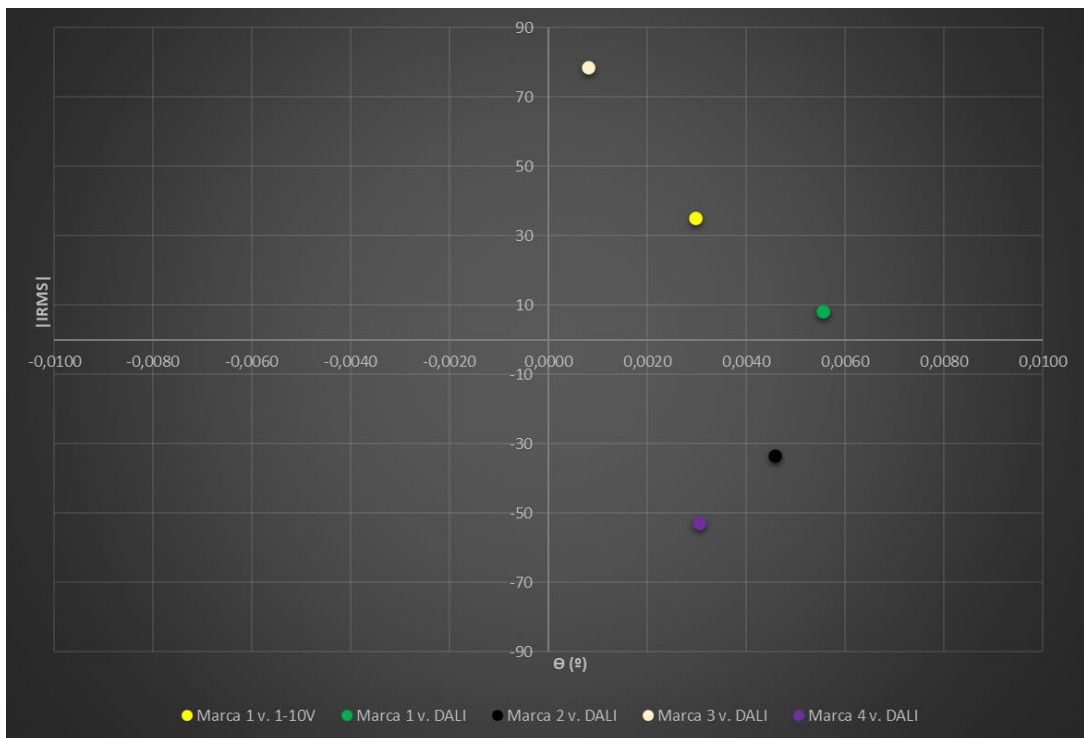


Figura 23 – Dist. de ângulos de fase quando em *stand-by* para harmônicos de ordem 3

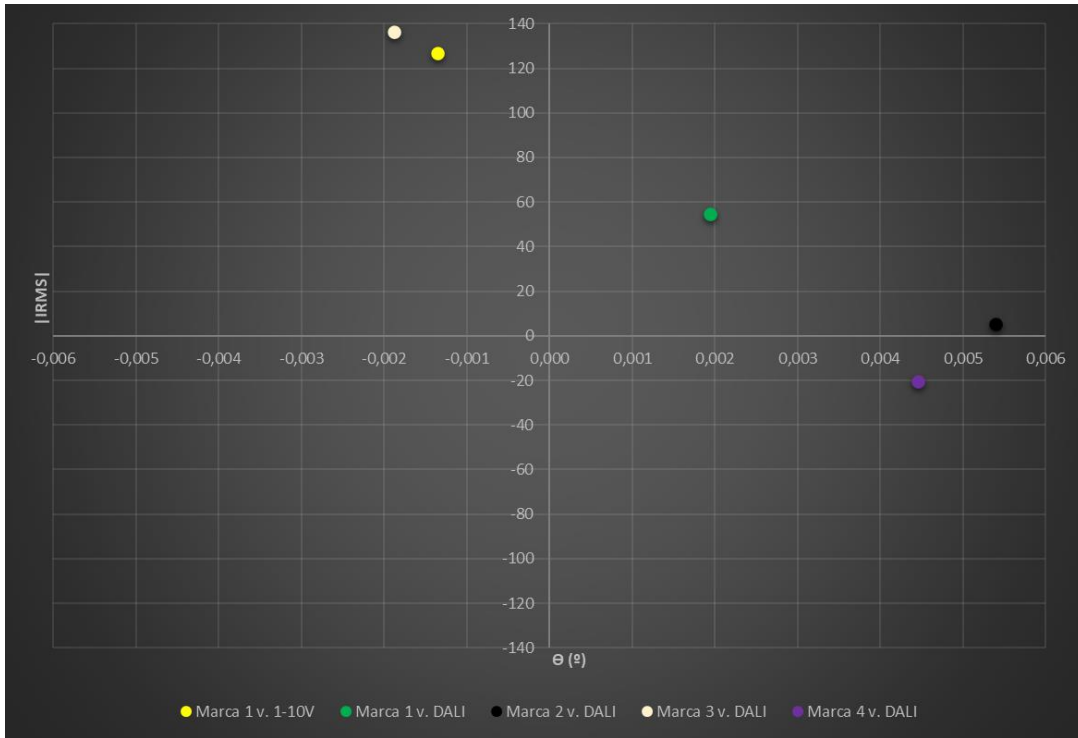


Figura 24 – Dist. de ângulos de fase quando em *stand-by* para harmônicos de ordem 5

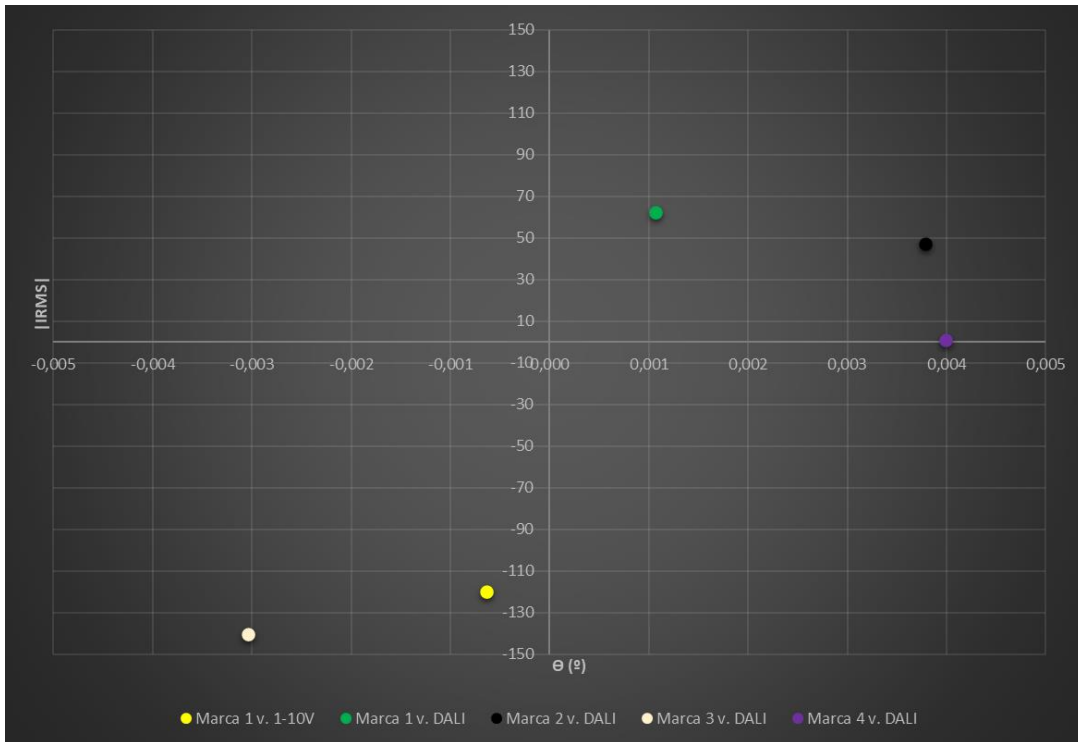


Figura 25 – Dist. de ângulos de fase quando em *stand-by* para harmônicos de ordem 7

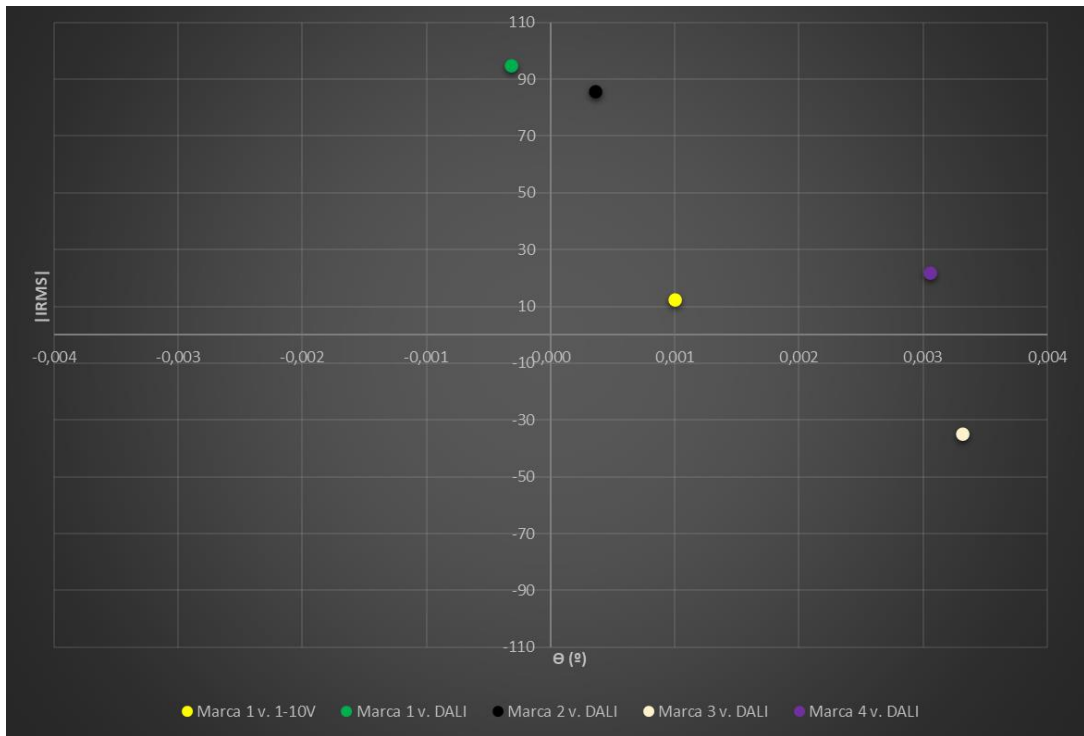


Figura 26 – Dist. de ângulos de fase quando em *stand-by* para harmônicos de ordem 9

