

EFICIÊNCIA DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA - LÂMPADAS VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO V.S. TECNOLOGIA LED

PUBLIC LIGHTING EFFICIENCY - LAMPS STEAM HIGH PRESSURE SODIUM V.S. LED TECHNOLOGY

Eduardo Augusto Diz Salvador¹, António Borges Fernandes² e Nuno Adriano Baptista Ribeiro³

Resumo

O trabalho teve como principal objetivo a análise da comparação dos gastos entre duas variantes para a substituição das luminárias, da iluminação pública em fim de vida, tendo como referência a cidade de Macedo de Cavaleiros. Não se pretende elaborar qualquer comparação com as características técnicas nem com a repartição de benefícios entre autarquias e concessionários das redes de iluminação pública.

Na escolha da melhor opção teve-se por base o critério CAL – Custo Atual Líquido uma vez que apenas foram comparados os gastos com as duas variantes. Pelo critério utilizado verifica-se que a opção mais favorável, em termos económicos, é a tecnologia LED. Dado que foram estimadas duas variáveis, a variação da tarifa e o preço das luminárias, foi elaborada uma análise de sensibilidade a qual indica que a instalação de tecnologia LED torna-se ainda mais favorável com as alterações das variáveis utilizadas na análise de sensibilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto de investimento, custo atual líquido, iluminação pública, análise de sensibilidade

Abstract

The work had as main objective the analysis comparing the costs between two variants for replacing light fixtures, street lighting end of life, with reference to the town of Macedo de Cavaleiros. This is not to prepare any comparison with the technical characteristics nor benefit sharing between local authorities and concessionaires of public lighting networks.

In choosing the best option we had to be based on the criteria NPC – Net Present Cost since only were compared spending on the two variants. At criterion it is found that the most favorable option in economic terms is the LED technology. In the absence of estimated two variables, the variation of the rate and the price of fixtures, a sensitivity analysis has been prepared which indicates that the installation of LED technology becomes even more favorable to the variations of the variables used in the sensitivity analysis.

KEYWORDS: Investment Project, Net Present Cost, public illumination, sensibility analysis

¹ eduardodiz.salvador@gmail.com, EDP.

² antoniof@ipb.pt, Instituto Politécnico de Bragança, UNIAG.

³ nunoa@ipb.pt, Instituto Politécnico de Bragança, UNIAG.

1. INTRODUÇÃO

Desde há algum tempo que a despesa do Estado, e em particular as despesas dos municípios, tem despertado o interesse público. O nível de endividamento de algumas autarquias tem atingido níveis preocupantes. Neste contexto, Ribeiro e Jorge (2011) consideram ser fundamental controlar o endividamento dos municípios, pelo que emerge a necessidade de criação de mecanismos que permitam, aos próprios e aos organismos de controlo, geri-lo e analisá-lo de forma credível.

Parte significativa da despesa energética dos municípios está diretamente ligada à Iluminação Pública (IP), sendo este um dos mais importantes serviços prestados pelos municípios (Ragone and Abreu 2007). Este facto tem motivado, em alguns autarcas, preocupação com a eficiência das suas redes de IP. A nível do poder central, foram criados planos nacionais estratégicos tendo por objetivo atingir certos níveis de redução no consumo de energia elétrica.

A possibilidade de investir em tecnologias alternativas, energeticamente mais eficientes, originou o interesse em estudar a viabilidade de execução de duas variantes alternativas, tendo por objetivo substituir as luminárias em fim de vida que constituem a IP do município. Uma das variantes é manter as lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão VSAP sendo, a outra variante, substituir toda a IP por tecnologia LED (*Light Emitting Diode*). Esta análise não pretende a comparação técnica, entre as diferentes tecnologias disponíveis de IP, nem a avaliação da eficiência das mesmas. Apenas se pretende determinar qual das duas variantes é economicamente mais favorável. Neste sentido formula-se a seguinte pergunta de partida, que é nosso propósito responder ao longo deste trabalho, tomando como referência, para análise, o município de Macedo de Cavaleiros: É economicamente viável substituir a IP existente, do município de Macedo de Cavaleiros, por tecnologia LED?

