



Sustentabilidade em Sistemas de Iluminação: O Contributo da Tecnologia
LED

por

Rui Diogo Gaifém Ranita

Tese de Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente

Orientada por

Maria Isabel Rebelo Teixeira Soares

Hélio Cristiano Gomes Alves de Castro

2015

Agradecimentos

Aos meus pais, que com o seu esforço, trabalho e dedicação, me conseguiram proporcionar a oportunidade de seguir os meus objetivos;

À Professora Isabel Soares por toda a orientação, força e confiança;

Ao engenheiro Hélio Castro pela oportunidade;

À Melissa pela amizade, e paciência e por nunca me deixar desviar do meu caminho;

Ao pessoal do Grupo Aelus pelo excelente ambiente que me proporcionaram e por me fazerem sentir bem-vindo desde o primeiro dia;

Aos meus colegas e amigos e família por todo o apoio durante esta longa caminhada.

Resumo

A iluminação artificial é essencial nas atividades realizadas em período noturno e naquelas que decorrem em espaços fechados ou que requerem grande minúcia.

Este trabalho teve por objetivo estudar a contribuição da tecnologia LED para a sustentabilidade económica e ambiental nos sistemas de iluminação. Os custos económicos e ambientais decorrentes da utilização de fontes de iluminação pouco eficientes são muito elevados. O LED, como uma tecnologia muito eficiente e com pequeno impacto ambiental, mostra-se como a melhor alternativa a estes sistemas. Para além dos benefícios referidos, os LED apresentam características que os tornam bastante adaptáveis a diferentes tipos de utilização, como na medicina e na ciência.

A maior barreira à sua penetração de mercado é o seu elevado investimento inicial, contudo a esperada descida do seu preço, está a torná-los como uma boa alternativa à iluminação convencional.

Com o Plano Nacional de Eficiência Energética e a obrigatoriedade de se reduzir o consumo de energia elétrica, os LED ganham grande destaque, uma vez que o seu baixo consumo permite que sejam atingidas as metas impostas pela Comissão Europeia para a eficiência energética.

Analisando as tendências de descida de preço e o previsível aumento do leque de opções, concluiu-se que, a curto/médio prazo, o LED seja capaz de competir de igual para igual com as alternativas mais baratas mas menos eficientes que existem atualmente no mercado.

Palavras-chave:

LED; Eficiência Energética, Iluminação; Sustentabilidade; Economia

Abstract

Artificial lighting is essential in the activities performed in night shifts and those that take place in closed quarters or that require great detail.

This work aimed to study the contribution of LED technology for economic and environmental sustainability in lighting systems. The economic and environmental costs arising from the use of inefficient lighting sources are very high. The LED as a very efficient and low environmental impact technology proves to be the best alternative to these systems. In addition to these benefits, LEDs have characteristics that make them very adaptable to different types of use, such as in medicine and science.

The biggest barrier to market penetration is their high initial investment, but the expected decline of its price, is to make them as a good alternative to conventional lighting.

With the National Energy Efficiency Plan and the obligation to reduce the energy consumption, the LED earn highlight, as its low consumption allows the targets set by the European Commission for energy efficiency to be met.

Analyzing the price decrease trend and the foreseeable increase of the range of options, it was concluded that in the short/medium term, the LED will be able to compete on equal terms with the cheaper but less efficient alternatives that exist currently on the market.

Keywords:

LED; Energetic Efficiency; Lighting; Sustainability; Economy

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract.....	iv
Índice	v
Índice de figuras.....	vii
Índice de tabelas.....	ix
Glossário	x
Capítulo 1.....	1
1 - Introdução.....	1
1.1 – Breve resenha histórica	1
1.2 – Tecnologias de iluminação comercializadas	3
1.2.1 - Lâmpadas incandescentes:	3
1.2.2 - Lâmpadas de descarga (CFL).....	4
1.2.3 - Lâmpadas eletroluminescentes (SSL)	4
1.3 - Os LED no âmbito da Política de Combate às Alterações Climáticas	6
1.4 - Objetivos e Metodologia.....	9
Capítulo 2.....	11
2 - Funcionamento e composição dos LED	11
2.1 - Tipos de SSL.....	12
2.1.1 - Dual in line package LED	13
2.1.2 - Surface Mounted Device LED	14
2.1.3 - Chip on Board LED	15
2.1.4 - Organic LED ou OLED	15
Capítulo 3.....	17
3 - O Estado da Arte	17
3.1 - Os Primórdios do LED	17
3.2 - Desenvolvimentos recentes.....	19
Capítulo 4.....	22
4 - Análise comparativa entre lâmpadas LED e alternativas	22

4.1 - Impactos ambientais das diferentes tecnologias	24
4.1.1 - Impactos no ar	24
4.1.2 - Impactos na água	25
4.1.3 - Impactos no solo	25
4.1.4 - Relativamente aos recursos	26
4.2 – Resumo dos impactos ambientais	27
Capítulo 5.....	29
5 - A componente económica	29
5.1 - O mercado global de iluminação	29
5.2 - Avaliação geográfica dos mercados	31
5.3 - <i>Drivers</i> da procura do LED	33
5.4 - Transição mais rápida entre tecnologias	34
5.5 - Mudança no paradigma industrial.....	34
5.6 - Acelerada padronização das lâmpadas LED.....	35
5.7 - Mudança da cadeia de valor de troca para novas instalações	36
5.8 - Novos canais de vendas	36
5.9 - O mercado dos sistemas de controlo de luz	38
5.10 - Outros negócios a jusante	39
Capítulo 6.....	41
6 - O caso português	41
Capítulo 7.....	45
7 - Conclusão	45
Referências Bibliográficas	46

Índice de figuras

Figura 1 Composição de uma lâmpada incandescente (Ribeiro, 2010).....	3
Figura 2 Composição de uma lâmpada de descarga (osram.pt ^a acedido em 05/04/15)....	4
Figura 3 Composição de um LED (mewgled.com acedido a 05/04/15).....	5
Figura 4 Concentração de gases de efeito de estufa (IPCC 2014).....	6
Figura 5 DIP LED (eletrohoo.paros.uni5.net acedido em 14/04/15).....	14
Figura 6 Lâmpada LED SMD (firstenled.com acedido a 14/04/15).....	14
Figura 7 LED COB (lednews.org acedido a 16/04/15)	15
Figura 8 OLED em funcionamento (edisonetechcenter.org acedido a 16/04/15)	16
Figura 9 Bebê em tratamento contra a icterícia (osram.com ^b acedido em 21/04/15).....	20
Figura 10 Energia primária usada para produzir 20 milhões de lúmen-hora de luz por tipo de lâmpada (DoE, 2013).....	23
Figura 11 Impactos relacionados com o ar provenientes de 20Mlm-hora de luz (DoE, 2012)	24
Figura 12 Impactos relacionados com a água provenientes de 20Mlm-hora de luz (DoE, 2012)	25
Figura 13 Impactos relacionados com o solo provenientes de 20Mlm-hora de luz (DoE, 2012)	25
Figura 14 Impactos relacionados com os recursos provenientes de 20Mlm-hora de luz (DoE, 2012)	26
Figura 15 Impacto comparativo do ciclo de vida de uma lâmpada por tecnologia e tipo de impacto (adaptado de DoE, 2012).....	27
Figura 16 Impacto comparativo do ciclo de vida de uma lâmpada por tecnologia e tipo de impacto (adaptado de DoE, 2012).....	28
Figura 17 Relação entre PIB, mercado de lâmpadas e mercado de luminárias (indexado de 2005; milhares de milhões de USD) (McKinsey&Co., 2012)	30
Figura 18 Período aceitável de retorno de investimento em tecnologia LED por aplicação (McKinsey&Co., 2012)	33
Figura 19 Tendências de mercado de novas instalações e de mudança de lâmpadas na iluminação geral. (McKinsey&Co., 2012).....	36

Figura 20 Quota de mercado estimada por canal de venda e segmento de mercado (McKinsey&Co., 2012)	37
Figura 21 Tendência de mercado para os controladores de luz (McKinsey&Co., 2012)	39
Figura 22 PNAEE - Resultados 2010	43
Figura 23 PNAEE - Resultados 2010	43

Índice de tabelas

Tabela 1 Aparecimento das diferentes fontes de luz e a necessidade ao longo dos anos (Marteleto, 2011)	1
Tabela 2 Semicondutores necessários para obter uma certa cor e seu comprimento de onda (lumex.com acedido em 13/04/15).....	11
Tabela 3 Vantagens e desvantagens dos LED (ledsmagazine.com acedido a 14/04/15)	12
Tabela 4 Vantagens e desvantagens dos OLED (M. Whelan, 2013).....	16
Tabela 5 Comparação de tecnologias (adaptado de eartheasy.com acedido em 30/06/15)	22

Glossário

- CFL - Compact Fluorescent Light
- COB - Chip on Board
- DIP - Dual in Line Package
- EU - União Europeia
- GE - General Electric
- HP - Hewlett-Packard Co.
- LED - Light Emiting Diod
- OLED - Organic Light Emiting Diod
- PC - Phosphor Converted
- PCB - Printed Circuit Board
- PNAEE - Plano Nacional de Ação Para a Eficiência Energética
- PNAER - Plano Nacional de Ação Para as Energias Renováveis
- RCA - Radio Corporation of America
- RGB - Red Blue Green
- SMD - Surface Mounted Diod
- SSL - Solid State Lighting
- UV - Ultra violeta

Capítulo 1

1 - Introdução

1.1 – Breve resenha histórica

A primeira forma que o Homem teve de obter luz foi através do fogo. No paleolítico, isto só acontecia através de fenómenos da natureza. Assim, o fogo só estava disponível esporadicamente e por curtos períodos de tempo. Para além disso, eram fogos de grande escala que os Homens primitivos não conseguiam controlar.

Durante o período paleolítico foram desenvolvidas técnicas que permitiam a obtenção e controlo do fogo e com isso, houve uma revolução na maneira como o Homem vivia. O fogo tornou-se numa ferramenta imperativa para a sobrevivência pois era usado, para além da iluminação, para a procura de alimento, aquecimento e defesa (www.museudalampada.com acedido em 04/03/15).

Na tabela 1 pode-se verificar quais foram as tecnologias que precederam a tecnologia LED e quais os desafios que daí advieram.

Tabela 1 Aparecimento das diferentes fontes de luz e a necessidade ao longo dos anos (Marteleto, 2011)

ANO	FONTE LUMINOSA	DESAFIO
Período paleolítico	Descoberta do fogo	Como iniciar
500000 A.C.	Fogueira	Como controlar
200000 A.C.	Tocha	Como manter
Século I	Vela de cera	Como ter em quantidade
1780	Vela de espermacete	Como popularizar
1784	Lampião de Argand	Como usar na via pública

1803	Lampião a gás de carvão	Como aumentar a intensidade
1808	Arco voltaico	Como manter constante
1830	Vela parafínica	FIM - Como aumentar intensidade
1847	Lampião a óleo parafínico	Como aumentar luminosidade
1878	Lâmpada incandescente de carvão	Como aumentar a acessibilidade
1880	Arco voltaico controlado	Como aumentar a segurança
1907	Lâmpada incandescente de tungstênio	Como aumentar o filamento
1908	Lâmpada a vapor de mercúrio de alta pressão	Como diminuir a radiação UV
1912	Lâmpada incandescente de tungstênio em espiral	Como aumentara eficiência
1932	Lâmpada fluorescente	Como melhorar o IRC
1955	Lâmpada a vapor de sódio de alta pressão	Como sintetizar alumínio
1962	LED vermelho	Como aumentar intensidade
1965	Lâmpada a vapor de sódio de alta pressão	Como aumentar o IRC
1980	Lâmpada Fluorescente compacta	Como aumentar o desempenho
1987	OLED	Como criar várias cores
1991	Lâmpada de indução	Como tornar competitivo
1995	Lâmpada LED	Como aumentar a economia
1998	PHOLED	Como aumentar o fluxo luminoso
2005	Lâmpada LED	Como aumentar a potência de forma eficiente

Verifica-se então que até à invenção da lâmpada de Edison em 1878, não existia nenhuma outra fonte luminosa artificial, tendo as populações da altura de usar lampiões a óleo ou velas de cera e gordura animal ou ainda lampiões de petróleo.

Com a criação da eletricidade, várias novas tecnologias foram inventadas, cada qual com as suas limitações, mas a que se destacou foi a lâmpada de arco voltaico, que apesar de ser bastante instável, foi a precursora da lâmpada de descarga.

Desde então, os desafios foram a melhoria da intensidade da luz, do tempo útil de vida das lâmpadas e a sua eficiência energética.