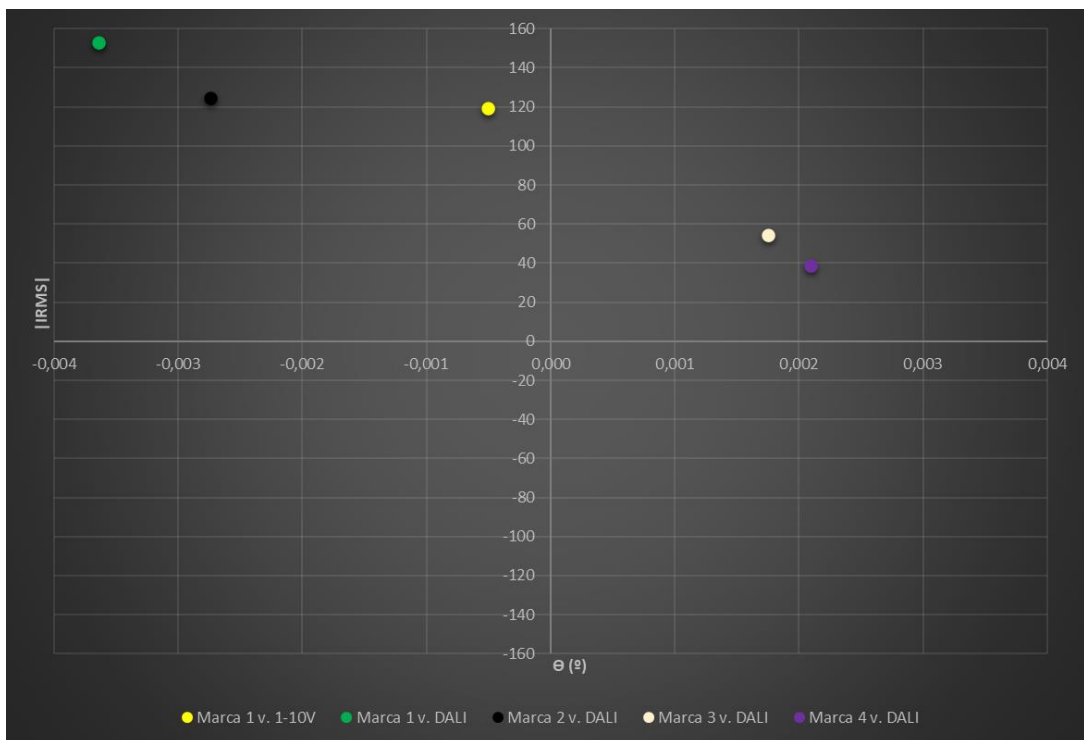


Figura 27 – Dist. de ângulos de fase quando em *stand-by* para harmônicos de ordem 11

Com os dados obtidos e aqui apresentados no Capítulo 4, é possível perceber que há o cumprimento da norma da maioria dos drivers testados quando operam na faixa de 100% do fluxo de luz emitido. Contudo, quando em *stand-by*, todos os drivers falham quando analisados à luz dos limites indicados em b)1 e apenas os drivers *DALI* de Marca 2 e 3 falham quando analisados à luz dos limites indicados em b)3. Também não é possível confirmar que há mitigação relevante da distorção harmônica nos drivers testados.

5. CONCLUSÕES

Aos dias de hoje, praticamente todos os equipamentos de iluminação são baseados em tecnologia *LED*. Estes equipamentos incluem vários circuitos eletrônicos para alimentar corretamente os *LED* o que, não obstante ao fator de potência superior a 90% que alguns detêm, pode criar distúrbios harmônicos na rede elétrica dadas as suas características de funcionamento.

A principal finalidade desta dissertação é analisar o impacto que as fontes de luz *LED* têm na rede elétrica. Através de ensaios laboratoriais, medições e quantificação precisa da ordem dos harmônicos e do fator de potência foi aferida a conformidade em relação à norma *IEC 61000-3-2* de vários drivers. É dado particular ênfase à análise do conteúdo harmônico que é inserido na rede elétrica, por drivers *On/Off* e dimerizáveis em estados em que a luz está a 100% e em *stand-by*, apagada. Os ensaios mostram que drivers dimerizáveis cumprem os requisitos da norma e têm conteúdo harmônico menor do que aquele emitido por drivers *On/Off*, que não cumprem a norma (Marca 1, apenas). Tal dever-se-á ao facto de os últimos terem uma construção mais simples e de menor qualidade, de forma a que os fabricantes obtenham um produto barato e com maior fatia de mercado. Contudo, até mesmo os drivers dimerizáveis falham os limites impostos pela norma quando são colocados no modo *stand-by*.

É certo que a norma só indica a necessidade de cumprimento dos limites à carga máxima, nominal, dos equipamentos, por considerar que cargas com valores de potência inferiores a 5W têm conteúdos harmônicos negligenciáveis. Contudo, apesar do movimento atual de redução do consumo de energia relativo à iluminação, se levado em conta o “efeito ricochete”, há a previsão de que este consumo volte a subir, ultrapassando entre as décadas de 2060 e 2070 o limite atingido em 2015. Este efeito pode ser devido ao aumento da população mundial e/ou devido à possibilidade de iluminar novas áreas que antes não o eram, devido à constante redução de preço da tecnologia *LED*. Outrossim, o consumo de energia em *stand-by* por *Smart Lighting* poderá ser maior do que aquele consumido para efetivamente gerar luz. Assim, o que hoje é considerado negligenciável para um equipamento *LED*, pode em breve ser uma fatia importante do consumo de energia elétrica, com implicações graves na qualidade da energia, já que massivos volumes de equipamentos de iluminação, associados a sistemas de *Smart Lighting*, poderão ser colocados em *stand-by*, ou níveis médios de dimerização, injetando grandes quantidades de conteúdo harmônico na rede.

Além disso, e como foi possível observar, drivers da Marca 1, nas versões 1-10V e *DALI*, e driver da Marca 4 *DALI*, em *stand-by*, não estão em conformidade com os limites indicados em b)1, mas cumprem os limites indicados em b)3. Como a decisão, neste caso, do método de ensaio e medição é do fabricante, este pode escolher aquele que mais lhe convém, podendo assim disponibilizar no mercado equipamentos de menor qualidade, prejudicando o sistema elétrico como um todo.

As fontes de alimentação *LED* são produzidas da forma mais simples e barata possível, atendendo ainda assim à norma *IEC 61000-3-2*. Contudo, os fabricantes estão a balizar os seus esforços e recursos de desenvolvimento nos limites máximos de distorção harmônica para operação num estado permanente e à carga nominal apenas. Cria-se assim a possibilidade de incremento da distorção harmônica aquando da dimerização. Hoje, já temos algumas soluções para diminuição dos conteúdos harmônicos, como circuitos de *PFC*, sobre os quais o uso deveria ser obrigatório, bem como definido o seu tipo, qualidade dos componentes e modelo de conexão eletrónica com a fonte de luz.

Atualmente, não está definida nenhuma métrica de eficiência que capture adequadamente tanto as potencialidades de funcionamento quanto o modo *stand-by* das *Smart Lighting*, considerando o número de horas em cada um dos modos. Também não existem,

internacional ou regionalmente, metodologias de teste para aferição de métricas de eficiência e de funcionalidades inteligentes como parte de uma possível regulamentação. Desta forma, é de extrema importância que as futuras revisões da norma e legislações se debrucem mais atentamente sobre estes temas, procurando mitigar os efeitos nocivos do conteúdo harmónico em toda a faixa de potência dos equipamentos de iluminação, incluindo o modo *stand-by*, bem como impondo limites mais rígidos que deverão ser controlados e certificados. É, portanto, benéfico desenvolver especificações exequíveis e eficazes para limitar a entrada no mercado de produtos ineficientes. Ao fazer isso, limitar-se-á o impacto negativo que esses produtos podem ter no mercado, ao mesmo tempo que se incentivará os fabricantes a considerar novas estratégias para melhor gerenciar o consumo de energia dos seus produtos. Todavia, tais mudanças deverão ser realizadas de forma rápida pois equipamentos de iluminação *LED* têm ciclos de vida longos, podendo grande parte deles não ser abrangido pelas novas normas e legislações.

Do lado dos fabricantes, há a possibilidade de aumentar a compatibilidade entre os sistemas de controlo e os equipamentos de iluminação, melhorando assim a eficiência e performance do conjunto. Além disso, deverão começar a comunicar as características de funcionamento dos seus equipamentos em toda a faixa de operação se estes forem declarados como “dimerizáveis. Tal é de suma importância para engenheiros eletroeletrónicos, investidores e clientes finais, na medida em que estes deverão ter ferramentas que lhes permitam reconhecer os produtos de melhor qualidade ou de escolher aqueles que melhor se adequam às suas instalações.