Para a consecução dos objetivos traçados, este estudo compreende, para além desta parte introdutória, mais quatro Pontos: no Ponto 2 efetua-se uma revisão da literatura, sendo feito o enquadramento teórico do tema. Neste Ponto são apresentadas as políticas e programas de eficiência energética. São ainda expostos alguns conceitos e respetivos dados relevantes sobre a IP em Portugal, mais especificamente no concelho de Macedo de Cavaleiros. No Ponto 3, é apresentada a metodologia de investigação: objetivos e hipóteses de investigação, recolha dos dados, variáveis utilizadas, tratamento e análise dos dados. O Ponto 4 apresenta a análise dos resultados, onde se determina a variante economicamente mais favorável para o município. Por último, no Ponto 5, serão apresentadas as principais conclusões da investigação, com referência a algumas limitações, bem como possíveis linhas de investigação futura.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1. Eficiência dos Municípios na gestão dos recursos

A necessidade da melhoria dos índices de eficiência, eficácia e economia na Administração Pública, tem originado profundas alterações ao nível da gestão dos recursos públicos. Neste âmbito, destaca-se o aparecimento do *New Public Management*, que segundo Gomes, Carvalho, Ribeiro & Nogueira (2007) se caracteriza por uma maior responsabilização e avaliação baseada nos resultados.

Para Hood (1991) o *New Public Management* caracteriza-se, de entre outros aspetos, por uma maior profissionalização da gestão pública; aumento da competitividade entre organizações do setor público; introdução de técnicas de gestão empresarial; ênfase na responsabilidade baseada nos resultados; e pelo aumento da disciplina, da economia e da racionalidade na utilização dos recursos públicos, o que permite fazer mais, consumindo menos (eficiência).

No âmbito do *New Public Management*, a gestão eficiente dos recursos públicos também tem

sido uma prioridade dos Municípios (Lorenzo & Sanchez, 2007). Neste sentido, os responsáveis municipais tentam, com o mínimo de recursos, prestar serviços (educação, urbanismo, transportes, iluminação, etc.) com qualidade aos seus munícipes.

O estudo da eficiência municipal tem, segundo Lorenzo & Sanchez (2007), sido efetuado, tendo por base duas linhas de investigação. A primeira relaciona-se com a análise global dos serviços prestados pelos municípios. A segunda centra-se na análise individualizada dos serviços municipais (fornecimento de água, transportes públicos, planeamento urbanístico, educação, etc.), com o objetivo de detetar pontos fortes e fracos na prestação de serviços.

Por exemplo, Karlaftis (2004) estudou a eficiência dos transportes públicos nos Estados Unidos da América e concluiu que a eficiência e a eficácia apresentam uma relação positiva. Já Settimi, Vidoli, Fusco, & Ballanti (2014) analisaram a eficiência dos serviços dos cartórios municipais e concluíram que alguma ineficiência se relaciona com a dimensão dos municípios.

2.2. Iluminação Pública em Portugal

Uma iluminação de rua eficiente, de boa qualidade, bem dimensionada e bem distribuída é um fator decisivo na melhoria dos índices de segurança pública, de segurança no trânsito e da satisfação do contribuinte (Ragone & Abreu, 2007).

Os últimos dados da Agência para a Energia (ADENE 2011) indicam que o consumo elétrico total, em Portugal, em 2013, foi de 46.272 GWh. Deste consumo, cerca de 3% são da exclusiva responsabilidade da IP, como se verifica na análise da figura 1 correspondendo, em termos absolutos, a 1.469 GWh. Os custos energéticos relacionados com a IP têm um peso elevado no consumo de energia, nalguns casos, representam cerca de 70% das despesas dos municípios com a fatura de energia elétrica. Atualmente estima-se que a IP seja responsável por cerca de 20% a 40% do custo de eletricidade de um município (EDP - Distribuição 2010)

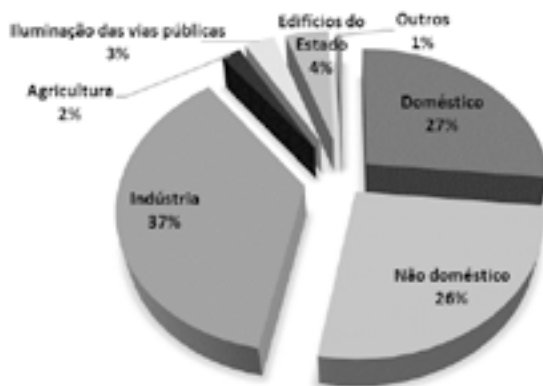


Figura 1. Repartição dos consumos de energia elétrica em 2013 em Portugal.

Fonte: www.pordata.pt – acedido a 22/07/2015.

No distrito de Bragança, o peso relativo dos consumos de IP é ainda maior, quando comparado com o consumo a nível nacional, situando-se em 9% do consumo total, como se verifica na análise à figura 2. Esta situação poderá dever-se a uma má gestão da IP, uma vez que a exposição solar é idêntica em todo o país.