1.2 – Tecnologias de iluminação comercializadas

As fontes de luz que são atualmente comercializadas (se bem que as lâmpadas incandescentes já sofreram uma ordem de *phase out* na UE (MEMO/09/368, Comissão Europeia) são agrupadas em função da tecnologia utilizada para a geração de luz da seguinte forma:

1.2.1 - Lâmpadas incandescentes:

As lâmpadas incandescentes utilizam, tal como o nome indica, um fenómeno de incandescência para gerar luz. Esta é gerada pela passagem de corrente elétrica num filamento que emitirá luz.



Figura 1 Composição de uma lâmpada incandescente (Ribeiro, 2010)

1.2.2 - Lâmpadas de descarga (CFL)

Nas lâmpadas de descarga, a luz é produzida pela descarga de um gás que ocorre num tubo de arco entre os elétrodos após a ignição. Existe dentro da lâmpada um gás inerte que é ionizado pela corrente fornecida pelos elétrodos e também um pó de fósforo que irá ser excitado com radiação UV, produzindo luz visível. Para além da lâmpada em si, este tipo de lâmpada necessita de dois componentes essenciais: o balastro e o arrancador. O balastro reduz a energia fornecida à lâmpada aquando da descarga do arrancador, que liberta energia acumulada para ionizar o gás que se encontra dentro da lâmpada. (Ribeiro, 2010)

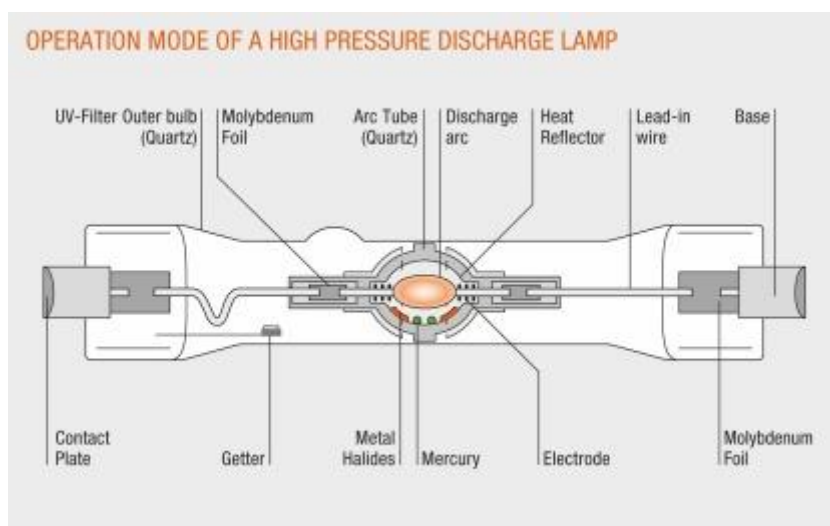


Figura 2 Composição de uma lâmpada de descarga (www.osram.pt ^a acedido em 05/04/15)

1.2.3 - Lâmpadas eletroluminescentes (SSL)

As Lâmpadas eletroluminescentes, também conhecidas por *Solid State Lighting* (SSL) utilizam o efeito de luminescência para emitir luz. O nome em inglês advém do facto de o feixe luminoso ser efetuado por um objeto sólido, ao invés de um gás, como acontecia nas tecnologias anteriores. Para funcionar, são necessárias corrente elétrica e um material que quando exposto à tensão aplicada, emita luz.

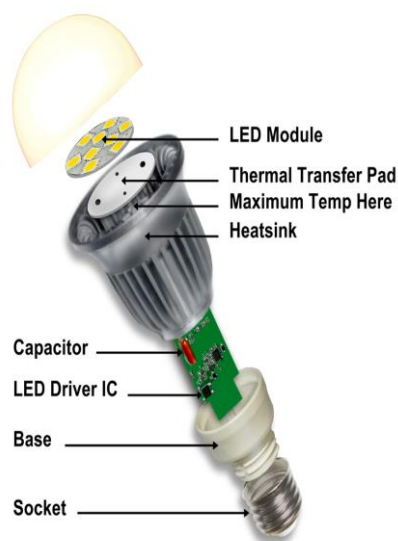


Figura 3 Composição de um LED (www.mewgled.com acessado a 05/04/15)

Das tecnologias abordadas anteriormente, a tecnologia SSL, na qual se incluem os LED e os OLED, é a que melhores resultados tem em termos de eficiência energética. Para além disso, o período útil de vida de um dispositivo LED é imensamente superior à dos outros tipos de lâmpada, o que faz com que o investimento no equipamento seja diluído num período muito maior. Estes fatores fazem com que se verifique uma mudança nos meios preferidos de iluminação tanto no setor residencial como no setor industrial.

Para além dos benefícios económicos, os LED trazem grandes benefícios ambientais. As lâmpadas incandescentes têm, pela maneira como são produzidas e pelos seus componentes, um período útil de vida muito curto. Isto implica trocas frequentes de equipamentos que não são fáceis de reciclar, acabando muitas vezes nos aterros. São também extremamente ineficientes, o que traduz num gasto de energia muito elevado. As lâmpadas Fluorescentes ou CFL contêm nelas gases tóxicos, normalmente de mercúrio, e também pó de fósforo, que são componentes muito perigosos para o ambiente e para o ser humano.

1.3 - Os LED no âmbito da Política de Combate às Alterações Climáticas

Como é afirmado pelo Painel das Nações Unidas Para as Alterações Climáticas, “a influência humana no sistema climático é clara e as emissões recentes de gases com efeito de estufa estão no seu valor histórico mais alto” (IPCC, 2014). Isto significa que se está a verificar, nos dias que correm, uma alteração dos padrões climáticos com raiz nas emissões antropogénicas de CO₂, como pode ser verificado na figura 4.

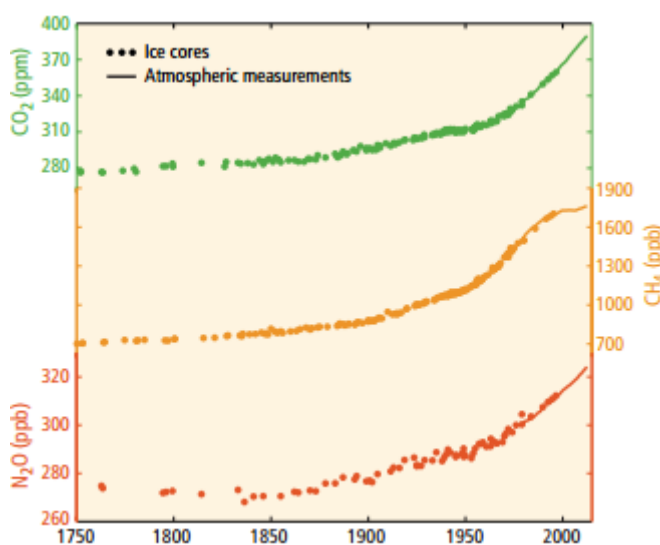


Figura 4 Concentração de gases de efeito de estufa (IPCC, 2014)

Esta subida da concentração destes gases faz com que a temperatura do ar aumente, o que traz consequências para o consumo de energia. Vários estudos empíricos mostram que a temperatura é o fator climático que mais afeta o consumo de energia (Lam, 1998; Sailor e Muñoz, 1997; retirado de Pilli-Sihvola *et al.*, 2010). Em ambientes frios, a energia é usada para a utilização de equipamentos de aquecimento, enquanto em ambientes quentes a energia é utilizada no funcionamento de equipamentos de refrigeração (Pilli-Sihvola *et al.*, 2010). Para além da utilização de equipamentos de climatização, as alterações climáticas alteram os *outputs* de algumas das tecnologias de produção de energia renovável. Estas alterações podem ser positivas ou negativas consoante a tecnologia e/ou a sua localização, mas o saldo é negativo uma vez que a redução da produção em algumas tecnologias não é complementada pelo seu aumento nas restantes. Existem ainda outras

alterações para além da subida da temperatura média do ar, como o aumento do nível médio das águas do mar e da sua temperatura, o degelo das calotes polares e outros.

Chegou a ser ponderado o aumento do preço da energia para o mercado residencial como forma de incentivo à poupança, na lógica de que, sendo mais caro, haverá maior preocupação com o uso indevido da energia. Contudo, um estudo efetuado tanto para o mercado dos E.U.A. como para o da U.E., ficou demonstrado que a procura de eletricidade no setor residencial é inelástica em relação ao preço. Os resultados do cálculo da elasticidade originaram valores médios que variam entre -0,18 e -0,21 (Azevedo *et al.*, 2011). Estes valores significam que um aumento do preço em 10% significaria uma redução de apenas 1,8 a 2,1% no consumo, o que é francamente pouco para o objetivo proposto.

Como forma de poupar energia, os LED apresentam-se como uma grande evolução nos sistemas de iluminação. Os seus baixos consumos quando comparados com tecnologias alternativas, que são menos eficientes que esta, permitem-lhe destacar-se no leque de alternativas numa altura em que a eficiência energética é tão importante. Mas não é só com a poupança de energia elétrica que os LED se destacam. É importante realçar a diminuição das externalidades provocadas pelo consumo de energia destinado à iluminação.

Segundo a EPA, a Agência de Proteção do Ambiente (do inglês *Environment Protection Agency*), um kWh de energia consumida corresponde ao equivalente a 0,69 kg de CO₂ emitido para a atmosfera. As alternativas ao LED têm um consumo energético por lúmen superior àquele apresentado pelo LED, existindo assim uma grande poupança no que às emissões diz respeito.

Com a implementação do mercado de licenças de emissão, foi imposto aos países industrializados limites à quantidade de CO₂ passível de ser emitida. Quando o limite é ultrapassado, existem alternativas a que os países ou entidades privadas podem recorrer, sendo elas a compra de mais créditos de carbono ou a implementação de medidas de desenvolvimento limpo (CDM, do inglês *Clean Development Mechanism*). Estas medidas permitem às entidades proponentes receber CERs (créditos de redução de emissões) à razão de 1:1. Mais uma vez os LED assumem uma posição relevante, uma vez que várias destas medidas estão a ser implementadas em África e na Índia como substitutos das

formas de iluminação tradicionalmente usadas nessas regiões. Cada projeto deste tipo traz benefícios para os locais onde são implementados e para as pessoas que neles vivem, e também para as entidades promotoras que, com estas ações beneficiam de mais créditos de carbono para poderem emitir gases com efeito de estufa.

Dependendo do local onde são implementados, estas tecnologias LED vêm substituir fontes de iluminação que provinham da queima de combustíveis fósseis como carvão ou querosene, que para além da produção de gases de efeito de estufa durante a sua queima, prejudicam fortemente a saúde de quem as usa. As tecnologias que estão a ser implementadas consistem num painel fotovoltaico ou outro mecanismo de produção de energia, sistemas de acumulação de energia (pilhas/baterias) e uma luminária LED. Durante as horas em que não existe iluminação natural, a bateria é ligada ao módulo LED que produz luz sem consequências prejudiciais à saúde, poupando recursos às populações que as usam e, em última instância, evitando a produção de gases de efeito de estufa. Quando existe necessidade de recarregar as baterias, estas são ligadas a um sistema de carregamento através de pedais, que com apenas 20 minutos de carregamento lhes permite estar em funcionamento até 40 horas, mediante o esquema de utilização.

Um dos projetos deste tipo que já está implementando no Ruanda, o *Nuro Lighting Project*, estima que no decorrer da vida útil prevista deste projeto, que se encontra em dez anos, sejam evitadas a emissão de 483.346 toneladas equivalentes de CO₂ (Project 8138, cdm.unfccc.int)

No ano de 2014 foram emitidos 101.590.992 CERs, o que significa que foram reduzidas sensivelmente 100 milhões de toneladas equivalentes de CO₂, estando o total em 1.608.035.661 CERs.

Até 2020 estima-se que sejam emitidos 4 mil milhões de certificados que à razão de 1:1 se traduzem numa redução das emissões em 4 mil milhões de toneladas equivalentes de CO₂ (<http://cdm.unfccc.int/> acedido em 16/09/15).

1.4 - Objetivos e Metodologia

Fruto do aumento do preço da energia e das cada vez mais observáveis alterações climáticas, foi necessário desenvolver uma política de eficiência energética que ajudasse a diminuir a energia consumida. Esta política está assente em dois pilares que são a racionalidade económica e a sustentabilidade (www.adene.pt acedido em 14/09/15), no qual a iluminação eficiente se integra perfeitamente.

O presente trabalho consiste na realização de um estudo comparativo entre os diferentes tipos de tecnologia de iluminação artificial, dos drivers de mudança no setor da iluminação e também uma avaliação dos custos económico-ambientais da utilização de cada tipo de tecnologia.

Em termos metodológicos, será feita uma análise comparativa considerando, entre outros, os seguintes parâmetros: o tempo útil de vida da lâmpada, a energia consumida por lúmen produzido e a facilidade de reciclagem/presença de componentes tóxicos.