Outra solução, poderá passar pela *IoT* e com os avanços nas chamadas redes elétricas inteligentes e respetivos smart-meters (medidores inteligentes, em português). Além da conectividade em tempo real criada por estes equipamentos, poder-se-á efetuar as medições do fator de potência do consumidor bem como do conteúdo harmónico por ele gerado permitindo, eventualmente, a correção deste localmente, otimizando o consumo de energia.

Como trabalhos futuros poder-se-á indicar o uso destes e de outros dados para a construção de modelos computacionais de forma a estudar os impactos destes efeitos em cenários distintos de penetração na rede elétrica. Bem como aprofundar os estudos e análises relativas à mitigação da distorção harmónica pelo uso de diferentes equipamentos de iluminação, haja vista às conclusões contrastantes de outros estudos em comparação com as obtidas com este estudo, onde não se obteve mitigação relevante.

Referências Bibliográficas

- AKILA, Abdelrahman Ahmed; YOUSSEF, Kamelia; YASSIN, Ibrahim. Harmonics Monitoring Survey on LED Lamps. Egito: Renewable Energy And Sustainable Development (RESO), 2017. 7 p.
- ALMEIDA, Aníbal de et al. Solid State Lighting Review – Potential and Challenges in Europe. Renewable and Sustainable Energy Reviews, [S.L.], v. 34, p. 30-48, jun. 2014. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.029>.
- COLCLOUGH, Graham. Smart Lighting in Cities. Eu: Smart Cities Marketplace, 2021. Disponível em: https://smart-cities-marketplace.ec.europa.eu/sites/default/files/2021-06/Smart%20Lighting%20Factsheet_0.pdf.
- DIAS, Guilherme A. D. Harmônicas em Sistemas Industriais. 2. Edição. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2002.
- DIKEL, E. Erhan et al. Evaluating the Standby Power Consumption of Smart LED Bulbs. Elsevier: Energy & Buildings. Ontário, Canadá, p. 71-79. jan. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.019>.
- DOE (org.). NPRT Support Document: Energy Efficiency Program for Consumer Products and Commercial and Industrial Equipment: General Service Lamps. Estados Unidos, 2016.
- DRGONA, Peter et al. Research of the Negative Influence of Dimmed LED Luminaires in Context of Smart Installations. Sustainability. Zilina, Eslováquia, p. 1-22. 2021.
- ECONOLER. CSA Group (org.). Standby Power Specifications for Lighting Systems. Québec, Canadá, 2017.
- ELECTRICAL INDIA (org.). Lighting Systems And Their Effect On Power Quality. 2015. Disponível em: <https://www.electricalindia.in/lighting-systems-and-their-effect-on-power-quality/>.

IBERDROLA (Espanha) (org.). Li-Fi: Internet à velocidade da luz. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/inovacao/tecnologia-lifi>.

Handschin, T. (2020). Changes to IEC 61000-3-2 AMD1 ED5. Reinach, Suíça: AMETEK CTS.

IEC 61000-3-2. (Julho de 2020). IEC 61000: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for Harmonic Current Emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase). 5.1. Genebra, Suíça: IEC.

IEC List. (s.d.). National Committees. Disponível em: <https://www.iec.ch/national-committees#nclist>.

INSTITUTE FOR ENERGY RESEARCH (EUA) (org.). History of Electricity. Disponível em: <https://www.instituteforenergyresearch.org/history-electricity/>.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (org.). “Light’s Labour’s Lost” – Policies for Energy-efficient Lighting, OCDE, 2006. Disponível em: <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/20836234>.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - SHC (org.). Advanced Lighting for Retroffiting Buildings. Disponível em: <https://task50.iea-shc.org/description>.

IQBAL, Muhammad Naveed et al. Comparison of Current Harmonic Emission by Different Lighting Technologies. 2020 Ieee 61Th International Scientific Conference On Power And Electrical Engineering Of Riga Technical University (Rtucon), Riga, Latvia, 2020. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/rtucon51174.2020.9316615>.

JACKMAN, Josh. What is a Smart Home System? A 2022 Guide. Disponível em: <https://www.theecoexperts.co.uk/smart-homes/system-guide>.

KNUDSEN, H., ARSENAULT, C., & MENG QI ZHANG, N. Evaluating the Energy Consumption of Network-Enabled Devices. National Research Council Canada, 2017

KOFOD, Casper. Solid State Lighting Annex: Task 7: Smart Lighting – New Features Impacting Energy Consumption. IEA 4E, 2016.

- LEDVANCE. Princípios básicos do LED. Disponível em: <https://www.ledvance.com.br/produtos/conhecimentos-sobre-o-produto/nocoes-basicas-do-led/index.jsp>.
- LIGHTING MANUFACTURER (org.). LED Driver (LED Power Supply): What Is It and How It Works? Disponível em: <https://www.manufacturer.lighting/info/208/>.
- MATTHEW REYNOLDS. EDN Asia. Lighting as a Platform: incorporating connectivity, intelligence. Incorporating connectivity, intelligence. Disponível em: <https://www.ednasia.com/lighting-as-a-platform-incorporating-connectivity-intelligence/>
- MAURO, Salvatore di et al. Analysis of the current harmonics injected into the power grid by dimmable LED lamps. In: INTERNATIONAL ANNUAL CONFERENCE, AEIT, 2016. Capri, Italy. IEEE. p. 1-6. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7892796/figures#figures>.
- MOTLAGH, Naser Hossein; MOHAMMADREZAEI, Mahsa; HUNT, Julian; ZAKERI, Behnam. Internet of Things (IoT) and the Energy Sector. Mdpi: Energies 2020. Suíça, p. 1-27. 2020.
- PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY (E.U.A.) (org.). CALiPER - Retail Lamps Study 3.1: dimming, flicker, and power quality characteristics of led a lamps. [S.L.]: U.S. Department Of Energy, 2014. 44 p.
- PHILIPS (org.). Welcome to the Smart City. Disponível em: https://www.lighting.philips.co.uk/systems/connected-lighting/connected-lighting-for-smart-cities#smart_city_trends.
- PHILIPS HUE (org.). Smart lighting explained. Disponível em: <https://www.philips-hue.com/en-us/explore-hue/blog/what-is-smart-lighting>
- POURARAB, Morteza Hossein et al. Harmonic analysis of led street lighting according to IEC61000-3-2: A case study. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION, 23., 2015, Lyon. CIRED, 2015. p. 1-4.

- RAMLJAK, Ivan; TOKIĆ, Amir. Harmonic emission of LED lighting. Aims Press: Energy. Bósnia e Herzegovina, p. 1-26. 25 dez. 2019.
- RODRIGUES, Ricardo. Você sabe o que é uma smart home? Disponível em: <https://blog.ingrammicro.com.br/inovacao-e-tendencias/smart-home-o-que-e/>.
- SANTOS, Felipe. Qualidade de Energia - Comparação das Normas IEC 61000-3-2 e IEEE 519. 2007. 57 f. Tese (Doutorado) - Curso de DEE, UFRJ, R.J. Brasil, 2007.
- STATISTA. Smart Home. Disponível em: <https://www.statista.com/outlook/dmo/smart-home/comfort-lighting/worldwide>.
- SOUSA, Fernando. O que é smart home? Conheça aparelhos que deixam sua casa conectada. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2019/01/o-que-e-smart-home-conheca-aparelhos-que-deixam-sua-casa-conectada.ghtml>.
- TARABA, Michal et al. The Effect of Dimming and non-Dimming LED Lights on the Quality of the Electrical Grid. 2019 20Th International Scientific Conference On Electric Power Engineering (Epe), Kouty Nad Desnou, Czech Republic, p. 1-5, maio 2019. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/epe.2019.8778175>.
- TECHAERIS. Infographic: Stats and facts on smart homes. Disponível em: <https://techaeris.com/2018/12/19/infographic-stats-and-facts-on-smart-homes/>.
- THE ONE BRIEF (org.). Casas Inteligentes: Quando a Tecnologia Bate à sua Porta. Disponível em: <https://theonebrief.com/latam/portugues/post/casas-inteligentes-quando-a-tecnologia-bate-a-sua-porta/>.
- THIBAUT ABERGEL (França). International Energy Agency (org.). Lighting: Tracking report. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/lighting>.
- THOMAS HANDSCHIN (Suíça). Ametek Cts (org.). CHANGES TO IEC 61000-3-2: Harmonics current emissions. Reinach: Ametek Cts, 2020.
- UDDIN, Sohel et al. An analysis of harmonics from dimmable LED lamps. In: International Power Engineering and Optimization Conference, PEOCO, 2012. Melaka, Malaysia. IEEE. p. 1-5. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6230857>.

VERMA, Piyush et al. CFL to LED Transition: an analysis from harmonics perspective. In: IEEE International Conference On Power System Technology (Powercon), IEEE 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/powercon.2016.7754034>.

YOELIT HIEBERT. EDN Asia. LED lighting design considerations for smart cities. Disponível em: https://www.ednasia.com/led_design_smart_cities/.

ZISSIS, G., BERTOLDI, P. AND RIBEIRO SERRENHO, T., Update on the Status of LED -Lighting world market since 2018, EUR 30500 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-27244-1, doi:10.2760/759859, JRC122760.

Anexo A. Análise das fontes de alimentação

Na Tabela A-1 estão discriminados os valores da razão entre a tensão com componente harmónica de ordem h e a tensão eficaz (RMS) que levaram à construção do gráfico apresentado na Figura 11.