Figura 2. Repartição dos consumos de energia elétrica em 2013 no distrito de Bragança.
Fonte: www.pordata.pt – acedido a 22/07/2015.

A tendência, a nível nacional, até ao ano de 2009, foi de um aumento do consumo de energia elétrica em cerca de 4% a 5% ao ano. A nível distrital este consumo, desde 2009, tem vindo a contrariar a tendência nacional verificada até então, decrescendo entre 2.2% (de 2010 para 2011) e 5.6% (de 2011 para 2012) conforme se ilustra na figura 3.

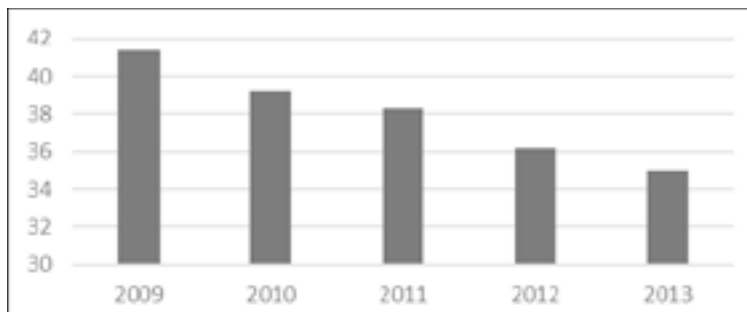


Figura 3. Consumos de IP no distrito de Bragança em GWh
Fonte: www.pordata.pt – acedido a 22/07/2015

Esta redução é devida ao esforço implementado nas medidas de poupança e eficiência energéticas encetadas pelos municípios. Até 31 de dezembro de 2012, os municípios tinham a vantagem de usufruírem de uma tarifa exclusiva destinada à IP, regulamentada pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), bem como a isenção de pagamento da taxa de potência contratada. A partir desta data, a tarifa de IP deixou de ser regulada, acabando mesmo por ser eliminada, passando os municípios a suportar também a taxa de potência contratada. Esta situação originou um aumento da fatura com a IP, levando os municípios a tomar medidas de racionalização de consumos de energia elétrica (ERSE 2011).

De salientar que a eficiência dos sistemas de IP está ligada diretamente à qualidade de vida dos cidadãos, de forma que, ações que promovam a excelência deste sistema resultam em melhoria da qualidade de vida e desenvolvimento socioeconómico do município onde é implantada (Ragone & Abreu, 2007).

O gráfico da figura 4 ilustra a situação referida, retratando a evolução da tarifa de IP de 2006 a 2012 (intervalo para o qual existe informação disponível).

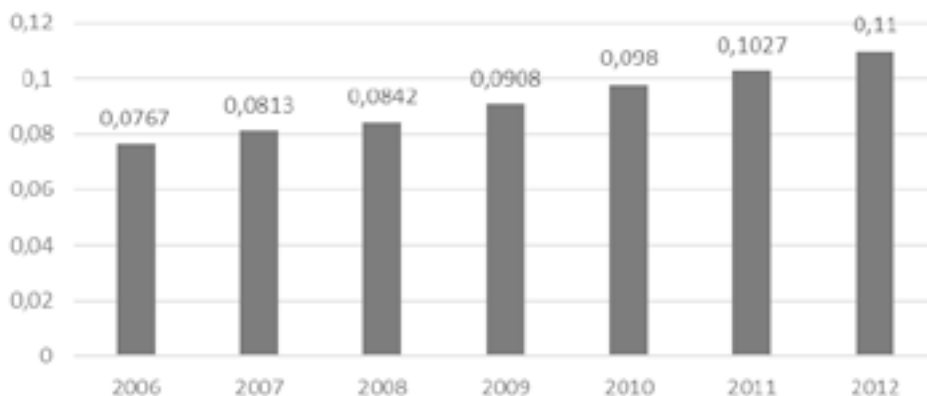


Figura 4. Evolução da tarifa de IP - €/KWh

Fonte: ERSE

A Legislação e regulamentos aplicáveis à IP fixa, atualmente, as condições técnicas e de segurança exigidas. O estabelecimento e exploração das instalações elétricas, está presente no Regulamento de Segurança em Rede de Distribuição de Energia Elétrica. O Decreto-Lei n.º 341/90 faz referência aos Decretos-Lei n.º 297/86 de 19 de setembro, n.º 344-B/82 de 1 de setembro, e n.º 449/88 de 10 de dezembro bem como à Portaria n.º 454/2001 que são fundamentais para uma melhor compreensão da legislação em vigor.