Na análise aos drivers do setor, serão estudadas variáveis que podem impactar a adoção da tecnologia LED que são, entre outras, a regulação, preço de venda do produto, preço da eletricidade e a assistência técnica.

Esta análise é importante uma vez que a iluminação eficiente é uma das grandes armas na política de combate às alterações climáticas, dado que a energia consumida por equipamentos menos eficientes acarretam um grande número de externalidades, sendo assim importante tornar claros os benefícios de uma troca para equipamentos mais eficientes.

Esta dissertação está organizada da seguinte forma:

- Após esta breve introdução, no capítulo 2 serão abordados o funcionamento e composição dos LED;
- No capítulo 3, será apresentado o estado da arte, desde os primórdios da tecnologia LED até à atualidade, referindo algumas utilizações menos correntes desta tecnologia;
- No capítulo 4, será efetuada uma comparação entre lâmpadas LED e as suas alternativas, com especial enfoque nas externalidades causadas pela utilização das lâmpadas.

- No capítulo 5, será estudada a componente económica da tecnologia LED;
- No capítulo 6 será efetuada uma apresentação dos resultados que o plano nacional de eficiência energética obteve.
- Por fim, serão apresentadas as conclusões desta dissertação.

Capítulo 2

2 - Funcionamento e composição dos LED

A terminologia LED vem do inglês *light emitting diod*. O LED é um semicondutor que emite luz quando atravessado por corrente elétrica. Os LED podem emitir luz de várias cores, dependendo do comprimento de onda que emitem. Este comprimento de onda está relacionado com a composição do LED, mais propriamente do material semicondutor que é utilizado.

A tabela 2 mostra qual o material semicondutor que é necessário na composição do LED para que uma certa cor seja emitida. O número de materiais usados por cada LED pode variar entre 2 e 4, resultando em várias cores diferentes.

Tabela 2 Semicondutores necessários para obter uma certa cor e seu comprimento de onda (www.lumex.com acedido em 13/04/15)

LED Color Guide

LED P/N Suffix	Description	Chemistry	# of Elements	Peak Wavelength (λp)	Dominant Wavelength (λd)	Forward Voltage		Brightness
						(Vf Typ)	(Vf Max)	
H	High Efficiency Red	GaP	2	700	660	2.0	2.5	Standard
SR	Super Red	GaAlAs	3	660	640	1.7	2.2	High
SI	Super High Intensity Red	AlInGaP	4	636	628	2.0	2.5	High
I	High Intensity Red	GaAsP	3	635	625	2.0	2.5	Standard
ZI	TS AlInGaP Red	AlInGaP	4	630	630	2.2	2.8	High
SO	Super Orange	AlInGaP	4	610	602	2.0	2.5	High
A	Amber	GaAsP	3	605	610	2.0	2.5	Standard
SY	Super Yellow	AlInGaP	4	590	588	2.0	2.5	High
ZY	TS AlInGaP Yellow	AlInGaP	4	590	589	2.3	2.5	High
Y	Yellow	GaAsP	3	585	588	2.1	2.5	Standard
SUG	Super Ultra Green	AlInGaP	4	574	568	2.2	2.6	High
G	Green	GaP	2	565	568	2.2	2.6	Standard
SG	Super Green	GaP	2	565	568	2.2	2.6	Standard
PG	Pure Green	GaP	2	555	555	2.2	2.6	Standard
UW	Ultra White	InGaN	3	~	~	3.2	4.0	High
UPG	Ultra Pure Green	InGaN	3	525	525	3.2	4.0	High
UEG	Ultra Emerald Green	InGaN	3	505	505	3.2	4.0	High
USB	Ultra Super Blue	InGaN	3	470	470	3.2	4.0	High
SB	Super Blue	GaN	2	430	466	4.5	5.5	Standard

O LED emite luz quando a corrente elétrica atravessa o díodo, libertando-se energia na forma de um fóton. Como já foi visto, os LEDs existentes no mercado possuem na sua composição, uma grande variedade de semicondutores inorgânicos que produzem as cores desejadas. Para cores mais frias (~2000k) o comprimento de onda é elevado e menos energia é despendida, ao invés das cores quentes (entre 6000k e 10000k), o comprimento de onda é mais curto e por conseguinte, a energia gasta é maior.

Para criar luz branca, a usada na iluminação, existem duas formas: pelo sistema RGB, que junta chips de três cores (vermelho, azul e verde) ou pelo sistema PC (*phosphor converted*) onde é adicionado fósforo branco ou amarelo ao semicondutor, gerando luz a baixos comprimentos de onda. De referir que o sistema PC é o mais utilizado pois este sistema permite ter maior eficácia luminosa fruto de um maior fluxo luminoso. A utilização de diferentes tipos de fósforo muda a temperatura da cor, permitindo jogar com a combinação para obter a cor preferida.

2.1 - Tipos de SSL

Os tipos de SSL que neste momento estão a ser fortemente estudados e desenvolvidos são o LED e o OLED. Estes ainda apresentam algumas desvantagens que podem limitar o seu uso em alguns ambientes. Na tabela 3 pode-se ver algumas das vantagens que os LED apresentam em relação às tecnologias “convencionais” de iluminação e também as suas desvantagens.

Tabela 3 Vantagens e desvantagens dos LED (www.ledsmagazine.com acedido a 14/04/15)

Vantagens	Tempo de vida útil
	Baixa manutenção
	Grande Eficiência
	Baixo consumo energético
	Não produz calor

	Tamanho pequeno
	Arranque a 100%
	Paleta de cores
	Novas soluções de <i>design</i>
	Não contém mercúrio
Desvantagens	Processo atrasado de padronização
	Variações de temperatura podem ser prejudiciais
	Custo elevado
	Inconsistência nos LED brancos
	<i>Gap</i> de conhecimento
	Sensível ao calor

Os LED nos dias que correm podem apresentar diversas configurações e conjugações. De seguida verificar-se-á os tipos de arquitetura existentes no mercado.

2.1.1 - Dual in line package LED

O DIP LED apresenta uma configuração semelhante aos primeiros LED inventados. Neste tipo de LED, são utilizados dois ou mais tipos de semicondutores inorgânicos que serão conjugados de formas diferentes para obter as variadas cores como já visto acima. Estes semicondutores são encapsulados por um material com um grande índice de refração (normalmente epóxi ou silicone). Existem vários formatos de encapsulamento, sendo o de forma de redoma o mais usual pois permite uma boa extração da luz através das suas propriedades refratoras pois permite um ângulo de reflexão interna elevado através da superfície do semicondutor. Existem ainda a forma hemisférica, retangular e

cilíndrica que não são tão utilizados devido a um desempenho mais fraco no campo da reflexão/refração (Schubert, 2006).

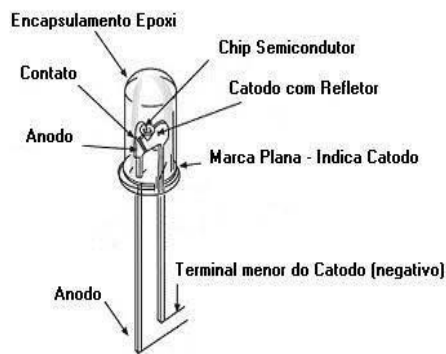


Figura 5 DIP LED (www.eletrhoo.paros.uni5.net acessado em 14/04/15)

2.1.2 - Surface Mounted Device LED

Neste tipo de LED, o díodo é colocado e soldado sobre uma placa de circuito integrado (PCB). Nesta placa estão os circuitos eletrônicos que quando é passada corrente elétrica, ele transmite-a ao chip LED e este emite luz fruto do movimento de elétrons. Os LED SMD são utilizados em variados tipos de equipamentos uma vez que a sua arquitetura apresenta vantagens em relação às outras tecnologias. Podemos encontrar este tipo de LED na retroiluminação em relógios, no *flash* dos *smartphones* e na indústria de transportes. As suas vantagens são, entre outras, o baixo consumo energético e o elevado tempo de vida útil.



Figura 6 Lâmpada LED SMD (www.firstenled.com acessado a 14/04/15)

2.1.3 - Chip on Board LED

Os COB LED são feitos através da fixação de vários chips no adesivo condutor e da posterior aplicação numa PCB. Estes chips podem ser usados em LEDs SMD ou nos *high power* e são agregados em módulos que variam em tamanho entre 350 μm a 1000 μm . A placa PCB pode ser de alumínio ou de cerâmica. As de alumínio têm o problema de serem menos capazes de dissipar o calor produzido pelos semicondutores e por isso são menos fiáveis. Os de cerâmica têm melhor *performance* mas são mais caros de produzir, inviabilizando o seu comércio em larga escala.

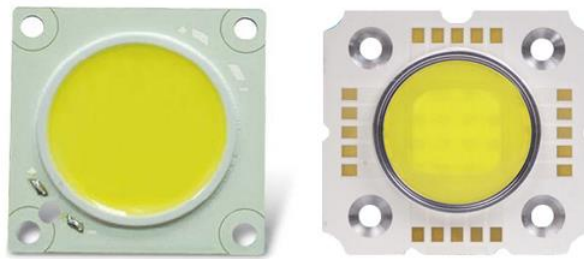


Figura 7 LED COB (www.lednews.org acedido a 16/04/15)

2.1.4 - Organic LED ou OLED

O OLED utiliza uma arquitetura de funcionamento semelhante à do LED, com a particularidade de pelo menos um dos semicondutores ser orgânico, ou seja, tem carbono na sua composição. Estes são compostos por duas camadas, das quais uma é emissiva e outra é condutiva, que são ladeadas por dois elétrodos. Nos OLED, a corrente elétrica passa do cátodo para o ânodo e também pelas duas camadas de moléculas orgânicas. Esta cria uma reação física que emite luz. A cor da luz emitida é dependente dos materiais usados na camada orgânica ou polimérica.

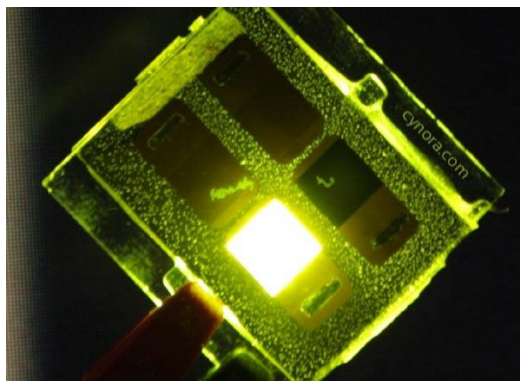


Figura 8 OLED em funcionamento (www.edisontechcenter.org acedido a 16/04/15)

Esta é uma tecnologia promissora que a seu tempo poderá ultrapassar o LED em termos de comercialização pois para além de se prever que quando for madura terá custos mais baixos de produção devido à sua montagem mais simples, as suas utilizações são inúmeras, de entre as quais se destacam ecrãs de TV e de computador mais finos, *heads up displays* transparentes e outros (M. Whelan, 2013).

Na tabela 4 pode-se ver algumas das principais vantagens e desvantagens dos OLED

Tabela 4 Vantagens e desvantagens dos OLED (M. Whelan, 2013)

Vantagens	São mais finos e mais leves que os LED
	São mais eficientes energeticamente
	Podem ser aplicados a equipamentos onde era impossível aplicar tecnologia de iluminação
Desvantagens	Custo atual bastante elevado
	Fluxo luminoso inferior ao LED
	Painéis atuais ainda são de pequena dimensão

Capítulo 3

3 - O Estado da Arte

Tendo já visto uma curta cronologia dos principais marcos históricos na evolução das tecnologias de iluminação, vai-se agora proceder a uma exposição mais completa das etapas que levaram à descoberta e produção do LED como o conhecemos hoje.

3.1 - Os Primórdios do LED

Em 1891, foi dado o primeiro passo naquele que viria a ser uma das partes mais importantes dos LED. Eugene Acheson descobriu uma forma de produzir carbetos de silício, ou carborundo (SiC) de forma pouco custosa. Ele criou um forno onde o processo químico de reação entre o vidro (SiO_2) e o carvão (C) se desenrolava, dando origem a SiC . O carborundo passou a ser usado na indústria como material abrasivo visto ser extremamente duro e barato (Schubert 2006). O carbetos de silício é um material que é utilizado num largo espectro de atividades onde as suas características (alta dureza, força, resistência à corrosão, baixo coeficiente de expansão térmica e alta condutividade térmica) fazem dele um material muito utilizado.