Tabela A-1 Razão entre tensão harmónica de ordem h e a tensão eficaz

h	Limite V_h/V_1	Marca 1 On/Off	Marca 2 On/Off	Marca 1 1-10V	Marca 1 DALI	Marca 2 DALI	Marca 3 DALI	Marca 4 DALI							
2	0,20%	0,01%	Cumpre	0,12%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,19%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,05%	Cumpre	0,00%	Cumpre
3	0,90%	0,11%	Cumpre	0,08%	Cumpre	0,09%	Cumpre	0,09%	Cumpre	0,10%	Cumpre	0,05%	Cumpre	0,09%	Cumpre
4	0,20%	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,07%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,05%	Cumpre	0,00%	Cumpre
5	0,40%	0,02%	Cumpre	0,02%	Cumpre	0,04%	Cumpre	0,03%	Cumpre	0,04%	Cumpre	0,03%	Cumpre	0,04%	Cumpre
6	0,20%	0,00%	Cumpre	0,02%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,03%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,04%	Cumpre	0,00%	Cumpre
7	0,30%	0,03%	Cumpre	0,02%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,03%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,04%	Cumpre	0,01%	Cumpre
8	0,20%	0,00%	Cumpre	0,02%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,02%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,04%	Cumpre	0,00%	Cumpre
9	0,20%	0,02%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,04%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,03%	Cumpre	0,01%	Cumpre
10	0,20%	0,00%	Cumpre	0,02%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,03%	Cumpre	0,00%	Cumpre
11 - 40	0,10%	0,01%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
11	0,10%	0,02%	Cumpre	0,02%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,03%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,02%	Cumpre	0,00%	Cumpre
12	0,10%	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,02%	Cumpre	0,00%	Cumpre
13	0,10%	0,02%	Cumpre	0,02%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,02%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,02%	Cumpre	0,00%	Cumpre
14	0,10%	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
15	0,10%	0,01%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,02%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
16	0,10%	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
17	0,10%	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre
18	0,10%	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre
19	0,10%	0,01%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
20	0,10%	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
21	0,10%	0,01%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
22	0,10%	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
23	0,10%	0,01%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
24	0,10%	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
25	0,10%	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
26	0,10%	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
27	0,10%	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
28	0,10%	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
29	0,10%	0,01%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
30	0,10%	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
31	0,10%	0,01%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
32	0,10%	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
33	0,10%	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre
34	0,10%	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre
35	0,10%	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre
36	0,10%	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre
37	0,10%	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre
38	0,10%	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre
39	0,10%	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre
40	0,10%	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre	0,01%	Cumpre	0,00%	Cumpre

Anexo B. Relatório do driver de Marca 1 On/Off

Tabela B-1 Relatório de análise do Driver de Marca 1 On/Off a 100%

Relatório de Teste	
IEC 61000-3-2 Emissão de Correntes Harmônicas	

Classe C	Equipamento com potência $\geq 5W$ e $\leq 25W$	Resultado do teste: Não cumpre com requisitos da norma
Driver	Marca 1 On/Off 100%	

V _{rms} (V)	219,850	F (Hz)	60,008	THC (A)	0,1504	< 0,6% x I _{rms}	
I _{pico} (A)	0,747	I _{rms} (A)	0,172	THD ₁ (%)	180,71%		0,001032
I ₁ (A)	0,083	fc	4,340	POHC (A)	0,0271		< 5mA
P (W)	17,110	FP	0,452	POHC _{LM} (A)	0,0074		0,005

Ordem Harmônica (h)	I _h (A)	I _h /I ₁ (%)	Limite (A)	% do Limite	Limite Máximo (A) de 150%	% do Limite Máximo	Estado	I _h < 0,6% . I _{rms} ou I _h < 5mA
2	0,00000	0,00%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
3	0,07558	90,84%	0,05817	129,92%	0,08726	86,62%	Cumpre	FALSO
4	0,00000	0,01%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
5	0,07035	84,55%	0,03251	216,39%	0,04876	144,26%	Cumpre	FALSO
6	0,00014	0,17%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
7	0,06283	75,52%	0,01711	367,23%	0,02567	244,82%	Não cumpre	FALSO
8	0,00018	0,22%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
9	0,05364	64,47%	0,00856	626,99%	0,01283	417,99%	Não cumpre	FALSO
10	0,00019	0,23%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
11	0,04411	53,01%	0,00599	736,56%	0,00898	491,04%	Não cumpre	FALSO
12	0,00016	0,19%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
13	0,03448	41,44%	0,00507	680,38%	0,00760	453,59%	Não cumpre	FALSO
14	0,00008	0,10%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
15	0,02594	31,18%	0,00439	590,68%	0,00659	393,79%	Não cumpre	FALSO
16	0,00022	0,27%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
17	0,01908	22,93%	0,00387	492,45%	0,00581	328,30%	Não cumpre	FALSO
18	0,00009	0,11%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
19	0,01473	17,70%	0,00347	424,74%	0,00520	283,16%	Não cumpre	FALSO
20	0,00011	0,14%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
21	0,01268	15,24%	0,00314	404,29%	0,00471	269,53%	Não cumpre	FALSO
22	0,00010	0,13%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
23	0,01214	14,59%	0,00286	423,97%	0,00430	282,65%	Não cumpre	FALSO
24	0,00016	0,19%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
25	0,01141	13,71%	0,00263	432,98%	0,00395	288,65%	Não cumpre	FALSO
26	0,00013	0,16%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
27	0,01048	12,59%	0,00244	429,43%	0,00366	286,29%	Não cumpre	FALSO
28	0,00008	0,10%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
29	0,00883	10,61%	0,00227	388,63%	0,00341	259,08%	Não cumpre	FALSO
30	0,00006	0,07%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
31	0,00687	8,25%	0,00212	323,16%	0,00319	215,44%	Não cumpre	FALSO
32	0,00007	0,09%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
33	0,00525	6,31%	0,00200	263,09%	0,00299	175,40%	Não cumpre	FALSO
34	0,00016	0,19%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
35	0,00395	4,75%	0,00188	210,12%	0,00282	140,08%	Cumpre	VERDADEIRO
36	0,00011	0,13%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
37	0,00301	3,61%	0,00178	168,84%	0,00267	112,56%	Cumpre	VERDADEIRO
38	0,00006	0,07%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
39	0,00280	3,36%	0,00169	165,69%	0,00253	110,46%	Cumpre	VERDADEIRO
40	0,00009	0,11%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO

Anexo C. Relatório do driver de Marca 2 On/Off

Tabela C-1 Relatório de análise do Driver de Marca 2 On/Off a 100%

Relatório de Teste

IEC 61000-3-2 Emissão de Correntes Harmônicas

Classe C	Equipamento com potência $\geq 5W$ e $\leq 25W$	Resultado do teste: Cumprido com requisitos da norma
Driver	Marca 2 On/Off 100%	

V_{rms} (V)	219,910	F (Hz)	60,000	THC (A)	0,0110	< 0,6% x I_{rms} 0,00050454 < 5mA 0,005
I_{pico} (A)	0,147	I_{rms} (A)	0,084	THD ₁ (%)	12,64%	
I_1 (A)	0,087	fc	1,750	POHC (A)	0,0007	
P (W)	17,730	FP	0,918	POHC _{LM} (A)	0,0076	

Ordem Harmônica (h)	I_h (A)	I_h/I_1 (%)	Limite (A)	% do Limite	Limite Máximo (A) de 150%	% do Limite Máximo	Estado	$I_h < 0,6\% \cdot I_{rms}$ ou $I_h < 5mA$
2	0,00000	0,00%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
3	0,01052	12,06%	0,06028	17,46%	0,09042	11,64%	Cumprido	FALSO
4	0,00013	0,15%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
5	0,00210	2,41%	0,03369	6,23%	0,05053	4,15%	Cumprido	VERDADEIRO
6	0,00021	0,24%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
7	0,00155	1,77%	0,01773	8,72%	0,02660	5,81%	Cumprido	VERDADEIRO
8	0,00005	0,06%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
9	0,00116	1,33%	0,00887	13,08%	0,01330	8,72%	Cumprido	VERDADEIRO
10	0,00008	0,09%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
11	0,00094	1,07%	0,00621	15,08%	0,00931	10,05%	Cumprido	VERDADEIRO
12	0,00010	0,12%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
13	0,00071	0,82%	0,00525	13,57%	0,00788	9,05%	Cumprido	VERDADEIRO
14	0,00011	0,12%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
15	0,00048	0,55%	0,00455	10,51%	0,00683	7,01%	Cumprido	VERDADEIRO
16	0,00017	0,19%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
17	0,00043	0,50%	0,00402	10,78%	0,00602	7,19%	Cumprido	VERDADEIRO
18	0,00019	0,22%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
19	0,00032	0,36%	0,00359	8,82%	0,00539	5,88%	Cumprido	VERDADEIRO
20	0,00012	0,13%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
21	0,00014	0,16%	0,00325	4,35%	0,00488	2,90%	Cumprido	VERDADEIRO
22	0,00005	0,05%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
23	0,00019	0,22%	0,00297	6,52%	0,00445	4,35%	Cumprido	VERDADEIRO
24	0,00006	0,07%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
25	0,00023	0,26%	0,00273	8,45%	0,00410	5,63%	Cumprido	VERDADEIRO
26	0,00005	0,06%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
27	0,00032	0,37%	0,00253	12,77%	0,00379	8,51%	Cumprido	VERDADEIRO
28	0,00014	0,16%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
29	0,00021	0,24%	0,00235	8,94%	0,00353	5,96%	Cumprido	VERDADEIRO
30	0,00008	0,09%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
31	0,00003	0,04%	0,00220	1,59%	0,00330	1,06%	Cumprido	VERDADEIRO
32	0,00004	0,05%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
33	0,00004	0,04%	0,00207	1,74%	0,00310	1,16%	Cumprido	VERDADEIRO
34	0,00013	0,15%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
35	0,00031	0,36%	0,00195	16,15%	0,00293	10,77%	Cumprido	VERDADEIRO
36	0,00022	0,25%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
37	0,00028	0,32%	0,00184	15,15%	0,00277	10,10%	Cumprido	VERDADEIRO
38	0,00006	0,07%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
39	0,00011	0,13%	0,00175	6,51%	0,00263	4,34%	Cumprido	VERDADEIRO
40	0,00009	0,10%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO

Anexo D. Relatório do driver de Marca 1 1-10V

Tabela D-1 Relatório de análise do Driver de Marca 1 1-10V a 100%

Relatório de Teste	
IEC 61000-3-2 Emissão de Correntes Harmônicas	

Classe C	Equipamento com potência $\geq 5W$ e $\leq 25W$	Resultado do teste: Cumprir com requisitos da norma
Driver	Marca 1 1-10V 100%	

V_{rms} (V)	219,890	F (Hz)	60,007	THC (A)	0,0075	< 0,6% x I _{rms} 0,000523674 < 5mA 0,005
I _{pico} (A)	0,144	I _{rms} (A)	0,087	THD ₁ (%)	8,39%	
I ₁ (A)	0,089	fc	1,650	POHC (A)	0,0012	
P (W)	18,630	FP	0,944	POHC _{LM} (A)	0,0080	

Ordem Harmônica (h)	I _h (A)	I _h /I ₁ (%)	Limite (A)	% do Limite	Limite Máximo (A) de 150%	% do Limite Máximo	Estado	I _h < 0,6% . I _{rms} ou I _h < 5mA
2	0,00000	0,00%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
3	0,00525	5,90%	0,06334	8,29%	0,09501	5,53%	Cumprir	FALSO
4	0,00013	0,15%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
5	0,00331	3,72%	0,03540	9,36%	0,05310	6,24%	Cumprir	VERDADEIRO
6	0,00030	0,34%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
7	0,00244	2,74%	0,01863	13,10%	0,02795	8,74%	Cumprir	VERDADEIRO
8	0,00009	0,11%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
9	0,00186	2,09%	0,00932	19,96%	0,01397	13,31%	Cumprir	VERDADEIRO
10	0,00002	0,02%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
11	0,00153	1,72%	0,00652	23,48%	0,00978	15,66%	Cumprir	VERDADEIRO
12	0,00013	0,15%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
13	0,00132	1,49%	0,00552	23,99%	0,00828	15,99%	Cumprir	VERDADEIRO
14	0,00015	0,17%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
15	0,00091	1,02%	0,00478	19,08%	0,00717	12,72%	Cumprir	VERDADEIRO
16	0,00011	0,12%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
17	0,00084	0,94%	0,00422	19,91%	0,00633	13,27%	Cumprir	VERDADEIRO
18	0,00020	0,23%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
19	0,00055	0,62%	0,00378	14,69%	0,00566	9,80%	Cumprir	VERDADEIRO
20	0,00021	0,24%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
21	0,00027	0,30%	0,00342	7,86%	0,00512	5,24%	Cumprir	VERDADEIRO
22	0,00021	0,24%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
23	0,00038	0,43%	0,00312	12,32%	0,00468	8,21%	Cumprir	VERDADEIRO
24	0,00006	0,07%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
25	0,00051	0,57%	0,00287	17,79%	0,00430	11,86%	Cumprir	VERDADEIRO
26	0,00009	0,10%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
27	0,00047	0,52%	0,00266	17,53%	0,00398	11,69%	Cumprir	VERDADEIRO
28	0,00006	0,06%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
29	0,00051	0,58%	0,00247	20,75%	0,00371	13,83%	Cumprir	VERDADEIRO
30	0,00018	0,20%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
31	0,00047	0,53%	0,00231	20,37%	0,00347	13,58%	Cumprir	VERDADEIRO
32	0,00017	0,19%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
33	0,00046	0,52%	0,00217	21,37%	0,00326	14,25%	Cumprir	VERDADEIRO
34	0,00010	0,11%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
35	0,00026	0,29%	0,00205	12,58%	0,00307	8,39%	Cumprir	VERDADEIRO
36	0,00020	0,23%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
37	0,00025	0,28%	0,00194	12,93%	0,00291	8,62%	Cumprir	VERDADEIRO
38	0,00012	0,13%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO
39	0,00005	0,05%	0,00184	2,62%	0,00276	1,75%	Cumprir	VERDADEIRO
40	0,00007	0,08%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprir	VERDADEIRO

Tabela D-2 Relatório de análise do Driver de Marca 1 1-10V em stand-by

Relatório de Teste							
IEC 61000-3-2 Emissão de Correntes Harmônicas							
Classe C	Equipamento com potência $\geq 5W$ e $\leq 25W$			Resultado do teste:			
Driver	Marca 1 1-10V	Stand-by	Não cumpre com requisitos da norma				

V _{rms} (V)	219,980	F (Hz)	60,000	THC (A)	0,0050	< 0,6% x I _{rms}	
I _{pico} (A)	0,075	I _{rms} (A)	0,024	THD ₁ (%)	26,56%		0,000144
I ₁ (A)	0,0188	fc	3,070	POHC (A)	0,0011		< 5mA
P (W)	0,990	FP	0,213	POHC _{LIM} (A)	0,0004		0,005

Ordem Harmônica (h)	I _h (A)	I _h /I ₁ (%)	Limite (A)	% do Limite	Limite Máximo (A) de 150%	% do Limite Máximo	Estado	I _h < 0,6% · I _{rms} ou I _h < 5mA
2	0,00000	0,00%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
3	0,00365	19,39%	0,00337	108,29%	0,00505	72,20%	Cumpre	VERDADEIRO
4	0,00009	0,47%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
5	0,00225	11,95%	0,00188	119,48%	0,00282	79,65%	Cumpre	VERDADEIRO
6	0,00011	0,58%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
7	0,00129	6,88%	0,00099	130,59%	0,00149	87,06%	Cumpre	VERDADEIRO
8	0,00021	1,10%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
9	0,00102	5,42%	0,00050	205,99%	0,00074	137,33%	Cumpre	VERDADEIRO
10	0,00016	0,84%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
11	0,00102	5,42%	0,00035	293,95%	0,00052	195,97%	Não cumpre	VERDADEIRO
12	0,00024	1,28%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
13	0,00069	3,67%	0,00029	235,43%	0,00044	156,95%	Não cumpre	VERDADEIRO
14	0,00008	0,41%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
15	0,00056	3,00%	0,00025	221,85%	0,00038	147,90%	Cumpre	VERDADEIRO
16	0,00014	0,76%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
17	0,00048	2,56%	0,00022	214,49%	0,00034	142,99%	Cumpre	VERDADEIRO
18	0,00015	0,81%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
19	0,00050	2,64%	0,00020	247,81%	0,00030	165,21%	Não cumpre	VERDADEIRO
20	0,00006	0,31%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
21	0,00042	2,25%	0,00018	232,62%	0,00027	155,08%	Não cumpre	VERDADEIRO
22	0,00011	0,59%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
23	0,00049	2,60%	0,00017	294,93%	0,00025	196,62%	Não cumpre	VERDADEIRO
24	0,00006	0,31%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
25	0,00026	1,36%	0,00015	168,21%	0,00023	112,14%	Cumpre	VERDADEIRO
26	0,00004	0,19%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
27	0,00036	1,90%	0,00014	253,28%	0,00021	168,85%	Não cumpre	VERDADEIRO
28	0,00007	0,36%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
29	0,00038	2,01%	0,00013	286,84%	0,00020	191,22%	Não cumpre	VERDADEIRO
30	0,00003	0,14%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
31	0,00035	1,86%	0,00012	284,78%	0,00018	189,85%	Não cumpre	VERDADEIRO
32	0,00017	0,90%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
33	0,00047	2,52%	0,00012	409,92%	0,00017	273,28%	Não cumpre	VERDADEIRO
34	0,00011	0,58%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
35	0,00040	2,11%	0,00011	363,68%	0,00016	242,45%	Não cumpre	VERDADEIRO
36	0,00013	0,67%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
37	0,00018	0,96%	0,00010	175,71%	0,00015	117,14%	Cumpre	VERDADEIRO
38	0,00008	0,43%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
39	0,00006	0,29%	0,00010	56,57%	0,00015	37,71%	Cumpre	VERDADEIRO
40	0,00006	0,31%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO

Anexo E. Relatório do driver de Marca 1 DALI

Tabela E-1 Relatório de análise do Driver de Marca 1 DALI a 100%

Relatório de Teste	
IEC 61000-3-2 Emissão de Correntes Harmônicas	

Classe C	Equipamento com potência $\geq 5W$ e $\leq 25W$	Resultado do teste: Cumprido com requisitos da norma
Driver	Marca 1 DALI 100%	

V_{rms} (V)	219,980	F (Hz)	60,000	THC (A)	0,0160	< 0,6% x Irms 0,000579 < 5mA 0,005
I_{pico} (A)	0,193	I_{rms} (A)	0,097	THD ₁ (%)	16,38%	
I_1 (A)	0,098	fc	2,000	POHC (A)	0,0042	
P (W)	20,020	FP	0,918	POHC _{LM} (A)	0,0086	