O Decreto-Lei n.º 297/86 de 19 de setembro, veio alargar o âmbito dessas entidades permitindo, aos municípios, outorgarem concessões de distribuição de energia elétrica, em baixa tensão, também a cooperativas. Sendo que, o Decreto-Lei n.º 344-B/82 de 1 de setembro, pelo artigo n.º 1, “estabelece que a distribuição de energia elétrica em baixa tensão, no continente, compete aos municípios. Podendo estes exercê-la, ou por exploração direta ou, mediante regime de concessão à EDP e a empresas públicas de âmbito local ou regional”.

Com a entrada em vigor, do Decreto-Lei 449/88 de 10 de dezembro, o acesso da iniciativa privada às indústrias de refinação de petróleo, petroquímica de base e siderúrgica e ainda a diversas atividades como o serviço de produção e distribuição de gás e energia elétrica para consumo público, deixa de ser a EDP a única entidade distribuidora. Por seu lado, o artigo 3º do Decreto-Lei 341/90 indica que, “os contratos de concessão entre os municípios e as entidades referidas no n.º 3 e n.º 4 do artigo 1º serão celebrados pelo prazo de 20 anos, renováveis por iguais períodos, e a sua denúncia, no termo do prazo ou das suas prorrogações, deverá ser manifestada com uma antecedência mínima de dois anos.”

No que diz respeito à IP, em 2001, com a publicação da portaria n.º 454/2001, pelos n.º 6 e 7 do artigo 28.º do capítulo V, a gestão da IP passa a ser da inteira responsabilidade das Câmaras Municipais, no que respeita a níveis e horários de iluminação e ao tipo e número de aparelhos de iluminação e lâmpadas em serviço.

Por seu lado, o concessionário obriga-se a implementar o sistema de comando de IP que for acordado com as Câmaras, bem como a mantê-lo atualizado e em bom estado de funcionamento garantindo, desta forma, a necessária assistência à rede de IP, salvo se outra solução for acordada. O n.º 1, do artigo 31 do capítulo V da referida portaria, considera ser da competência do concessionário manter em bom estado de conservação as instalações de IP, considerando o n.º 2 que o concessionário suportará inteiramente os encargos de conservação dos aparelhos de IP e dos respetivos suportes, quer constituam, ou não, apoios da rede de distribuição, desde que sejam do tipo corrente.

Desta forma, a gestão de toda a IP é da responsabilidade das Câmaras Municipais, no entanto, cabe à concessionária, que normalmente é a EDP, garantir toda a conservação da IP.

2.2. Tipologia da iluminação pública

Em Portugal não é conhecido o número exato de focos de IP, ou pontos de luz, associado à IP. Uma das causas, para este desconhecimento, deve-se ao facto de, quer as concessionárias, quer os municípios, não terem pleno conhecimento do estado da rede de IP, nem existir um cadastro atualizado com fiabilidade. No entanto, estima-se que sejam mais de 4 milhões em Portugal (Zeller, 2013). No que diz respeito ao distrito de Bragança, a realidade não é diferente da verificada no país.

Atualmente a IP emprega dois tipos de tecnologia de lâmpadas, as lâmpadas de descarga de alta pressão, que requerem a utilização de aparelhagem auxiliar (balastros, condensadores e outros) e a tecnologia LED que requer a utilização de drivers.

Dos vários tipos de lâmpadas disponíveis, para os sistemas de IP, o estudo vai focar-se apenas, nas tecnologias que fazem, ou é espectável que venham a fazer, parte da rede de IP no distrito de Bragança (EDP - Distribuição 2010).

Estas podem-se diferenciar mediante as suas características técnicas e os seus parâmetros de desempenho, tais como:

- Índice de restituição de cor (IRC);
- Temperatura da cor (K);
- Eficiência luminosa (lm/W);
- Potência (W);
- Tempo de vida (h);
- Custo (€);
- Fator de sobrevivência (FSL);
- Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada (LLMF).

De seguida faz-se uma pequena descrição dos tipos de lâmpadas mais utilizadas na IP em Portugal.

Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão

Esta tipologia foi desenvolvida por volta do ano de 1930 e teve um grande sucesso dado que o seu desempenho representou, na altura, um melhoramento substancial face às lâmpadas incandescentes. Esta tipologia atingiu o seu auge na década de 80, sendo, na época, uma das mais importantes e mais utilizadas na IP.