Quando no início do século XX foi descoberto o fenómeno de eletroluminescência, no qual consiste na passagem de corrente elétrica por um material que, em estado sólido, é aquecido a altas temperaturas e emite luz. Este fenómeno advém da radiação eletromagnética visível que é emanada pelo material quando aquecido a temperaturas superiores a $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Schubert 2006). A eletroluminescência foi observada pela primeira vez por Henry J. Round que era assistente de Marconi, em 1907. Ao contrário da incandescência, método de iluminação usado até há muito pouco tempo que emite luz a uma temperatura muito alta, a eletroluminescência acontece à temperatura ambiente, perdendo-se assim muito menos energia pela forma de calor. O passo seguinte na evolução do LED como o conhecemos foi dado cerca de vinte anos depois por um

cientista russo de seu nome Oleg Losev que demonstrava ter descoberto a importância do LED como meio de comunicação de imagem. Em meados da década de 1920, Losev observou a emissão de luz de um carbeto de óxido de zinco e silício usado num recetor de rádio quando a corrente passava nele. Em 1927, o cientista publicou o seu trabalho num conceituado jornal russo (*Wireless Telegraphy and Telephony*) onde as suas conclusões descreviam essencialmente aquilo que hoje conhecemos como LED (Zheludev, 2007). Losev concluiu que o processo que estava a emitir luz não se tratava de incandescência mas sim de eletroluminescência quando colocou por cima da fonte luminosa algumas gotas de benzeno, e, controlando a sua evaporação, concluiu que, uma vez que não havia evaporação anormal, a luz teria de estar a ser produzida por eletroluminescência.

Desde a sua descoberta até à sua primeira tentativa de comercialização ainda passaram alguns anos. Foi só em 1961 que os cientistas da *Texas instruments* (TI) Gary Pittman e Bob Biard criaram o LED infravermelho por acidente quando desenvolviam um díodo de Esaki. Este LED tinha como material semiconductor o arsenieto de gálio (GaAs) (M. Whelan, 2013). Em 1962, Nick Holonyack, Jr. que trabalhava na altura para a gigante *General Electric*, desenvolveu o primeiro LED de luz visível, o de luz vermelha. Para o conseguir, ele adicionou fósforo à combinação da dupla da TI, ficando o semiconductor composto por arsénio, gálio e fósforo (GaAsP). Devido ao seu elevadíssimo custo de produção a GE vendeu muito poucas unidades. O custo final de 260\$ por LED conjugado com o facto de o mercado não estar preparado para algo tão inovador ditou o fim temporário deste equipamento. Para se tornar economicamente viável, a produção destes LEDs teria de ser massiva, situação que não se verificou.

No princípio da década de 60 apareceu a primeira parceria para a introdução dos LEDs em grande escala no mercado. Esta parceria, entre a *The Monsanto Co.* e a *Hewlett-Packard Co.* consistia na venda de matéria-prima (os semicondutores de GaAsP) à HP. Esta relação esfriou quando a HP, com medo de ter só um fornecedor de semicondutores, começou a produzir ela própria GaAsP, eliminando a necessidade da parceria com a Monsanto. Nesta altura, os LED eram usados apenas em pequenos displays numéricos como calculadoras e relógios digitais. (M. Whelan, 2013)

Nos finais da década de 1960, James Tietjen, que na altura trabalhava como investigador na *Radio Corporation of America* (RCA) e era o diretor da divisão de pesquisa de materiais, teve a ideia de tentar criar uma televisão diferente das que já existiam em produção. Ele imaginou uma TV que fosse fina, e que pudesse ser instalada numa parede como um quadro. Para isso, era necessário que adicionar às cores de LED já existentes, os que faltavam para a criação do sistema RGB, de forma a poder recriar todas as cores no ecrã. Como já existiam LEDs vermelhos e verdes, estava a faltar o azul para que a sua ideia pudesse avançar. Dentro dessa ideia, Tietjen conversou com Paul Maruska, um investigador da área, e incumbiu-lhe a tarefa de criar um LED azul. Em 1971 conseguem recriar a cor azul pela forma de eletroluminescência utilizando um semicondutor composto por gálio e azoto (GaN) (M. Whelan, 2013).

Mais de vinte anos volvidos, em 1993, os cientistas japoneses Shuji Nakamura e Takashi Mukai criaram os primeiros díodos emissores de luz de cor verde e de cor azul. Ajudaram também a desenvolver LEDs de cor branca com a adição de fósforo ao semicondutor que tinham criado (GaInN) (Schubert, 2006).

3.2 - Desenvolvimentos recentes

Para além das utilizações normais dos LED como iluminação ou displays, estes também podem ter outras aplicações. Existem aplicações cosméticas e médicas como o sistema utilizado pela Light BioScience, na Virgínia, EUA, onde a tecnologia GentleWaves LED Photomodulation System utiliza dois painéis com mais de 2000 LEDs amarelos que emitem luz de baixa energia que estimula a produção de colagénio e reverte os efeitos do envelhecimento na pele. Na área médica, os LEDs estão a ser usados como tratamento da dor pela BioCare Systems no Colorado, EUA, onde o seu sistema PremIR818(TM) Infrared Therapy ajuda a reduzir temporariamente a dor associada a problemas musculares em zonas como o pescoço e as costas, e também a dores provocadas pela artrite através da utilização de LEDs infravermelhos de baixa energia que estimulam processos biológicos naturais nas zonas aplicadas. Este processo chamado de fotobiomodulação e fotobioestimulação, promovem os mecanismos naturais da regeneração de tecidos e também das respostas do sistema imunitário (www.ledsmagazine.com acedido em 21/04/15).

Uma outra utilização dos LED passa pelo combate à icterícia nos recém-nascidos. A icterícia é uma doença na qual os que a têm não conseguem processar o pigmento denominado bilirrubina. Utilizando uma frequência entre o verde e o azul, os recém-nascidos que têm a doença são colocados debaixo de uma lâmpada LED com um filtro ultra violeta. A luz emitida pelo LED altera a estrutura da bilirrubina de forma que os bebês possam começar a processar o pigmento por si mesmos, como demonstrado na figura 9.



Figura 9 Bebê em tratamento contra a icterícia (www.osram.com ^b acedido em 21/04/15)

Os LED podem, também, ter um impacto significativo no tratamento de alguns tipos de depressões, como é o caso do transtorno afetivo sazonal. Esta é uma doença na qual os que dela sofrem começam a sentir uma grande falta de energia quando os dias ficam mais curtos durante os meses de inverno. Através do uso de iluminação LED especificamente criados para imitar as características da luz solar, o paciente ficará perto de uma caixa com os LED para que seja exposto aquela luz. Essa exposição vai ter um efeito positivo

na química cerebral, e, em dias, os efeitos da depressão já serão muito menores (www.mayoclinic.org acedido em 01/09/15).

Existem ainda outras utilizações científicas para os LED, como por exemplo na horticultura, onde a conjugação de forte iluminância com a não emissão de calor radiante permite a criação de condições ótimas ao crescimento das plantações (Morrow, 2008).

No futuro, os principais objetivos do desenvolvimento desta tecnologia são a redução do consumo elétrico, mantendo ou mesmo aumentando o *output* luminoso da lâmpada, mantendo a integridade estrutural e a estrutura de custos. A incorporação de sistemas inteligentes de controlo de luz são também um dos objetivos, desta feita para as novas instalações, de maneira a ser possível um controlo ótimo da utilização das lâmpadas (IEEE, 2010).

Capítulo 4

4 - Análise comparativa entre lâmpadas LED e alternativas

Para melhor compreender as vantagens económicas apresentadas pelas lâmpadas LED em comparação com as tradicionalmente usadas (fluorescentes e incandescentes), é necessário comparar o seu tempo de vida útil, a quantidade de energia utilizada na sua utilização e o custo da própria lâmpada. Na tabela seguinte poderemos fazer essa comparação, e aferir as vantagens fornecidas pela tecnologia LED.

Tabela 5 Comparação de tecnologias (adaptado de www.eartheasy.com acedido em 30/06/15)

Tecnologia	LED	Fluorescente	Incandescente
Tempo de vida útil	~50.000 horas	~10.000 horas	~1.200 horas
Energia usada em 50.000 horas	500W	700W	3000W
Watt p/ lâmpada	10	14	60
Custo de eletricidade (10 cent kWh)	50€	70€	300€
Lâmpadas necessárias para 50.000 horas de luz	1	5	42

Podemos então ver com apoio na tabela 5 que, mesmo excluindo o preço do equipamento, as lâmpadas LED são muito mais favoráveis economicamente que as incandescentes, e ligeiramente mais favoráveis que as fluorescentes. No entanto, não se está a ter em conta o custo por lâmpada (uma vez que o mercado das lâmpadas LED está em mudança

constante, com os preços a cair a cada mês), o que só viria acentuar as vantagens do LED, uma vez que para obter o mesmo tempo de funcionamento, 50.000 horas, seria necessário apenas uma lâmpada LED, 5 fluorescentes ou 42 incandescentes mesmo tendo em conta o seu elevado custo de compra.

No capítulo ambiental, para além do funcionamento das lâmpadas, há que averiguar todo o seu ciclo de produção. Como este trabalho se foca na tecnologia LED, é esta que se vai analisar, sendo por fim comparada às outras tecnologias existentes.

As diferenças não se ficam pela parte económica. Estas também se verificam a nível ambiental, onde o maior consumo energético das lâmpadas incandescentes causam uma fatura ambiental muito mais elevada que as alternativas (CFL e LED) como podemos ver na figura 10.

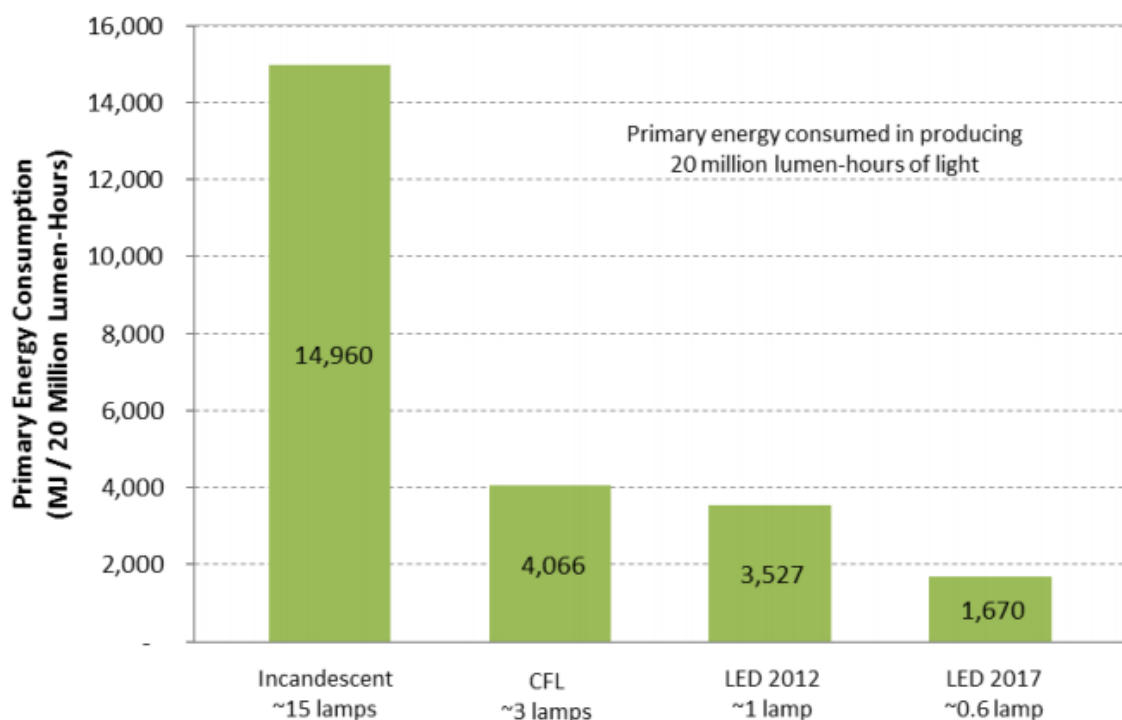


Figura 10 Energia primária usada para produzir 20 milhões de lúmen-hora de luz por tipo de lâmpada (DoE, 2013)

4.1 - Impactos ambientais das diferentes tecnologias

Para além do gasto energético, o ciclo de vida dos diferentes tipos de lâmpada têm impactos importantes nos diferentes setores do meio ambiente (ar, água, solo e recursos). Tal como no gasto de energia, também aqui as lâmpadas incandescentes são as que mais impactam estes setores. De seguida vão-se apresentar os impactos de cada tipo de lâmpada nos diferentes setores ambientais

4.1.1 - Impactos no ar

Lamp Type	Global Warming Potential (GWP)	Acidification Potential (AP)	Photochemical Oxidation (POCP)	Stratospheric O ₃ depletion (ODP)	Human Toxicity Potential (HTP)
	kg CO ₂ -Eq	kg SO ₂ -Eq	kg formed O ₃	kg CFC-11-Eq	kg 1,4-DCB-Eq
Incandescent	1031.640	7.90790	0.0458570	0.0000111	205.4860
CFL	304.879	2.27035	0.0162390	0.0000052	67.6920
LED-2012	251.025	1.75115	0.0125682	0.0000038	60.4102
LED-2017	122.772	0.85335	0.0061200	0.0000020	30.4625

Figura 11 Impactos relacionados com o ar provenientes de 20Mlm-hora de luz (DoE, 2012)

Como se pode ver na figura 11, a lâmpada incandescente é aquela que apresenta uma maior quantidade de CO₂ equivalente emitido durante a produção de 20Mln-hora de luz, com pouco mais de uma tonelada de CO₂ emitido. A lâmpada Fluorescente (CFL) permite uma redução na ordem dos 70% enquanto a tecnologia LED existente em 2012 apresentava uma redução de 76% em relação à incandescente e está previsto que a tecnologia LED existente em 2017 permita reduções na ordem de 88%.