Ordem Harmônica (h)	I_h (A)	I_h/I_1 (%)	Limite (A)	% do Limite	Limite Máximo (A) de 150%	% do Limite Máximo	Estado	$I_h < 0,6\% \cdot I_{rms}$ ou $I_h < 5mA$
2	0,00000	0,00%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
3	0,01211	12,41%	0,06807	17,79%	0,10210	11,86%	Cumprido	FALSO
4	0,00010	0,11%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
5	0,00167	1,71%	0,03804	4,39%	0,05706	2,92%	Cumprido	VERDADEIRO
6	0,00015	0,15%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
7	0,00576	5,90%	0,02002	28,76%	0,03003	19,17%	Cumprido	FALSO
8	0,00013	0,14%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
9	0,00300	3,08%	0,01001	30,01%	0,01502	20,01%	Cumprido	VERDADEIRO
10	0,00017	0,18%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
11	0,00363	3,72%	0,00701	51,82%	0,01051	34,55%	Cumprido	VERDADEIRO
12	0,00007	0,07%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
13	0,00321	3,29%	0,00593	54,18%	0,00889	36,12%	Cumprido	VERDADEIRO
14	0,00012	0,12%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
15	0,00276	2,83%	0,00514	53,70%	0,00771	35,80%	Cumprido	VERDADEIRO
16	0,00009	0,09%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
17	0,00236	2,42%	0,00453	52,03%	0,00680	34,69%	Cumprido	VERDADEIRO
18	0,00013	0,13%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
19	0,00297	3,04%	0,00406	73,20%	0,00609	48,80%	Cumprido	VERDADEIRO
20	0,00003	0,04%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
21	0,00111	1,13%	0,00367	30,11%	0,00551	20,08%	Cumprido	VERDADEIRO
22	0,00012	0,13%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
23	0,00275	2,81%	0,00335	81,93%	0,00503	54,62%	Cumprido	VERDADEIRO
24	0,00011	0,11%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
25	0,00111	1,13%	0,00308	35,86%	0,00462	23,91%	Cumprido	VERDADEIRO
26	0,00019	0,19%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
27	0,00177	1,81%	0,00285	61,91%	0,00428	41,28%	Cumprido	VERDADEIRO
28	0,00007	0,07%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
29	0,00116	1,19%	0,00266	43,80%	0,00399	29,20%	Cumprido	VERDADEIRO
30	0,00016	0,16%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
31	0,00072	0,73%	0,00249	28,79%	0,00373	19,19%	Cumprido	VERDADEIRO
32	0,00012	0,13%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
33	0,00136	1,39%	0,00234	58,20%	0,00350	38,80%	Cumprido	VERDADEIRO
34	0,00011	0,11%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
35	0,00014	0,14%	0,00220	6,32%	0,00330	4,21%	Cumprido	VERDADEIRO
36	0,00024	0,24%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
37	0,00098	1,01%	0,00208	47,11%	0,00312	31,40%	Cumprido	VERDADEIRO
38	0,00010	0,10%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
39	0,00028	0,29%	0,00198	14,30%	0,00296	9,53%	Cumprido	VERDADEIRO
40	0,00004	0,05%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO

Tabela E-2 Relatório de análise do Driver de Marca 1 DALI em stand-by

Relatório de Teste								
IEC 61000-3-2 Emissão de Correntes Harmônicas								
Classe C	Equipamento com potência $\geq 5W$ e $\leq 25W$			Resultado do teste:				
Driver	Marca 1 DALI	Stand-by	Não cumpre com requisitos da norma					
V_{rms} (V)	219,990		F (Hz)	60,000		THC (A)	0,0111	$< 0,6\% \times I_{rms}$ 0,000150003 $< 5mA$ 0,005
I_{pico} (A)	0,086		I_{rms} (A)	0,025		THD ₁ (%)	46,03%	
I_1 (A)	0,024		fc	3,340		POHC (A)	0,0040	
P (W)	1,930		FP	0,316		POHC _{LIM} (A)	0,0008	
Ordem Harmônica (h)	I_h (A)	I_h/I_1 (%)	Limite (A)	% do Limite	Limite Máximo (A) de 150%	% do Limite Máximo	Estado	$I_h < 0,6\% \cdot I_{rms}$ ou $I_h < 5mA$
2	0,00000	0,00%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
3	0,00561	23,24%	0,00656	85,54%	0,00984	57,03%	Cumpre	FALSO
4	0,00005	0,21%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
5	0,00336	13,91%	0,00367	91,64%	0,00550	61,09%	Cumpre	VERDADEIRO
6	0,00014	0,57%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
7	0,00229	9,48%	0,00193	118,72%	0,00290	79,14%	Cumpre	VERDADEIRO
8	0,00008	0,34%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
9	0,00362	14,98%	0,00097	374,94%	0,00145	249,96%	Não cumpre	VERDADEIRO
10	0,00022	0,91%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
11	0,00408	16,90%	0,00068	604,45%	0,00101	402,97%	Não cumpre	VERDADEIRO
12	0,00018	0,74%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
13	0,00320	13,26%	0,00057	560,47%	0,00086	373,64%	Não cumpre	VERDADEIRO
14	0,00040	1,64%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
15	0,00252	10,44%	0,00050	509,15%	0,00074	339,43%	Não cumpre	VERDADEIRO
16	0,00035	1,46%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
17	0,00228	9,44%	0,00044	521,79%	0,00066	347,86%	Não cumpre	VERDADEIRO
18	0,00015	0,61%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
19	0,00269	11,13%	0,00039	687,42%	0,00059	458,28%	Não cumpre	VERDADEIRO
20	0,00027	1,10%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
21	0,00242	10,01%	0,00035	683,68%	0,00053	455,79%	Não cumpre	VERDADEIRO
22	0,00007	0,29%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
23	0,00162	6,71%	0,00032	501,45%	0,00048	334,30%	Não cumpre	VERDADEIRO
24	0,00025	1,05%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
25	0,00118	4,88%	0,00030	396,88%	0,00045	264,59%	Não cumpre	VERDADEIRO
26	0,00012	0,51%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
27	0,00134	5,54%	0,00028	485,98%	0,00041	323,99%	Não cumpre	VERDADEIRO
28	0,00017	0,70%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
29	0,00153	6,32%	0,00026	595,70%	0,00038	397,13%	Não cumpre	VERDADEIRO
30	0,00007	0,31%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
31	0,00119	4,92%	0,00024	496,34%	0,00036	330,89%	Não cumpre	VERDADEIRO
32	0,00007	0,28%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
33	0,00046	1,92%	0,00023	206,00%	0,00034	137,33%	Cumpre	VERDADEIRO
34	0,00016	0,67%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
35	0,00019	0,79%	0,00021	90,46%	0,00032	60,31%	Cumpre	VERDADEIRO
36	0,00011	0,45%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
37	0,00049	2,02%	0,00020	243,35%	0,00030	162,23%	Não cumpre	VERDADEIRO
38	0,00019	0,78%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
39	0,00044	1,84%	0,00019	232,96%	0,00029	155,31%	Não cumpre	VERDADEIRO
40	0,00015	0,60%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO

Anexo F. Relatório do driver de Marca 2 DALI

Tabela F-1 Relatório de análise do Driver de Marca 2 DALI a 100%

Relatório de Teste	
IEC 61000-3-2 Emissão de Correntes Harmônicas	

Classe C	Equipamento com potência $\geq 5W$ e $\leq 25W$	Resultado do teste: Cumprido com requisitos da norma
Driver	Marca 2 DALI 100%	

V_{rms} (V)	219,990	F (Hz)	60,000	THC (A)	0,0243	< 0,6% x Irms 0,000612 < 5mA 0,005
I_{pico} (A)	0,204	I_{rms} (A)	0,102	THD ₁ (%)	26,38%	
I_1 (A)	0,092	fc	2,000	POHC (A)	0,0041	
P (W)	19,080	FP	0,907	POHC _{LM} (A)	0,0082	

Ordem Harmônica (h)	I_h (A)	I_h/I_1 (%)	Limite (A)	% do Limite	Limite Máximo (A) de 150%	% do Limite Máximo	Estado	$I_h < 0,6\% \cdot I_{rms}$ ou $I_h < 5mA$
2	0,00000	0,00%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
3	0,02195	23,82%	0,06487	33,83%	0,09731	22,55%	Cumprido	FALSO
4	0,00005	0,06%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
5	0,00480	5,21%	0,03625	13,25%	0,05438	8,83%	Cumprido	VERDADEIRO
6	0,00016	0,17%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
7	0,00522	5,67%	0,01908	27,37%	0,02862	18,24%	Cumprido	FALSO
8	0,00013	0,14%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
9	0,00283	3,07%	0,00954	29,65%	0,01431	19,77%	Cumprido	VERDADEIRO
10	0,00013	0,14%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
11	0,00270	2,94%	0,00668	40,50%	0,01002	27,00%	Cumprido	VERDADEIRO
12	0,00010	0,11%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
13	0,00328	3,56%	0,00565	58,06%	0,00848	38,71%	Cumprido	VERDADEIRO
14	0,00008	0,09%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
15	0,00215	2,33%	0,00490	43,93%	0,00735	29,28%	Cumprido	VERDADEIRO
16	0,00012	0,13%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
17	0,00264	2,87%	0,00432	61,13%	0,00648	40,75%	Cumprido	VERDADEIRO
18	0,00015	0,17%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
19	0,00188	2,04%	0,00387	48,61%	0,00580	32,40%	Cumprido	VERDADEIRO
20	0,00011	0,12%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
21	0,00232	2,52%	0,00350	66,29%	0,00525	44,19%	Cumprido	VERDADEIRO
22	0,00012	0,13%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
23	0,00195	2,12%	0,00319	61,10%	0,00479	40,73%	Cumprido	VERDADEIRO
24	0,00008	0,08%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
25	0,00115	1,24%	0,00294	39,03%	0,00441	26,02%	Cumprido	VERDADEIRO
26	0,00006	0,07%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
27	0,00176	1,91%	0,00272	64,84%	0,00408	43,23%	Cumprido	VERDADEIRO
28	0,00026	0,28%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
29	0,00079	0,86%	0,00253	31,36%	0,00380	20,90%	Cumprido	VERDADEIRO
30	0,00011	0,12%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
31	0,00105	1,14%	0,00237	44,32%	0,00355	29,54%	Cumprido	VERDADEIRO
32	0,00005	0,05%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
33	0,00094	1,02%	0,00223	42,26%	0,00334	28,17%	Cumprido	VERDADEIRO
34	0,00017	0,19%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
35	0,00021	0,23%	0,00210	10,20%	0,00315	6,80%	Cumprido	VERDADEIRO
36	0,00011	0,12%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
37	0,00088	0,95%	0,00199	44,09%	0,00298	29,40%	Cumprido	VERDADEIRO
38	0,00004	0,04%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
39	0,00028	0,30%	0,00188	14,62%	0,00283	9,75%	Cumprido	VERDADEIRO
40	0,00013	0,14%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO

Tabela F-2 Relatório de análise do Driver de Marca 2 DALI em stand-by

Relatório de Teste							
IEC 61000-3-2 Emissão de Correntes Harmônicas							
Classe C		Equipamento com potência $\geq 5W$ e $\leq 25W$		Resultado do teste:			
Driver		Marca 2 DALI Stand-by		Não cumpre com requisitos da norma			

V_{rms} (V)	219,970	F (Hz)	60,000	THC (A)	0,0155	< 0,6% x Irms 0,0001665 < 5mA 0,005
I_{pico} (A)	0,116	I_{rms} (A)	0,028	THD ₁ (%)	68,64%	
I_1 (A)	0,023	fc	4,180	POHC (A)	0,0059	
P (W)	1,800	FP	0,269	POHC _{LIM} (A)	0,0008	

Ordem Harmônica (h)	I_h (A)	I_h/I_1 (%)	Limite (A)	% do Limite	Limite Máximo (A) de 150%	% do Limite Máximo	Estado	$I_h < 0,6% \cdot I_{rms}$ ou $I_h < 5mA$
2	0,00000	0,00%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
3	0,00551	24,32%	0,00612	90,00%	0,00918	60,00%	Cumpre	FALSO
4	0,00012	0,53%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
5	0,00542	23,92%	0,00342	158,35%	0,00513	105,57%	Cumpre	FALSO
6	0,00016	0,70%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
7	0,00556	24,58%	0,00180	309,16%	0,00270	206,11%	Não cumpre	FALSO
8	0,00026	1,16%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
9	0,00510	22,52%	0,00090	566,60%	0,00135	377,73%	Não cumpre	FALSO
10	0,00020	0,88%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
11	0,00483	21,31%	0,00063	765,95%	0,00095	510,63%	Não cumpre	VERDADEIRO
12	0,00011	0,50%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
13	0,00449	19,83%	0,00053	842,26%	0,00080	561,50%	Não cumpre	VERDADEIRO
14	0,00010	0,43%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
15	0,00433	19,14%	0,00046	938,27%	0,00069	625,51%	Não cumpre	VERDADEIRO
16	0,00015	0,67%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
17	0,00388	17,13%	0,00041	951,32%	0,00061	634,21%	Não cumpre	VERDADEIRO
18	0,00005	0,24%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
19	0,00343	15,17%	0,00036	941,53%	0,00055	627,68%	Não cumpre	VERDADEIRO
20	0,00027	1,21%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
21	0,00310	13,69%	0,00033	939,55%	0,00050	626,37%	Não cumpre	VERDADEIRO
22	0,00007	0,32%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
23	0,00280	12,37%	0,00030	929,60%	0,00045	619,73%	Não cumpre	VERDADEIRO
24	0,00015	0,67%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
25	0,00248	10,95%	0,00028	894,24%	0,00042	596,16%	Não cumpre	VERDADEIRO
26	0,00011	0,49%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
27	0,00203	8,96%	0,00026	790,15%	0,00039	526,76%	Não cumpre	VERDADEIRO
28	0,00006	0,26%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
29	0,00173	7,64%	0,00024	724,06%	0,00036	482,71%	Não cumpre	VERDADEIRO
30	0,00019	0,83%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
31	0,00136	6,03%	0,00022	610,34%	0,00034	406,89%	Não cumpre	VERDADEIRO
32	0,00012	0,51%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
33	0,00113	4,99%	0,00021	537,70%	0,00032	358,47%	Não cumpre	VERDADEIRO
34	0,00015	0,64%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
35	0,00096	4,24%	0,00020	484,95%	0,00030	323,30%	Não cumpre	VERDADEIRO
36	0,00013	0,58%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
37	0,00066	2,89%	0,00019	349,95%	0,00028	233,30%	Não cumpre	VERDADEIRO
38	0,00012	0,51%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
39	0,00042	1,87%	0,00018	238,50%	0,00027	159,00%	Não cumpre	VERDADEIRO
40	0,00021	0,93%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO

Anexo G. Relatório do driver de Marca 3 DALI

Tabela G-1 Relatório de análise do Driver de Marca 3 DALI a 100%

Relatório de Teste

IEC 61000-3-2 Emissão de Correntes Harmônicas

Classe C	Equipamento com potência $\geq 5W$ e $\leq 25W$	Resultado do teste: Cumprido com requisitos da norma
Driver	Marca 3 DALI 100%	

V_{rms} (V)	219,980	F (Hz)	60,000	THC (A)	0,0137	< 0,6% x Irms 0,0005538 < 5mA 0,005
I_{pico} (A)	0,181	I_{rms} (A)	0,092	THD ₁ (%)	15,05%	
I_1 (A)	0,091	fc	1,960	POHC (A)	0,0046	
P (W)	19,380	FP	0,956	POHC _{LM} (A)	0,0083	

Ordem Harmônica (h)	I_h (A)	I_h/I_1 (%)	Limite (A)	% do Limite	Limite Máximo (A) de 150%	% do Limite Máximo	Estado	$I_h < 0,6\% \cdot I_{rms}$ ou $I_h < 5mA$
2	0,00000	0,00%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
3	0,00802	8,82%	0,06589	12,18%	0,09884	8,12%	Cumprido	FALSO
4	0,00010	0,11%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
5	0,00432	4,75%	0,03682	11,72%	0,05523	7,81%	Cumprido	VERDADEIRO
6	0,00021	0,23%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
7	0,00540	5,94%	0,01938	27,85%	0,02907	18,57%	Cumprido	FALSO
8	0,00023	0,25%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
9	0,00197	2,17%	0,00969	20,35%	0,01454	13,57%	Cumprido	VERDADEIRO
10	0,00019	0,20%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
11	0,00403	4,43%	0,00678	59,39%	0,01017	39,59%	Cumprido	VERDADEIRO
12	0,00006	0,07%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
13	0,00362	3,98%	0,00574	63,04%	0,00861	42,03%	Cumprido	VERDADEIRO
14	0,00002	0,02%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
15	0,00359	3,95%	0,00497	72,25%	0,00746	48,17%	Cumprido	VERDADEIRO
16	0,00017	0,19%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
17	0,00162	1,78%	0,00439	36,80%	0,00658	24,53%	Cumprido	VERDADEIRO
18	0,00010	0,11%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
19	0,00214	2,36%	0,00393	54,61%	0,00589	36,41%	Cumprido	VERDADEIRO
20	0,00008	0,09%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
21	0,00264	2,90%	0,00355	74,18%	0,00533	49,46%	Cumprido	VERDADEIRO
22	0,00008	0,09%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
23	0,00226	2,49%	0,00324	69,72%	0,00487	46,48%	Cumprido	VERDADEIRO
24	0,00014	0,16%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
25	0,00192	2,11%	0,00298	64,32%	0,00448	42,88%	Cumprido	VERDADEIRO
26	0,00021	0,23%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
27	0,00162	1,78%	0,00276	58,59%	0,00415	39,06%	Cumprido	VERDADEIRO
28	0,00018	0,20%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
29	0,00066	0,73%	0,00257	25,82%	0,00386	17,21%	Cumprido	VERDADEIRO
30	0,00008	0,09%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
31	0,00100	1,10%	0,00241	41,69%	0,00361	27,79%	Cumprido	VERDADEIRO
32	0,00008	0,08%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
33	0,00088	0,96%	0,00226	38,71%	0,00339	25,81%	Cumprido	VERDADEIRO
34	0,00011	0,12%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
35	0,00084	0,93%	0,00213	39,47%	0,00320	26,32%	Cumprido	VERDADEIRO
36	0,00009	0,10%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
37	0,00025	0,27%	0,00202	12,22%	0,00302	8,15%	Cumprido	VERDADEIRO
38	0,00019	0,21%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
39	0,00038	0,41%	0,00191	19,65%	0,00287	13,10%	Cumprido	VERDADEIRO
40	0,00010	0,11%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO

Tabela G-2 Relatório de análise do Driver de Marca 3 DALI em stand-by

Relatório de Teste							
IEC 61000-3-2 Emissão de Correntes Harmônicas							
Classe C		Equipamento com potência $\geq 5W$ e $\leq 25W$		Resultado do teste:			
Driver		Marca 3 DALI Stand-by		Não cumpre com requisitos da norma			
V_{rms} (V)	219,960	F (Hz)	60,000	THC (A)	0,0107	$< 0,6\% \times I_{rms}$	
I_{pico} (A)	0,081	I_{rms} (A)	0,019	THD ₁ (%)	94,86%	0,0001148	
I_1 (A)	0,011	fc	4,360	POHC (A)	0,0042	$< 5mA$	
P (W)	1,690	FP	0,461	POHC _{LIM} (A)	0,0007	0,005	