As principais características técnicas, deste tipo de lâmpadas, encontram-se na tabela 1.

Tabela 1. Características das lâmpadas de Vapor de Mercúrio.

Potência	50 - 1000 (W)
Temperatura da cor	3000 - 5000 (K)
IRC	40 - 60
Eficiência	20 - 50 (lm/W)
Tempo de vida útil	16000 Horas

Fonte: (EDP - Distribuição 2010).

Este tipo de lâmpadas caracteriza-se ainda, pelo seu baixo custo. No entanto, com o surgimento das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, a sua utilização foi preterida por dois motivos. Pela sua baixa eficiência luminosa, e pelo facto de na sua composição ser utilizado mercúrio, ambientalmente prejudicial e desaconselhável (EDP – Distribuição, 2010).

Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão

A lâmpada de vapor de sódio de alta pressão caracteriza-se por ter uma excelente eficiência luminosa e durabilidade elevada. Este tipo de lâmpada está disponível numa enorme gama de formatos, extremamente úteis em diversas aplicações na IP.

As suas principais características técnicas são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2. Características das lâmpadas de vapor de sódio alta pressão.

Potência	50 – 1000 (W)
Temperatura da cor	2000 – 3300 (K)
IRC	20 – 40
Eficiência	70 – 140 (lm/W)
Tempo de vida útil	16000 – 32000 Horas

Fonte: (EDP - Distribuição 2010).

As lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão são caracterizadas pela sua tecnologia mais fiável e desenvolvida, não sendo por essa razão, espectáveis grandes melhorias na sua eficiência, para além do seu preço ser mais elevado que o das lâmpadas de mercúrio (EDP - Distribuição, 2010).

Lâmpadas de iodetos metálicos

A lâmpada de iodetos metálicos foi desenvolvida para colmatar o baixo índice de restituição da cor apresentado pelas lâmpadas de vapor de mercúrio e de vapor de sódio. As lâmpadas de iodetos metálicos permitem uma melhor visualização da verdadeira cor do objeto. Estas lâmpadas apresentam um grande número de aplicações, nomeadamente, em centros históricos, monumentos, estádios de futebol e em algumas zonas residenciais.

Na tabela 3 são apresentadas as principais características técnicas das referidas lâmpadas.

Tabela 3. Características das lâmpadas de iodetos metálicos.

Potência	35 - 3500 (W)
Temperatura da cor	3300 - 5500 (K)
IRC	80 - 90
Eficiência	65 - 110 (lm/W)
Tempo de vida útil	12000 - 16000 Horas

Fonte: (EDP - Distribuição 2010).

Estas lâmpadas têm a desvantagem do seu preço ser elevado e a depreciação luminosa ser elevada ao longo do seu tempo de vida útil. Estes pontos mais negativos levam a que a sua utilização não seja massificada, sendo instaladas, pontualmente, em detrimento das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (EDP - Distribuição 2010).

Tecnologia LED

O desenvolvimento de novas tecnologias de fabrico e o aparecimento de novos materiais, levam a que os LED venham a ser produzidos com custos cada vez menores, diversificando o seu uso numa gama cada vez maior de aplicações. Tiveram início no mercado de iluminação de interiores, substituindo cada vez mais as lâmpadas incandescentes, todavia o seu uso no domínio da IP está a dar os primeiros passos.

As principais características técnicas encontram-se apresentadas na tabela 4.

Tabela 4. Características típicas dos LED.

Potência	1 - 8 (W)
Temperatura da cor	2700 - 10000 (K)
IRC	65 - 85
Eficiência	50 - 130 (lm/W)
Tempo de vida útil	30000 - 100000 Horas

Fonte: (EDP - Distribuição 2010).

A tecnologia LED apresenta como principais vantagens um menor envelhecimento precoce, uma elevada eficiência (mais de 90% da energia consumida é transformada em luz), não emite raios ultra violeta (logo não atraem insetos), comparada com as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão emitem uma luz mais uniforme. O seu tempo de vida médio é bastante elevado. Quando associadas a reguladores de fluxos, não modificam a tonalidade da cor da luz emitida e a regulação do fluxo luminoso pode ir dos 100% até perto de 0% (Teixeira, 2006).

Esta tecnologia não é isenta de pontos menos positivos, e como desvantagens à tecnologia LED são apontados distúrbios na rede, levando à necessidade de implementar sistemas de proteção. É uma tecnologia recente por essa razão o custo de implementação é ainda elevado. Tudo leva a crer que, com o passar do tempo, a luminosidade degradar-se-á de forma acentuada (EDP - Distribuição 2010).