Nos outros parâmetros (Potencial de Acidificação, Oxidação Fotoquímica, Diminuição do O₃ Atmosférico e Potencial de Toxicidade Humano) observa-se uma lógica semelhante onde existe uma grande diferença entre as lâmpadas incandescentes e as tecnologias mais verdes que é sempre de mais de 50%.

4.1.2 - Impactos na água

Lamp Type	Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential (FAETP)	Marine Aquatic Ecotoxicity Potential (MAETP)	Eutrophication Potential (EP)
	kg 1,4-DCB-Eq	kg 1,4-DCB-Eq	kg PO4-Eq
Incandescent	21.5907	111.6980	1.9465
CFL	5.9298	36.3825	0.6505
LED-2012	4.6758	29.7654	0.5292
LED-2017	2.3312	15.3707	0.2696

Figura 12 Impactos relacionados com a água provenientes de 20Mlm-hora de luz (DoE, 2012)

Nos impactos verificados nos meios aquáticos, verifica-se uma manutenção da tendência, sendo a tecnologia de incandescência a que mais prejudica o ambiente. Nos três campos analisados (Potencial de ecotoxicidade de água potável, Potencial de ecotoxicidade marinha e Potencial de eutrofização) a diferença entre a tecnologia incandescente e a fluorescente é sempre superior a 60%, situando-se a previsão de melhoramento para o LED-2017 sempre acima de 80%.

4.1.3 - Impactos no solo

Lamp Type	Land Use (LU)	Ecosystem Damage Potential (EDP)	Terrestrial Ecotoxicity (TAETP)
	m ² a	points	kg 1,4-DCB-Eq
Incandescent	22.7878	16.9970	0.1244
CFL	7.2909	5.4200	0.0486
LED-2012	5.4011	4.0701	0.0354
LED-2017	2.6661	2.0073	0.0182

Figura 13 Impactos relacionados com o solo provenientes de 20Mlm-hora de luz (DoE, 2012)

Mais uma vez, na figura 13 podemos aferir que as tecnologias CFL e LED-2012 e LED-2017 são bastantes menos poluentes em termos de impactos no solo (Uso de espaço, Potencial de dano ao ecossistema e Ecotoxicidade terrestre) sendo o benefício da troca de incandescente para CFL sempre sinónimo de uma redução superior a 60% de danos ambientais e se a troca for considerada para LED-2017 o benefício seria superior a 85% nos três campos.

4.1.4 - Relativamente aos recursos

Lamp Type	Abiotic Resource Depletion (ARD) <i>kg antimony-Eq</i>	Non-Hazardous Waste Landfill (NHWL) <i>kg waste</i>	Radioactive Waste Landfill (RWL) <i>kg waste</i>	Hazardous Waste Landfill (HWL) <i>kg waste</i>
Incandescent	7.6389	35.9500	0.0426	0.0234
CFL	2.2279	13.2890	0.0125	0.0077
LED-2012	1.8502	12.3668	0.0106	0.0081
LED-2017	0.9048	7.4469	0.0052	0.0037

Figura 14 Impactos relacionados com os recursos provenientes de 20Mlm-hora de luz (DoE, 2012)

Observando por último o impacto nos recursos naturais (Depleção dos recursos abióticos, Resíduos não perigosos, Resíduos radioativos e Resíduos perigosos) que cada tecnologia apresenta, os benefícios mínimos na troca de tecnologias situam-se na ordem dos 60% de redução de impactos. De salientar a redução dos resíduos radioativos e perigosos, sendo estes dois dos impactos mais importantes que as lâmpadas, independentemente da tecnologia, produzem.

4.2 – Resumo dos impactos ambientais

A figura 15 mostra de forma mais simples e intuitiva a relação entre tecnologias no que aos impactos ambientais diz respeito.



Figura 15 Impacto comparativo do ciclo de vida de uma lâmpada por tecnologia e tipo de impacto (adaptado de DoE, 2012)

Pode-se então verificar que relativamente às lâmpadas incandescentes as tecnologias consideradas verdes têm impactos muitíssimo mais pequenos, sendo a tecnologia fluorescente a segunda mais poluente em todos os aspetos menos um, seguindo-se o LED-2012 e o LED-2017. No campo onde o LED-2012 é mais poluente que o CFL (resíduos perigosos), acontece que esta tecnologia é prejudicada pela quantidade de material utilizado no dissipador de calor da lâmpada. Apesar de ser mais poluente, a diferença é muito pequena (0.4gr), não sendo esta uma razão que inviabilize a penetração desta tecnologia. (DoE, 2012)

Ignorando agora a tecnologia incandescente, que está num processo de *phase-out* em vários países dos quais se destacam EUA, Japão, Rússia e China e também na UE (McKinsey&Co., 2012), vai-se agora comparar os impactos das tecnologias CFL e LED-2012 e os impactos previstos para o LED-2017, tomando o CFL como comparativo.

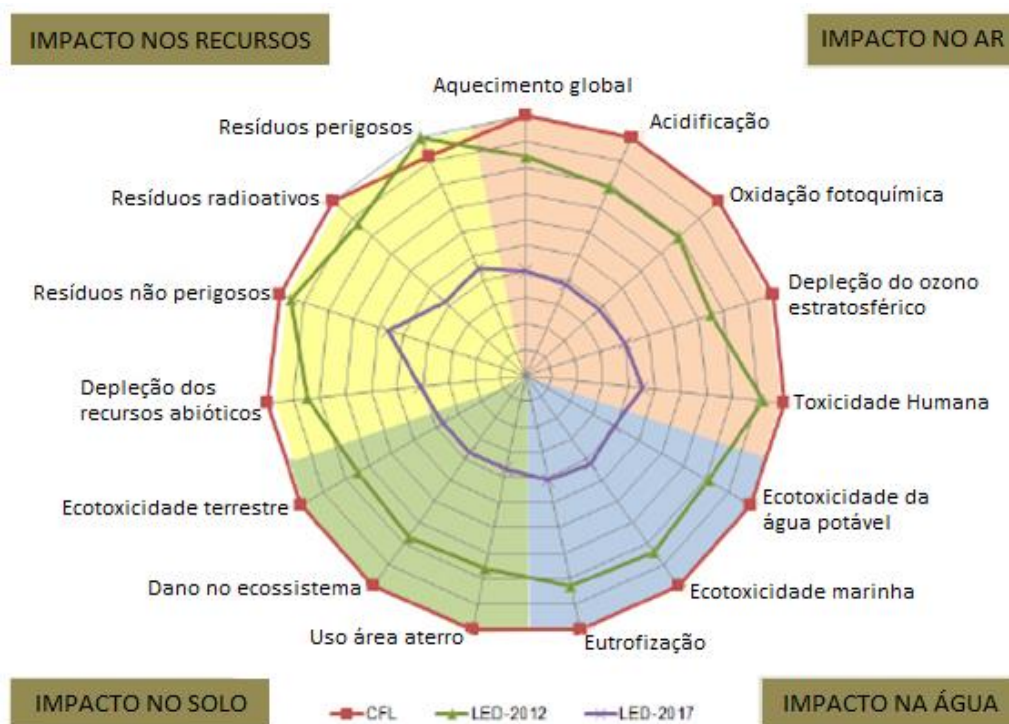


Figura 16 Impacto comparativo do ciclo de vida de uma lâmpada por tecnologia e tipo de impacto (adaptado de DoE, 2012)

Este gráfico permite-nos verificar, agora sem a presença das incandescentes, que a tecnologia LED existente em 2012 era a melhor opção ambiental e financeira, no que a tecnologias de iluminação diz respeito. No entanto o que é de realçar deste gráfico é a redução de impactos prevista aquando da troca de uma lâmpada de tecnologia CFL por uma LED-2017. Esta redução situa-se sensivelmente nos 70%.

Capítulo 5

5 - A componente económica

5.1 - O mercado global de iluminação

O mercado de iluminação pode ser também dividido em três grandes segmentos: iluminação geral (iluminação típica como por exemplo iluminação residencial, industrial e pública) iluminação automóvel e retroiluminação.

O mercado da iluminação geral apresentou, em 2011, uma faturação na ordem dos 55 mil milhões de euros, que representam quase 75% do total do mercado de iluminação (McKinsey&Co., 2012). Estes valores são esperados que subam até 2020 para 83 mil milhões de euros, e que representem cerca de 80% do mercado total. Existem dois fatores que condicionam o crescimento do volume de vendas em €, sendo elas a descida do preço das novas lâmpadas, que tem descido a uma velocidade mais alta que o esperado anteriormente e o crescimento do PIB.

O mercado da iluminação automóvel, contava em 2011 com cerca de 20% do total do mercado de iluminação, e o seu valor estimado era de 14 mil milhões de euros. Até 2020, é esperado que este valor suba 4 mil milhões de euros. Apesar do crescimento do volume de negócios, é expectável que este segmento perca *market share* fruto do crescimento do segmento geral.

O mercado da retroiluminação está neste momento em declínio fruto da forte penetração da tecnologia OLED no mercado dos telemóveis e televisores, no entanto, uma vez que estes equipamentos utilizam uma tecnologia de auto iluminação, deixa de haver necessidade de existir retroiluminação nestes equipamentos. Por estas razões, estima-se que em 2020 este segmento fature apenas cerca de mil milhões de euros.

O mercado da iluminação é um mercado dinâmico que é impactado diretamente pela conjuntura económica mundial e regional. Com a crise que se tem verificado a nível quase global, o mercado da iluminação tem vindo a sofrer.

Existem vários sub-mercados dentro do mercado da iluminação, sendo os mais importantes o mercado de lâmpadas e o mercado de luminárias. Estes dois mercados têm drivers diferentes. Enquanto o mercado de luminárias está intimamente ligado à construção civil, que por sua vez está intimamente ligado ao PIB, o mercado de lâmpadas é um mercado guiado pela substituição der equipamentos (McKinsey&Co., 2012) uma vez que a necessidade de trocar de lâmpada quando esta avaria é grande e não é algo que possa ser deixado para uma altura de maior liquidez económica por parte de quem necessita, o que o torna mais resiliente às alterações macroeconómicas. Por esta razão, o ao contrário do que se verifica com o mercado de luminárias, o mercado de lâmpadas está muito menos ligado ao PIB, como podemos verificar na figura 17.

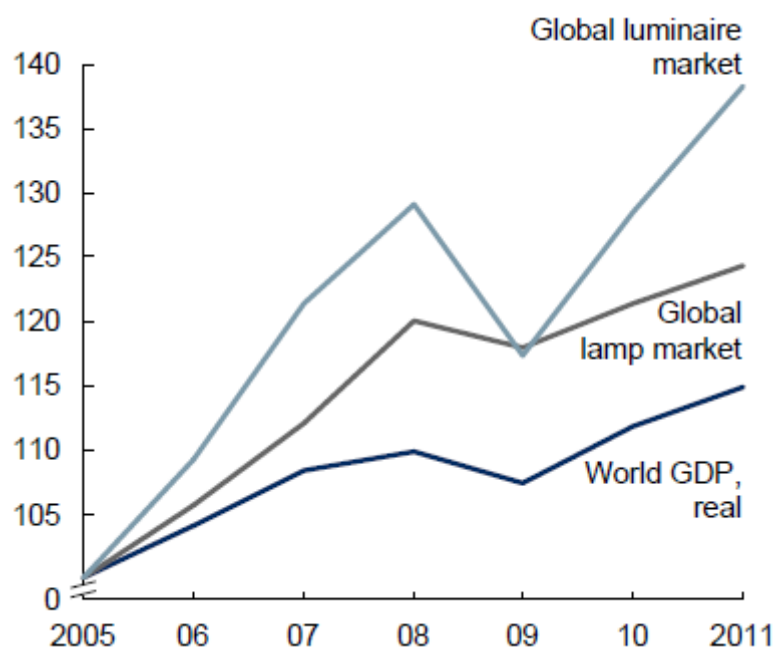


Figura 17 Relação entre PIB, mercado de lâmpadas e mercado de luminárias (indexado de 2005; milhares de milhões de USD) (McKinsey&Co., 2012)

Para além da envolvente económica, o mercado da iluminação é fortemente afetado pela regulação que existe a nível governamental que se verifica em duas frentes distintas: proibição das tecnologias mais poluentes e gastadoras e implementação de incentivos à instalação de tecnologias mais eficientes.