Ordem Harmônica (h)	I_h (A)	I_h/I_1 (%)	Limite (A)	% do Limite	Limite Máximo (A) de 150%	% do Limite Máximo	Estado	$I_h < 0,6\% \cdot I_{rms}$ ou $I_h < 5mA$
2	0,00000	0,00%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
3	0,00407	36,09%	0,00575	70,86%	0,00862	47,24%	Cumpre	VERDADEIRO
4	0,00008	0,75%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
5	0,00259	22,98%	0,00321	80,75%	0,00482	53,83%	Cumpre	VERDADEIRO
6	0,00023	2,04%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
7	0,00396	35,11%	0,00169	234,37%	0,00254	156,25%	Não cumpre	VERDADEIRO
8	0,00016	1,41%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
9	0,00405	35,86%	0,00085	478,77%	0,00127	319,18%	Não cumpre	VERDADEIRO
10	0,00011	1,00%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
11	0,00302	26,80%	0,00059	511,16%	0,00089	340,77%	Não cumpre	VERDADEIRO
12	0,00013	1,18%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
13	0,00315	27,94%	0,00050	629,87%	0,00075	419,91%	Não cumpre	VERDADEIRO
14	0,00019	1,64%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
15	0,00316	27,99%	0,00043	728,04%	0,00065	485,36%	Não cumpre	VERDADEIRO
16	0,00005	0,46%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
17	0,00274	24,28%	0,00038	715,78%	0,00057	477,19%	Não cumpre	VERDADEIRO
18	0,00016	1,40%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
19	0,00220	19,47%	0,00034	641,33%	0,00051	427,55%	Não cumpre	VERDADEIRO
20	0,00004	0,36%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
21	0,00237	21,05%	0,00031	766,41%	0,00046	510,94%	Não cumpre	VERDADEIRO
22	0,00017	1,52%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
23	0,00209	18,51%	0,00028	738,11%	0,00042	492,08%	Não cumpre	VERDADEIRO
24	0,00005	0,43%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
25	0,00141	12,52%	0,00026	542,59%	0,00039	361,73%	Não cumpre	VERDADEIRO
26	0,00012	1,03%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
27	0,00170	15,03%	0,00024	703,51%	0,00036	469,01%	Não cumpre	VERDADEIRO
28	0,00006	0,54%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
29	0,00112	9,94%	0,00022	499,75%	0,00034	333,17%	Não cumpre	VERDADEIRO
30	0,00013	1,19%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
31	0,00071	6,31%	0,00021	338,96%	0,00031	225,97%	Não cumpre	VERDADEIRO
32	0,00007	0,63%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
33	0,00047	4,13%	0,00020	236,10%	0,00030	157,40%	Não cumpre	VERDADEIRO
34	0,00018	1,61%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
35	0,00063	5,59%	0,00019	339,33%	0,00028	226,22%	Não cumpre	VERDADEIRO
36	0,00022	1,98%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
37	0,00038	3,40%	0,00018	218,05%	0,00026	145,36%	Cumpre	VERDADEIRO
38	0,00009	0,84%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
39	0,00022	1,99%	0,00017	134,75%	0,00025	89,83%	Cumpre	VERDADEIRO
40	0,00007	0,60%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO

Anexo H. Relatório do driver de Marca 4 DALI

Tabela H-1 Relatório de análise do Driver de Marca 4 DALI a 100%

Relatório de Teste	
IEC 61000-3-2 Emissão de Correntes Harmônicas	

Classe C	Equipamento com potência $\geq 5W$ e $\leq 25W$	Resultado do teste: Cumprido com requisitos da norma
Driver	Marca 4 DALI 100%	

V_{rms} (V)	219,960	F (Hz)	60,000	THC (A)	0,0137	< 0,6% x I_{rms} 0,00063 < 5mA 0,005
I_{pico} (A)	0,196	I_{rms} (A)	0,105	THD ₁ (%)	12,99%	
I_1 (A)	0,106	fc	1,880	POHC (A)	0,0052	
P (W)	19,380	FP	0,845	POHC _{LM} (A)	0,0083	

Ordem Harmônica (h)	I_h (A)	I_h/I_1 (%)	Limite (A)	% do Limite	Limite Máximo (A) de 150%	% do Limite Máximo	Estado	$I_h < 0,6\% \cdot I_{rms}$ ou $I_h < 5mA$
2	0,00000	0,00%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
3	0,00418	3,96%	0,06589	6,35%	0,09884	4,23%	Cumprido	VERDADEIRO
4	0,00026	0,25%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
5	0,00424	4,01%	0,03682	11,50%	0,05523	7,67%	Cumprido	VERDADEIRO
6	0,00016	0,15%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
7	0,00642	6,07%	0,01938	33,14%	0,02907	22,09%	Cumprido	FALSO
8	0,00015	0,14%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
9	0,00401	3,79%	0,00969	41,34%	0,01454	27,56%	Cumprido	VERDADEIRO
10	0,00026	0,25%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
11	0,00565	5,35%	0,00678	83,35%	0,01017	55,57%	Cumprido	FALSO
12	0,00013	0,12%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
13	0,00278	2,63%	0,00574	48,44%	0,00861	32,29%	Cumprido	VERDADEIRO
14	0,00019	0,18%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
15	0,00375	3,55%	0,00497	75,47%	0,00746	50,31%	Cumprido	VERDADEIRO
16	0,00007	0,07%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
17	0,00170	1,61%	0,00439	38,75%	0,00658	25,84%	Cumprido	VERDADEIRO
18	0,00010	0,09%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
19	0,00344	3,26%	0,00393	87,66%	0,00589	58,44%	Cumprido	VERDADEIRO
20	0,00023	0,22%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
21	0,00180	1,70%	0,00355	50,58%	0,00533	33,72%	Cumprido	VERDADEIRO
22	0,00028	0,26%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
23	0,00308	2,91%	0,00324	94,84%	0,00487	63,23%	Cumprido	VERDADEIRO
24	0,00015	0,15%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
25	0,00189	1,79%	0,00298	63,46%	0,00448	42,31%	Cumprido	VERDADEIRO
26	0,00006	0,06%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
27	0,00159	1,50%	0,00276	57,53%	0,00415	38,35%	Cumprido	VERDADEIRO
28	0,00011	0,11%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
29	0,00164	1,55%	0,00257	63,80%	0,00386	42,53%	Cumprido	VERDADEIRO
30	0,00023	0,22%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
31	0,00050	0,48%	0,00241	20,90%	0,00361	13,94%	Cumprido	VERDADEIRO
32	0,00004	0,04%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
33	0,00170	1,60%	0,00226	75,02%	0,00339	50,01%	Cumprido	VERDADEIRO
34	0,00013	0,12%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
35	0,00046	0,43%	0,00213	21,41%	0,00320	14,27%	Cumprido	VERDADEIRO
36	0,00003	0,02%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
37	0,00118	1,12%	0,00202	58,50%	0,00302	39,00%	Cumprido	VERDADEIRO
38	0,00014	0,14%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO
39	0,00090	0,85%	0,00191	47,18%	0,00287	31,45%	Cumprido	VERDADEIRO
40	0,00003	0,03%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumprido	VERDADEIRO

Tabela H-2 Relatório de análise do Driver de Marca 4 DALI em stand-by

Relatório de Teste

IEC 61000-3-2 Emissão de Correntes Harmônicas

Classe C	Equipamento com potência $\geq 5W$ e $\leq 25W$	Resultado do teste: Não cumpre com requisitos da norma
Driver	Marca 4 DALI Stand-by	

V_{rms} (V)	219,980	F (Hz)	60,000	THC (A)	0,0111	< 0,6% x Irms
I_{pico} (A)	0,082	I_{rms} (A)	0,045	THD ₁ (%)	24,65%	0,0002682
I_1 (A)	0,045	fc	1,880	POHC (A)	0,0044	< 5mA
P (W)	1,610	FP	0,156	POHC _{LIM} (A)	0,0007	0,005

Ordem Harmônica (h)	I_h (A)	I_h/I_1 (%)	Limite (A)	% do Limite	Limite Máximo (A) de 150%	% do Limite Máximo	Estado	$I_h < 0,6\% \cdot I_{rms}$ ou $I_h < 5mA$
2	0,00000	0,00%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
3	0,00506	11,21%	0,00547	92,50%	0,00821	61,67%	Cumpre	FALSO
4	0,00022	0,48%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
5	0,00476	10,53%	0,00306	155,61%	0,00459	103,74%	Cumpre	VERDADEIRO
6	0,00007	0,15%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
7	0,00399	8,83%	0,00161	247,81%	0,00242	165,21%	Não cumpre	VERDADEIRO
8	0,00004	0,09%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
9	0,00330	7,30%	0,00081	409,87%	0,00121	273,24%	Não cumpre	VERDADEIRO
10	0,00011	0,24%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
11	0,00269	5,95%	0,00056	477,33%	0,00085	318,22%	Não cumpre	VERDADEIRO
12	0,00024	0,52%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
13	0,00232	5,13%	0,00048	485,99%	0,00072	323,99%	Não cumpre	VERDADEIRO
14	0,00002	0,04%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
15	0,00218	4,82%	0,00041	527,53%	0,00062	351,68%	Não cumpre	VERDADEIRO
16	0,00003	0,06%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
17	0,00232	5,12%	0,00036	634,93%	0,00055	423,28%	Não cumpre	VERDADEIRO
18	0,00009	0,19%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
19	0,00249	5,52%	0,00033	764,77%	0,00049	509,84%	Não cumpre	VERDADEIRO
20	0,00006	0,14%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
21	0,00235	5,21%	0,00030	796,86%	0,00044	531,24%	Não cumpre	VERDADEIRO
22	0,00005	0,11%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
23	0,00233	5,17%	0,00027	866,02%	0,00040	577,35%	Não cumpre	VERDADEIRO
24	0,00016	0,35%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
25	0,00207	4,57%	0,00025	833,68%	0,00037	555,79%	Não cumpre	VERDADEIRO
26	0,00021	0,46%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
27	0,00149	3,29%	0,00023	647,43%	0,00034	431,62%	Não cumpre	VERDADEIRO
28	0,00023	0,50%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
29	0,00098	2,18%	0,00021	459,97%	0,00032	306,65%	Não cumpre	VERDADEIRO
30	0,00011	0,25%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
31	0,00073	1,62%	0,00020	365,99%	0,00030	243,99%	Não cumpre	VERDADEIRO
32	0,00016	0,35%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
33	0,00041	0,90%	0,00019	217,12%	0,00028	144,75%	Cumpre	VERDADEIRO
34	0,00017	0,37%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
35	0,00052	1,15%	0,00018	292,74%	0,00027	195,16%	Não cumpre	VERDADEIRO
36	0,00017	0,38%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
37	0,00038	0,85%	0,00017	228,23%	0,00025	152,15%	Não cumpre	VERDADEIRO
38	0,00009	0,19%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO
39	0,00034	0,75%	0,00016	213,99%	0,00024	142,66%	Cumpre	VERDADEIRO
40	0,00005	0,11%	0,00000	N/A	0,00000	N/A	Cumpre	VERDADEIRO