Luminárias

Pode definir-se luminária como o conjunto ótico, elétrico e mecânico com a função de distribuir a luz emitida pela lâmpada.

O sistema ótico de uma luminária é constituído por um refletor, um difusor, um refrator e, no caso de possuir tecnologia LED, por uma ótica primária e outra secundária. Devem possuir suporte para lâmpadas e para o equipamento auxiliar (e.g. balastros), para além do corpo ou carcaça.

Algumas luminárias podem considerar-se peças decorativas e de design, mas devem assegurar o conforto visual com a máxima eficiência, evitar o encadeamento, satisfazer especificações elétricas e mecânicas que garantam segurança, proteger os dispositivos elétricos e óticos de possíveis agressões atmosféricas e promover a dissipação do calor gerado pela lâmpada e equipamentos auxiliares (EDP - Distribuição 2010).

2.3. Eficiência energética na rede de iluminação pública

A gestão dos sistemas de IP é, por vezes, bastante complexa. Uma gestão integrada das redes de IP, que visa a minimização de gastos de manutenção (para a concessionária) e de consumo, está diretamente relacionada a várias questões. Dentre elas, destacam-se: a escolha e aquisição de produtos, a qualidade dos componentes, a capacitação técnica dos eletricitistas que realizam as intervenções na rede e os procedimentos de manutenção adotados pela empresa concessionária (Ragone & Abreu, 2007).

Atualmente, a maioria dos municípios e entidades gestoras não tem noção exata da quantidade de focos de IP instalados, nem da potência que lhes está associada. O cadastro da rede de IP deve ser encarado como uma forma, dos municípios poderem gerir os ativos instalados. É fundamental que as entidades gestoras implementem práticas que permitam a atualização permanente do cadastro da rede de IP, de outra forma, mesmo existindo cadastro, ele perde todas as suas potencialidades como ferramenta de gestão.

Nesse sentido, o Centro Português de Iluminação (CPI) elaborou o “Manual de Boas Práticas para o Cadastro de IP”, com o intuito de despertar, nas entidades competentes, a necessidade de ter a rede de IP cadastrada com o mínimo de rigor e uniformização (Zeller, 2013).

Nos municípios surgiu a necessidade de desenvolver planos de poupança energéticos que tivessem resultados imediatos. Essas medidas, consistiram principalmente em, desligar os focos de IP, efetuar a substituição de interruptores crepusculares por interruptores astronómicos (pois este permitem regular a desligação mesmo antes do amanhecer e a ligação depois do crepúsculo, podendo poupar entre 30 a 45 minutos por dia) ou, até desligar totalmente a IP em meios rurais ou pouco frequentados durante a noite.

No entanto, estas medidas de poupança não se enquadram na definição de eficiência energética, podendo até por em causa a própria segurança, uma vez que podem criar sombras perigosas para os utilizadores, retirando a qualidade de vida dos cidadãos.

2.4. Políticas de eficiência energética

Foi estabelecido para Portugal, no quadro das metas europeias “20-20-20”, um objetivo geral de redução do consumo de energia primária de 25% e um objetivo específico para a administração pública, sector onde se encontra enquadrada a IP, de uma redução de 30% (ERSE 2011).

A Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020), aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, publicada no Diário da República 1.ª série n.º 73 de 15 de Abril, define as linhas estratégicas para o setor da energia, o qual assenta em cinco eixos e com especial enfoque na competitividade, crescimento e independência energética de Portugal. Por seu lado, o eixo 3, relativo à eficiência energética, tem por objetivo uma redução de 20% do consumo final de energia em 2020, contemplando ainda outras medidas nomeadamente a otimização dos modelos de IP.

No sentido de alcançar estes objetivos, no ano 2008, foi desenvolvido e publicado o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética – PNAEE.

Portugal desde 2008 que manifesta interesse na otimização do consumo de energia. Com a Resolução de Conselho de Ministros n.º 80/2008, publicada no Diário da República 1.ª série n.º 97 de 20 de Maio de 2008, o governo regulamentou o PNAEE 2008 para o período 2008-2015 o qual pretende, através da intervenção nas áreas dos transportes, residencial, serviços, indústria e estado, atingir como meta uma redução de 10% no consumo de energia total em 2015. Este plano identifica o setor Estado como área de intervenção para o qual foi desenvolvido o programa de Eficiência Energética. Este programa contém um conjunto de medidas que, entre outras, englobam a IP. As seis medidas, para alcançar os objetivos de eficiência energética na IP, são:

- Instalação de reguladores de fluxo como garante da melhoria de eficiência energética na IP;
- Substituição de globos por equipamento com melhor capacidade de reflexão e necessidade de lâmpadas de menor potência;
- Cumprimento de requisitos mínimos de eficiência energética para novas instalações;
- Phase out de lâmpadas de vapor de mercúrio na IP;
- Substituição de luminária e balastro eletrónico em instalações com mais de 10 anos;
- Sistemas de Controlo de Tráfego. Substituição das fontes luminosas nos sistemas de controlo de tráfego e peões (tecnologia LED).