Neste momento, as tecnologias menos eficientes e mais poluentes estão a sofrer um

phase-out nas regiões mais industrializadas. EUA, Japão, Rússia e UE já têm uma proibição efetiva de todas as lâmpadas incandescentes. Países como a China e o Brasil têm neste momento a decorrer ações de erradicação deste tipo de lâmpadas, sendo que as únicas que ainda são permitidas são as de baixa potência (15w). Também as lâmpadas de halogénio de baixa potência já foram banidas pela EU devido ao seu perfil de consumo (McKinsey&Co., 2012).

A regulação também está presente nas novas construções, onde existem metas de eficiência que as novas construções têm de atingir. Aqui, está em ação um plano de incentivos financeiros para as novas construções que já utilizem iluminação mais eficiente.

No rescaldo do desastre nuclear de Fukushima, várias nações optaram por iniciar um *phase-out* das suas instalações de produção de energia nuclear. Uma vez que esta energia é uma energia barata e quase não poluente que vai ter de ser substituída por fontes mais convencionais, é importante aumentar a eficiência energética dos edifícios, de forma a não haver falhas. É aqui que o LED entra em força, sendo a tecnologia de iluminação mais eficiente no mercado atual, uma vez que cerca de 20% de toda a energia consumida é gasta na iluminação. Desta forma, é expectável que a redução de centrais nucleares possa dar um impulso à penetração do LED no mercado (McKinsey&Co., 2012).

5.2 - Avaliação geográfica dos mercados

Na Europa, o *market share* baseado no valor da tecnologia LED situava-se em 9% em 2011, com previsões que se atinjam 45% em 2016 e 70% em 2020 (McKinsey&Co., 2012). Esta rápida escalada da quota de mercado deve-se a vários fatores, dos quais se destacam a rápida descida do preço, com o *premium* que esta tecnologia cobrava aos consumidores a mostrar tendências de queda acentuada, fatores políticos na Europa como o *phase-out* de várias centrais nucleares na Alemanha e as políticas de regulamentação da União Europeia que ao banirem certos tipos de lâmpada muito ineficiente, estão a abrir espaço no mercado para as mais eficientes.

Na América do Norte, verifica-se que a quantidade de tecnologia LED instalada era ligeiramente inferior à da Europa em 2011, cifrando-se nos 8%, no entanto as suas

previsões de crescimento apontam para as mesmas metas que a Europa, esperando-se então, um *market share* baseado no valor de 45% para 2016 e 70% para 2020 (McKinsey&Co., 2012). Também nesta região, a descida do preço do LED está a ter um papel importante na adoção da tecnologia, no entanto, existem fatores que possam exercer influencia negativa neste crescimento como é o caso do mercado do *shale gas* que pode fazer com que o preço da energia baixe para os consumidores, reduzindo a sua urgência em trocar estes equipamentos.

A região da Ásia e Pacífico (Austrália e Nova Zelândia) era, em 2011, a líder do mercado de iluminação, perfazendo 40% do total desse mercado, dos quais 10 % correspondiam a tecnologia LED. No entanto, após a catástrofe nuclear de Fukushima no Japão, a população deste país viu-se com problemas de fornecimento de energia o que levou a que houvesse uma muito maior percepção do problema que é a falta de eficiência energética. Assim, em 2012 já se verificava que naquele país 30% das instalações de iluminação já eram LED e mais de 50% das novas instalações já foram feitas com luminárias LED. Apesar deste avanço verificado no Japão, partes da Ásia ainda estão um pouco atrasadas neste setor (principalmente a parte terceiro-mundista da Ásia) o que faz com que as previsões para 2016 e 2020 sejam iguais às da Europa e América do Norte, situando-se em 45% para 2016 e 70% para 2020. (McKinsey&Co., 2012)

No resto do mundo (América Latina, Médio Oriente e África), o tamanho dos seus mercados é bastante mais pequeno quando comparado com as regiões já referidas e a percentagem do LED é mais pequena que o verificado nessas regiões. A América Latina perfazia 4% do mercado global de LED enquanto África e Médio Oriente apenas representam 5% do *market share* baseado em valor. Nestas regiões a penetração esperada é inferior uma vez que há menos capacidade financeira para combater o preço *premium* que esta tecnologia ainda acarreta. Para além disso vários fatores governamentais estão a dificultar a entrada destas tecnologias nos seus respetivos países devido aos impostos exigidos a quando da importação das luminárias e lâmpadas. Esta situação só será contrariada se for possível que estes equipamentos sejam produzidos internamente, o que não é, neste momento, expectável.

5.3 - Drivers da procura do LED

O preço das lâmpadas LED tem estado a descer significativamente nos últimos anos e será expectável que a tendência se mantenha. Esta redução de preços deve-se a vários fatores sendo um dos mais importantes o aumento na capacidade produtiva de módulos LED na China. Estes módulos (compõem um único díodo) são os maiores componentes numa lâmpada LED, logo sendo os seus componentes mais baratos, também a própria lâmpada o vai ser. Outro fator importante na adoção ao LED é o tempo de *payback*. As lâmpadas e luminárias LED têm preços de compra bastante altos quando comparados com outras lâmpadas verdes mas menos eficientes. Contudo, o seu tempo útil de vida (pode chegar às 50 mil horas) e a sua eficiência fazem com que a poupança decorrente da utilização deste tipo de lâmpadas seja superior no longo prazo. Assim, atingindo o *payback* em cerca de 4 anos (no caso residencial), mas com uma duração aproximada de 34 anos (assumindo uma utilização diária de 4 horas) significa que o consumidor estará a beneficiar com a sua compra durante cerca de 30 anos. Foi feito um inquérito em que se inquiria qual o período de *payback* que seria aceitável para a tecnologia LED, dividido em sete utilizações distintas (residencial, escritório, industrial, superfícies comerciais, serviços de hospitalidade, exterior e arquitetural).

Os resultados são os que se seguem figura 18.

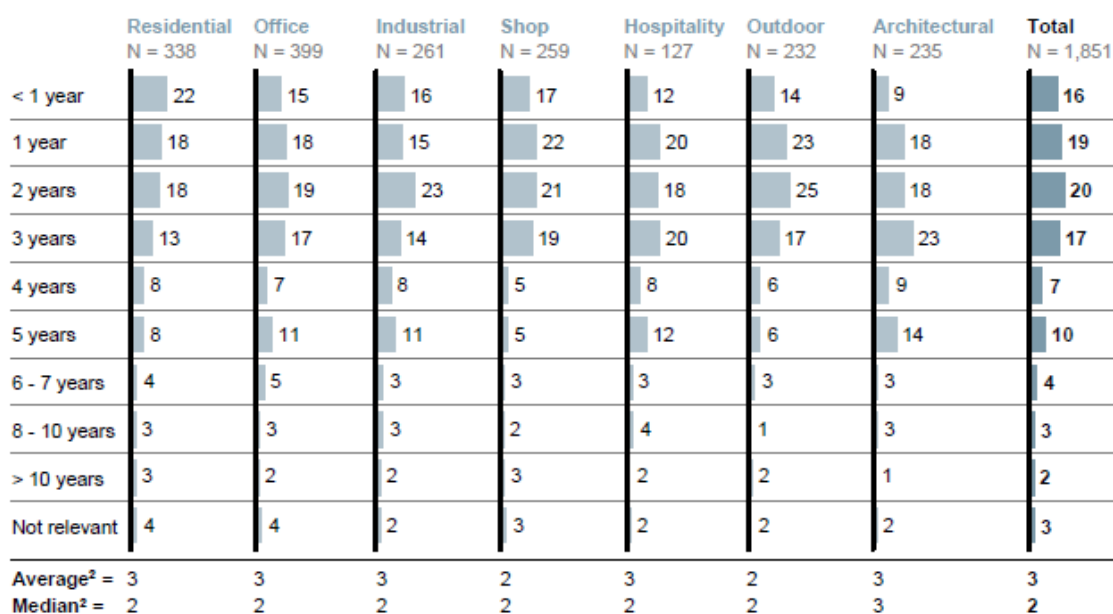


Figura 18 Período aceitável de retorno de investimento em tecnologia LED por aplicação (McKinsey&Co., 2012)

5.4 - Transição mais rápida entre tecnologias

A curva de penetração de mercado da tecnologia LED tem um padrão *S* que se aplica tanto para as lâmpadas como para as luminárias. No segmento de iluminação geral, verificou-se que foram necessários 4 a 6 anos para haver uma penetração da tecnologia LED a 10%, no entanto, a transição de 10% para 20% demorou apenas entre 1 a 3 anos (McKinsey&Co., 2012). Mantendo o padrão do gráfico, a tendência dever-se-á manter, sendo por isso expectável que se continue a verificar uma elevada taxa de penetração da tecnologia LED até ao momento em que o mercado comece a ficar saturado. Nessa altura, a motivação de substituição de lâmpada deverá mudar de novas instalações para troca de equipamentos que avariaram.

5.5 - Mudança no paradigma industrial

A primeira grande utilização da tecnologia LED verificou-se na retroiluminação de equipamentos de imagem (TVs, monitores e pequenos equipamentos eletrónicos), no entanto, está a verificar-se uma transição do foco para a iluminação geral. Para além disso, vê-se uma aposta das empresas produtoras de díodos e lâmpadas em fases mais *downstream* da cadeia de valor, fazendo valer a sua força nos campos da padronização, das instalações de luz e a mudança no *mix* de canais de vendas.

Em 2011, cerca de metade do mercado de díodos estava situada no setor da retroiluminação. (McKinsey&Co., 2012) Uma vez que este mercado está a chegar ao seu ponto de saturação, aliado à rápida descida do preço das lâmpadas LED, o valor do mercado está a transitar da retroiluminação para o emergente mercado da iluminação geral. Este fenómeno está a fazer com que os grandes *players* da retroiluminação mudem o seu foco para a iluminação geral de forma a compensar o previsto declínio dos mercados onde estavam inseridos. Para além disso, está a verificar-se uma atuação da parte dos produtores de LED, que estão a adquirir empresas produtoras de luminárias e a expandir os seus negócios para a área dos sistemas de controlo de luz, de forma a garantir a sua presença e força nos mercados que estão em expansão.

5.6 - Acelerada padronização das lâmpadas LED

A padronização das lâmpadas e luminárias LED é uma das grandes apostas das grandes empresas produtoras destes equipamentos e está em grande aceleração. Um dos maiores consórcios de padronização de lâmpadas e luminárias LED, a Zhaga onde os seus membros partilham de forma cooperativa os resultados que vão tendo em investigação e desenvolvimento, tem definidas um conjunto de especificações que promovem a intermutabilidade entre marcas e produtores no que às lâmpadas e luminárias diz respeito. Tem neste momento 145 empresas associadas das quais se destacam os gigantes OSRAM, Phillips e Samsung (www.zhagastandard.org acedido em 01/09/15).

Esta padronização, que é feita através da publicação de “livros” nos quais são criados interfaces de especificações, beneficia não só as grandes empresas, que podem conseguir quota de mercado sem obrigar o consumidor a trocas de equipamentos e custos avultados, mas também as pequenas empresas produtoras, que veem os seus produtos serem compatíveis com os equipamentos das grandes marcas, não necessitando assim de ter todas as soluções de luz no seu portefólio de produtos.

Existe também, a nível europeu, uma padronização relativamente à *performance* inicial dos LEDs, que se trata de um selo de qualidade concedido pela EEPKA (Associação Europeia de Certificação de Produtos Elétricos, em português) com o nome de ENEC+. Este selo garante a conformidade dos produtos com a legislação vigente e também as características do produto no seu início de ciclo de vida (www.led-professional.com acedido em 01/09/15).

Para além de tudo isso, a padronização permite criar economias de escala, aumentar o volume de produção e focalizar a investigação e desenvolvimento em parâmetros que acharem deficitários. Por fim, este processo permite fazer com que o mercado de iluminação se transforme num mercado de *commodities*, à semelhança do que acontece com outras indústrias de componentes eletrónicos (McKinsey&Co., 2012).

5.7 - Mudança da cadeia de valor de troca para novas instalações

A mudança no tempo útil de vida das novas lâmpadas está a levar a uma mudança na cadeia de valor, onde o grande driver de compra de novas lâmpadas era a necessidade de trocar equipamentos estragados (lâmpadas fundidas ou luminárias estragadas), para as novas instalações. Uma vez que as novas instalações não são feitas por uma base de necessidade, estas não são afetadas pelo grande tempo de vida útil das lâmpadas, assim, e porque com as diretivas de eficiência energética os novos edifícios necessitam ter um saldo energético quase igual a zero, este segmento de mercado está a crescer.