Este plano, devido a alterações políticas, teve necessidade de ser revisto, dando origem ao PNAEE 2016 criado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, publicada no Diário da República 1.ª série n.º 70 de 10 de abril, 2013. Desta forma, PNAEE 2016 surgiu,

com a necessidade de rever o PNAEE 2008, com as alterações político-económicas do país nos últimos anos acrescido de novas ações e metas. De forma resumida, no que à IP diz respeito, estas medidas incluem:

- Eliminação de lâmpadas de vapor de mercúrio até final de 2015.
- Substituir balastros ferromagnéticos por balastros eletrónicos em instalações com mais de 10 anos;
- Substituição de luminárias por outras mais eficientes;
- Instalação de reguladores de fluxo.

2.5. Soluções de fomento da eficiência energética

Neste estudo pretendem-se equacionar três soluções, embora haja outras em fase de desenvolvimento, algumas já em fase de teste e outras até já devidamente implementadas, tais como, os sistemas de telegestão⁴ e os sistemas stand-alone⁵.

Tecnologia LED

Para além das vantagens desta tecnologia, descrita no capítulo 2.2, a tecnologia LED permite que, ao substituir uma luminária com lâmpadas de vapor de sódio de características idênticas, se garanta um benefício decorrente do aumento da eficiência energética. Permite ainda, através da instalação de um regulador de fluxo, a regulação da sua intensidade praticamente dos 0% aos 100%. Esta tecnologia é pouco sensível a apagamentos e acendimentos constantes, não se alterando consideravelmente o seu tempo de vida útil.

Ao contrário da tecnologia das lâmpadas de vapor de sódio, que tem um custo de manutenção no final da sua vida útil, que representa cerca de 50%, a tecnologia LED tem um custo de instalação superior. Em contrapartida, os custos de manutenção e energia são mais reduzidos, devido à sua maior eficiência (Müllner & Riener, 2011).

Painéis solares na iluminação pública

De uma forma simples, este sistema é composto por um painel fotovoltaico ligado a uma bateria. A bateria seria carregada através do painel fotovoltaico durante o dia, para durante o período noturno usar essa energia na iluminação (Costa *et al.* 2009).

Esta tecnologia apresenta como principais vantagens:

- Ótima solução para zonas remotas, desprovidas de rede elétrica ou onde a sua implementação seja dispendiosa;
- Não é poluente;
- Custos reduzidos de operação, por ser independente e estar associado à tecnologia LED;
- Estão associados à tecnologia LED.

Estão, no entanto, subjacentes desvantagens, entra as quais:

- A poluição ou neve pode provocar uma redução da produção solar;
- Equipamentos caros, logo suscetíveis de roubo e custo de implementação superiores aos convencionais;
- Dificil implementação em países com poucas horas de sol;

⁴ Permite às suas luminárias o controlo automático por sensores de movimento, permite configurar o estado de todos os parâmetros da luminária, bem como as temporizações das variações do fluxo luminoso e estabelecer comunidades de luminárias por zonas.

⁵ Cada luminária comporta-se de forma independente graças à sua própria unidade de controlo.

- Custo de manutenção pode inflacionar, devido à necessidade de substituição de baterias que representam entre 40% a 50% do custo do sistema;
- Maturidade dos painéis fotovoltaicos.

Reguladores de fluxo

Os sistemas de regulação de fluxo permitem a regulação da intensidade luminosa em períodos de menor atividade. Este sistema permite diminuir o nível de luminância, sem limitar a abrangência dos dispositivos luminosos, em período noturnos de menor tráfego.

Praticamente, todas as lâmpadas de descarga utilizadas na IP, podem ser reguladas, sem interferências nas suas características. No entanto, consoante o tipo de lâmpada, cuja tensão de alimentação é regulada, a poupança alcançada irá ser diferente. Este sistema permite, sem recorrer à desligação de focos de iluminação, poupança energética entre 25% a 50%.