Estimativas de 2011 indicavam que o mercado de troca de lâmpadas iria encontrar o seu pico em 2016. Este facto faz com que seja previsível uma mudança de peso no valor de mercado das lâmpadas para novas instalações e sistemas de controlo de luz, como podemos verificar na figura 19 onde ² inclui componentes elétricos (balastro) e ³ inclui LED e lâmpadas convencionais.

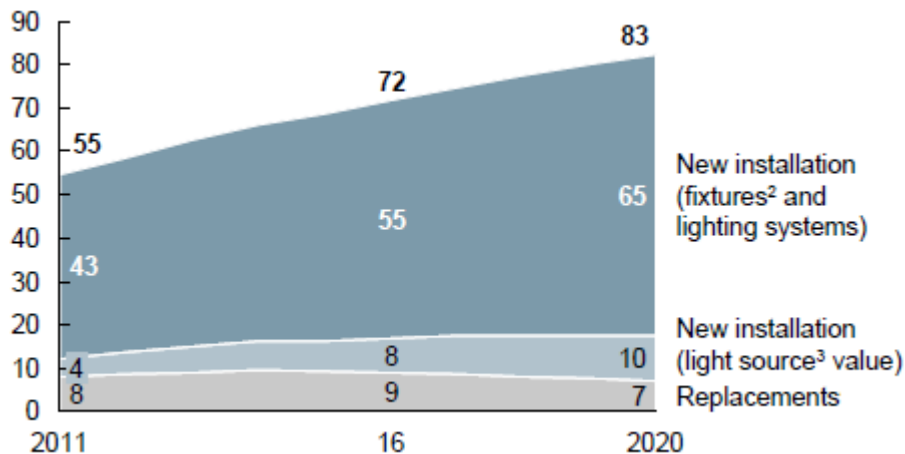


Figura 19 Tendências de mercado de novas instalações e de mudança de lâmpadas na iluminação geral.
(McKinsey&Co., 2012)

5.8 - Novos canais de vendas

A penetração acelerada que a tecnologia LED tem tido no mercado da iluminação geral, juntamente com a transição da maior percentagem de mercado estar em transição para os sistemas de controlo de luz e as novas instalações, tem feito alterar os canais pelas quais

eram efetuadas as vendas desses produtos.

Foram estudados três tipos de venda: direta, por atacado e a retalho. O primeiro tipo englobam as vendas feitas diretamente pelos produtores aos utilizadores finais; o segundo e terceiro tipos funcionam com um intermediário que faz a ponte entre o produtor e o utilizador final, com a venda por atacado a focar-se no segmento profissional e a venda a retalho a focar-se no consumidor residencial. A figura 20 representa, de forma estimada, a quota de mercado de cada canal de venda por tipo e segmento de mercado.

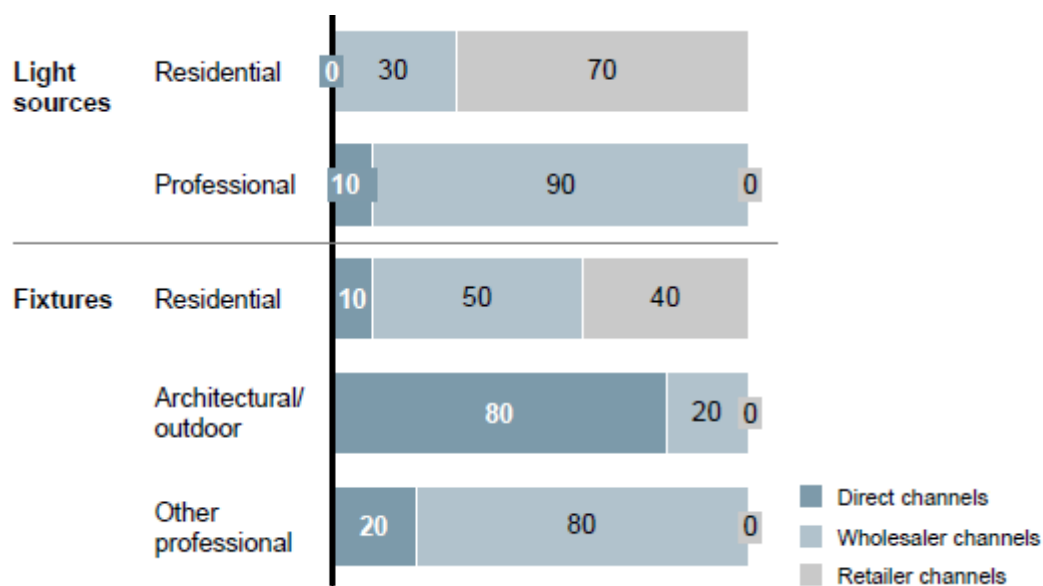


Figura 20 Quota de mercado estimada por canal de venda e segmento de mercado (McKinsey&Co., 2012)

À data da elaboração deste gráfico, a venda por atacado e a retalho eram os canais com maior volume de negócios na área das lâmpadas, capturando principalmente o mercado de substituição de fontes de iluminação. Por outro lado, na área das luminárias os canais de venda preferidos diferem por tipo de utilização, sendo que no uso residencial a venda por atacado e retalho compreendem a maior parte do mercado, perfazendo 90%, sendo que apenas 10% das vendas se fazem pelo canal direto. Por oposição, a iluminação pública e arquitetónica está quase totalmente centralizada no canal de venda direta (80%) com uma pequena parte a caber à venda por atacado (20%). Na área da iluminação a profissionais, as posições invertem-se em relação ao tipo anterior, fazendo-se esta quase totalmente por atacado (80%), enquanto o restante é feito por venda direta (20%). É

expectável que este mercado de luminárias continue a crescer fruto da implementação desta tecnologia nas novas construções, assim como as vendas dos sistemas de controlo de luz, o que pode trazer algumas alterações a estas percentagens apresentadas.

5.9 - O mercado dos sistemas de controlo de luz

Cerca de 30% de toda a energia consumida pela iluminação é desperdiçada quando as lâmpadas estão a iluminar espaços vazios (McKinsey&Co., 2012). Assim, torna-se imperativo que seja possível controlar de forma eficiente este uso de energia. É neste campo que entram os sistemas de controlo de luz, que são ajudados a controlar a luz emitida numa determinada divisão, escritório ou até mesmo edifício. Estes sistemas podem controlar não só as luzes interiores mas também as exteriores. Estes sensores podem ser de quatro tipos: deteção de ocupação, onde é utilizada uma tecnologia que deteta a presença de pessoas num determinado espaço e que liga ou desliga automaticamente as luzes consoante a necessidade, foto-sensores que determinam a quantidade de luz necessária numa divisão consoante a luz que recebem num sensor colocado numa localização estratégica, reguladores de intensidade luminosa que permitem aos utilizadores regular a potência que as lâmpadas recebem, regulando assim o seu *output* e também temporizadores, que ligam e desligam as lâmpadas a uma hora determinada pelo utilizador, evitando o desperdício de energia nas horas em que as lâmpadas não estão a ser necessárias (CEE, 2014). Quando combinados com a tecnologia LED, estes sensores não só poupam energia, mas também ajudam a manter a saúde dos equipamentos, fazendo com que estes durem mais tempo, o que alargam a poupança dos seus utilizadores ainda mais.

Os controladores são dos produtos a jusante da cadeia de valor da iluminação que maior crescimento têm verificado, sendo previsto um crescimento anual de cerca de 20% até 2020 (McKinsey&Co., 2012), como podemos verificar na figura 21.

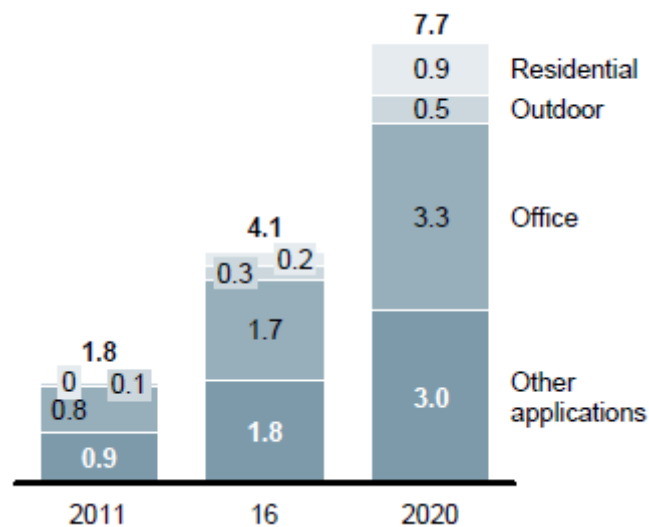


Figura 21 Tendência de mercado para os controladores de luz (McKinsey&Co., 2012)

5.10 - Outros negócios a jusante

Para além dos sistemas de controlo de luz que já foram analisados, surgem da penetração da tecnologia LED no mercado outros negócios intimamente ligados à tecnologia mas que são na sua génese, completamente diferentes. São eles:

- Serviços financeiros: Devido ao preço *premium* que se verifica ainda na tecnologia LED, o custo de aquisição dos produtos é um dos grandes obstáculos da sua implementação em grande escala. Surgem assim serviços financeiros, mais concretamente créditos e possibilidades de *leasing* que permitem a quem compra, pagar o seu crédito com as economias geradas pela poupança de energia.
- Serviços de manutenção: Fruto do seu longo período de vida útil, cerca de 20 anos dependendo da utilização, é importante uma manutenção cuidada dos equipamentos de forma a garantir o maior fluxo luminoso possível, uma vez que é frequente ver o fluxo luminoso diminuir ao longo da vida da lâmpada. A manutenção permite minimizar essa perda de fluxo e, assim, melhorar as economias que advêm da utilização destes produtos.
- Serviços técnicos: Cada vez mais são importantes os estudos luminotécnicos para uma ótima instalação e direcionamento do fluxo luminoso. Estes estudos

são encomendados geralmente para grandes instalações em naves industriais ou grandes superfícies comerciais.

Capítulo 6

6 - O caso português

Estando presente em todas as atividades noturnas e muitas das diurnas que efetuamos, a iluminação artificial assume-se como um elemento chave na vida como a conhecemos.

Com o aumento das preocupações com a eficiência energética, o mercado da iluminação em Portugal sofreu algumas alterações fruto da necessidade de melhorar os equipamentos que existiam, que eram extremamente ineficientes, trocando-os por tecnologias mais avançadas e menos gastadoras. Contudo, o *gap* de conhecimento no que toca à eficiência energética, ainda fazia com que muitos consumidores preferissem as lâmpadas mais gastadoras e ineficientes, pois estas tinham um custo de obtenção menor. Para combater esta situação, foram necessárias medidas de incentivo à substituição de equipamentos antigos que passaram por comparticipações nos preços finais das lâmpadas mais eficientes e taxas para os equipamentos menos eficientes e também medidas de sensibilização dos consumidores, alertando-os para os benefícios a longo prazo das lâmpadas novas.

Considerando a urgência que existia em reduzir os consumos de energia nos países da união europeia, o Parlamento Europeu criou em 2006 a Diretiva n.º 2006/32/CE que estabelecia os principais objetivos de cada estado membro, objetivo esse que Portugal transpôs para Lei através do Decreto-Lei nº 319/2009 de 2009. O objetivo traçado pela União era o de cada estado membro diminuir o seu consumo de energia em 9% até 2016, relativamente aos consumos registados entre 2001 e 2005 e de obter melhor eficiência na utilização final de energia primária através da troca de equipamentos e de medidas de racionalização.

Apesar de a maioria das preocupações que foram referidas na Diretiva já estarem a ser atendidas desde 2005 através da Estratégia Nacional para a Energia pela Resolução de Conselho de Ministros nº 169/2005, foi necessário criar o PNAEE (Plano Nacional de

Ação para a Eficiência Energética) pela Resolução do Conselho de Ministros nº 80/2008, de 20 de Maio. Este programa encontrava-se assente em quatro pilares de intervenção que tinham como objetivo tornar o parque de equipamentos domésticos mais eficiente. No caso da iluminação, o que o PNAEE trouxe foi um desincentivo à aquisição de equipamentos significativamente menos eficientes que os melhores disponíveis através e taxas extra sobre estes equipamentos. Na área do estado, a Resolução do Conselho de Ministros nº 80/2008 previu a “substituição de 22,6 milhões de lâmpadas incandescentes por CFL”, com uma poupança energética prevista em 75 ktep o que se traduz em aproximadamente 872Mwh.

A 10 de abril de 2013, a Resolução do Conselho de Ministros nº 20/2013 aprovou e publicou o PNAEE para o período de 2013-2016, revogando o anterior PNAEE cujo último ano de aplicação seria 2015. Este documento serviu para introduzir na legislação Nacional os objetivos definidos na Diretiva 2012/27/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de outubro de 2012 que previa uma meta geral de redução de 25% e da meta para o Estado de redução em 30% do consumo de energia primária até 2020 (juntamente com o PNAER 2020). O PNAEE 2016, em articulação com o PNAER 2020, passou a abranger seis áreas específicas (Transportes, Residencial, Serviços e Indústria, Estado, Comportamentos e Agricultura). A iluminação está presente em grande escala em quatro destas seis áreas específicas, nomeadamente nas áreas Residencial, Serviços, Estado e Comportamentos.

Nas áreas Residencial e de Serviços, o programa *Renove Casa e Escritório* prevê um conjunto de medidas pensadas de forma a aumentar a eficiência energética na iluminação e eletrodomésticos. Na área do Estado, o programa *Eficiência energética no Estado* contempla medidas dirigidas à certificação energética dos edifícios do Estado e também à iluminação pública.

Em termos de resultados, os últimos disponíveis remontam a 2010 e mostram um impacto bastante significativo nas economias de energia. O programa renove casa e escritório proporcionou a troca de cerca de 15 milhões de lâmpadas incandescentes por CFL, o que se traduziu numa poupança de cerca de 15,3ktep. A troca das lâmpadas foi a ação que

maior efeito produziu dentro deste programa, como podemos verificar na figura 22.

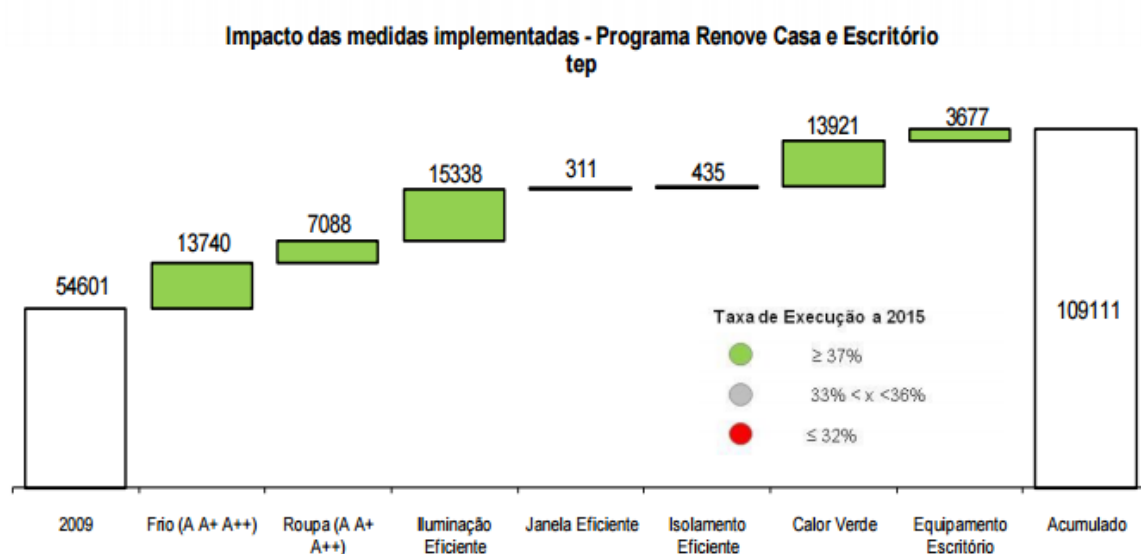


Figura 22 PNAEE - Resultados 2010

A iluminação é uma das maiores prioridades do programa e tem vindo a ser um sucesso, tendo sido possível multiplicar por cinco a taxa anual de penetração das CFL no mercado, ultrapassando, em 2010, a meta que estava prevista em 8 pontos percentuais. As lâmpadas eficientes refletiam em 2010, 43% de toda a iluminação no parque.

Contrariamente ao que se passou no setor residencial e de serviços, no setor do Estado os resultados foram menos encorajadores tendo a troca das lâmpadas de iluminação pública antigas, das luminárias com mais de 10 anos e a introdução de LEDs em alguns semáforos apenas significado uma poupança aproximada de apenas 1,3ktep, como podemos ver na figura 23.

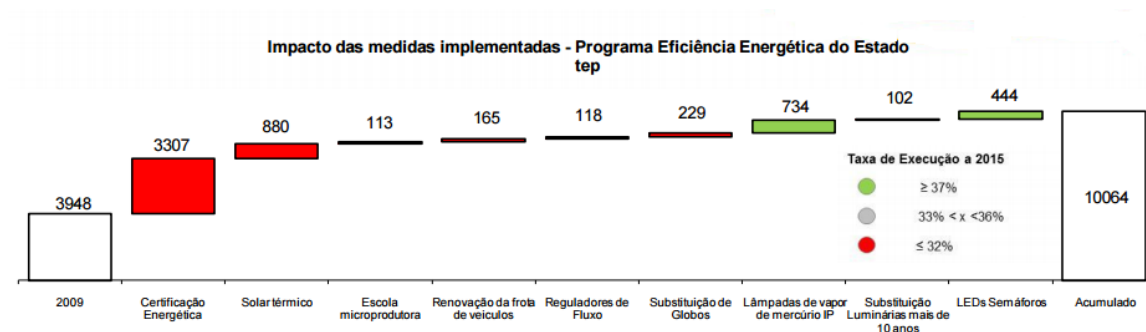


Figura 23 PNAEE - Resultados 2010

De salientar a iniciativa inserida no PNAEE 2016 “Energia nas Escolas” na qual é fornecida informação aos jovens em idade escolar, na forma de campanhas na comunidade escolar, atividades desportivas em parceria com instituições e empresas de referência na área da energia, e prémios para as melhores campanhas de sensibilização para a temática da eficiência energética (RCM n.º20/2013). Esta iniciativa é extremamente importante uma vez que o *gap* de informação existente na população decisora é um dos maiores obstáculos à penetração da tecnologia LED.

Capítulo 7

7 - Conclusão

A tecnologia LED é ainda relativamente jovem, estando longe de atingir o seu ponto de maturidade. Apesar disso, os seus resultados no campo da eficiência energética e das externalidades fazem dela a melhor tecnologia disponível no mercado da iluminação, quando comparada com as suas alternativas.

Apesar do seu preço de custo elevado, os LED estão a disfrutar de uma boa penetração de mercado devido às economias proporcionadas aos seus utilizadores e às inúmeras atualizações de que dispõe. Seguindo a tendência atual, é expectável que, até 2020, 70% de toda a iluminação nas zonas industrializadas seja proveniente de LED.

Com a instalação integrada de sistemas inteligentes de controlo de luz, passa a ser possível controlar remotamente as áreas instaladas, fazendo com que seja possível ao utilizador um controlo ótimo da sua luz, quer em termos de localização, quer em termos de intensidade.

Com a previsão da rápida descida do preço de custo das lâmpadas e luminárias LED, prevê-se que esta tecnologia se torne cada vez mais acessível, fazendo com que seja uma alternativa no que à iluminação residencial diz respeito.

Ambientalmente, os benefícios do LED são grandemente visíveis, reduzindo em mais de 75% todos os impactos existentes à utilização da alternativa incandescente e em sensivelmente 50% os impactos para a alternativa CFL.

Conclui-se então que a tecnologia LED tem grande margem de crescimento e que será importante no combate às alterações climáticas e ao desperdício energético, permitindo poupanças aos seus utilizadores.

Referências Bibliográficas

- Agência para a Energia em www.adene.pt/politica-energetica acedido em 14/09/15
- Azevedo, I. M. L. *et al.* (2011) “Residential and Regional Electricity Consumption in the U.S. and EU: How Much Will Higher Prices Reduce CO₂ Emissions?”, *The Electricity Journal*, Vol.24, Issue 1, pp. 21-29
- Clean Development Mechanism em cdm.unfccc.int/Statistics/Public/CDMinsights/index.html ; acedido em 16/09/15
- Comissão Europeia (2009) “Memorando 09/369”, http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-09-368_en.htm acedido em 01/09/15
- Consortium for Energy Efficiency (CEE), (2014), “Residential Lighting Controls Market Characterization”
- Decreto-Lei 319/2009 disponível em <https://dre.pt/application/dir/pdf1s/2009/11/21300/0832008329.pdf>
- Direção Geral da Energia e Geologia em www.dgeg.pt/ acedido em 01/09/15
- Diretiva 2006/32/CE DO PARLAMENTO EUROPEU e do Conselho disponível em <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0032&from=PT>
- Diretiva 2012/27/EU disponível em <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:PT:PDF>
- DoE (2012) “Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products Part 2: LED Manufacturing and Performance”
- DoE (2013) “Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products Part 3: LED Environmental Testing”
- Environment Protection Agency em www.epa.gov/cleanenergy/energy-resources/calculator.html acedido em 01/09/15

- IEEE (2010) “Smart Lighting Using LED Luminaries” Pervasive Computing and Communications Workshops 8th IEEE Conference
- IPCC (2014) “Climate Change Report Summary For Policymakers” disponível em http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf
- Marteleto, D. C. (2011) “Avaliação do Díodo Emissor de Luz (LED) Para Iluminação de Interiores” *Universidade Federal do Rio de Janeiro (Tese)* disponível em <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10003763.pdf>
- McKinsey&Company (2012) “Lighting the Way: Perspectives on the global lighting market” – Second Edition
- Morrow, C. R. (2008) “LED Lighting in Horticulture“, *HortScience*, Vol. 43, pp. 1947-1950.
- Pilli-Sihvola, K. *et al.* (2010) “Climate Change and Electricity Consumption – Witnessing increasing or decreasing use and costs?”, *Energy Policy*, Vol. 38, pp. 2409-2419
- PNAEE - PLANO NACIONAL DE ACÇÃO PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA RESULTADOS 2010 disponível em http://www2.adene.pt/pt-pt/PNAEE/Documents/PNAEEResultados2010_pt.pdf
- Projeto CDM 8138 disponível em <http://cdm.unfccc.int/filestorage/3/h/SY56JQCD0GUH9MXIEPBN3V2R7TKW4F.pdf/8138%20PDD.pdf?t=cW58bnV2bHpzfDBTIgZXgc6i4yRtvsAvspNm>
- Resolução de Conselho de Ministros n.º 20/2013 disponível em <https://dre.pt/application/file/260476>
- Resolução de Conselho de Ministros n.º 80/2008 disponível em <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2008/05/09700/0282402865.pdf>
- Ribeiro, T. S. A. P. (2010) “Luminotecnia – Métodos de avaliação ” *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (tese)* disponível em <http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/60349>
- Schubert E. F. (2006) *Light-Emitting Diodes*, Cambridge University Press

- Whelan, M. (2013) “LEDs and OLEDs”,
<http://www.edisontechcenter.org/LED.html> acedido em 16/04/15
- www.eartheasy.com/live_led_bulbs_comparison.html acedido em 30/06/15
- www.eletrhoo.paros.uni5.net/artigos/conteudo.asp?faq=2&fldAuto=144
acedido em 14/04/15
- www.firstenled.com/product/LED+SMD.html acedido em 14/04/15
- www.lednews.org/wp-content/uploads/2013/08/COB-LED.jpg acedido em 16/04/15
- www.led-professional.com/technology/standardization/eeepca-lightingeurope-announce-enec-the-first-european-mark-that-certifies-the-initial-performance-of-leds-and-other-luminaires acedido em 01/09/15
- www.ledsmagazine.com/articles/2005/01/benefits-and-drawbacks-of-leds.html acedido em 14/04/15
- www.ledsmagazine.com/articles/2005/01/led-medical-treatments-approved-by-fda.html acedido em 21/04/15
- www.lightingmarket.co.uk/knowledge/smd-led-benefits/ acedido em 14/04/15
- www.lumex.com/en/tech-notes/article/led_color_guide/ acedido em 13/04/15
- www.mayoclinic.org/diseases-conditions/seasonal-affective-disorder/in-depth/seasonal-affective-disorder-treatment/art-20048298
- www.mewgled.com/wp-content/uploads/2015/01/0513pmdl_iwatt01.jpg
acedido em 05/04/15
- www.museudalampada.com/#!o-fogo/c1fhw acedido em 04/03/15
- www.osram.pt ^a http://www.osram.pt/osram_pt/noticias-e-conhecimento/lampadas-de-descarga-de-alta-pressao/conhecimento-profissional/principios-de-funcionamento-da-lampada-de-descarga-de-alta-pressao/index.jsp acedido em 05/04/15
- www.osram.pt ^b http://www.osram.com/osram_com/applications/medical-applications/bilirubin-therapy/index.jsp acedido em 21/04/15
- www.zhagastandard.org (<http://www.zhagastandard.org/about-us/our-members/>) acedido em 01/09/15

- ZHELUDEV, N. (2007), “The Life and Times of the LED – A 100-Year History” Nature Photonics, Vol. 1, pp. 189 –192.