Existem diversos sistemas de regulação de fluxo. O mais utilizado é o chamado regulador de fluxo à cabeceira (junto ao posto de transformação) o qual trabalha com o controlo da tensão (redução da tensão).

O regulador de fluxo apresenta algumas vantagens, tais como:

- Poupança de energia;
- Nível de iluminação otimizado;
- Custos de manutenção reduzidos;
- Maior tempo de vida da lâmpada.

A utilização de reguladores de fluxos à cabeceira pode apresentar inconvenientes, dos quais se destacam. O facto de, quando utilizados em postos de transformação com menos de 50 luminárias, a sua utilização torna-se economicamente pouco atrativa e quando utilizados em redes de iluminação extensas podem causar problemas de ordem técnica. Em termos mais técnicos, se a regulação for feita à cabeceira e não ponto a ponto, a diferença de potencial no início e no final da linha poderá ser consideravelmente diferente. Ou seja, as lâmpadas que realmente tiverem a tensão mínima admissível aos seus terminais permanecerão ligadas, ao passo que as restantes apagar-se-ão. Em caso de falha na rede, algumas lâmpadas poderão não ter um valor de tensão de ignição suficiente que lhes permita reacender-se.

Em termos de manutenção, o aumento do tempo de vida das lâmpadas proporcionado pelos reguladores de fluxo vai, contrapor-se com o custo de manutenção deste, por serem aparelhos eletrónicos, com um custo de manutenção elevado (EDP - Distribuição 2010).

3. METODOLOGIA

3.1. Caraterização da cidade de Macedo de Cavaleiros

O modelo que se pretende ilustrar, neste estudo, limita-se à área geográfica da cidade de Macedo de Cavaleiros, situada no distrito de Bragança, na sub-região do Alto Trás-os-Montes. Macedo de Cavaleiro é sede de um município com 699,14 Km² e cerca de 15.776 habitantes, dos quais 6.257 residente na sede de concelho (INE, 2014).

Segundo o município, com base em dados ainda provisórios, a tecnologia instalada conta maioritariamente com lâmpadas VSAP. A tecnologia LED, sendo considerada uma tecnologia imergente, não tem ainda uma grande expressão, representa apenas 3,44% do total de lâmpadas instaladas na cidade.

Tendo em conta os dados fornecidos, relativos ao n.º de lâmpadas de VSAP instaladas na cidade de Macedo de Cavaleiros, foi calculado um valor aproximado do consumo anual de eletricidade que o município suporta com a IP.

Tabela 5. Consumo IP em Macedo de Cavaleiros.

Tecnologia LED							
Potência (W)		Média horas func./dia	Tarifa IP	Dias	Custo anual lâmpada	Nº lâmpadas	Custo total anual
Lâmpadas	Acessórios						
43		12,00	0,11 €	365	20,72 €	33	683,67 €
64		12,00			30,84 €	52	1.603,43 €
						Subtotal	2.287,10 €
Tecnologia Vapor de Sódio de Alta Pressão							
Potência (W)		Média horas func./dia	Tarifa IP	Dias	Custo anual lâmpada	Nº lâmpadas	Custo total anual
Lâmpadas	Acessórios						
70	9	12,00	0,11 €	365	38,06 €	433	16.480,93 €
100	12	12,00			53,96 €	78	4.209,00 €
150	17	12,00			80,46 €	1537	123.667,94 €
250	20	12,00			130,09 €	342	44.489,41 €
							0,00 €
						Subtotal	188.847,29 €
						TOTAL	191.134,40 €

A tabela 5 apresenta os valores estimados dos consumos tendo em conta a potência unitária do sistema que inclui lâmpada e equipamentos auxiliares (ADENE 2011).

3.2. Abordagem da investigação

O trabalho segue uma abordagem de investigação quantitativa. Tal como consideram os autores (Amaratunga, Baldry, Sarshar & Newton, 2002) o investigador assume a sua independência perante a realidade, contempla a formulação e verificação das hipóteses, usando normalmente ferramentas de índole quantitativa, socorrendo-se da adoção dos métodos das ciências exatas às ciências sociais, de maneira a encontrar e deduzir uma relação de causalidade.

Dado que existe uma realidade objetiva do fenómeno em estudo, o trabalho segue a posição ontológica realista, sendo interpretado, pelo investigador, de forma objetiva. Relativamente à posição epistemológica, e de acordo com a taxonomia desenvolvida por Chua (1986), o trabalho segue uma posição positivista.

3.3. Objetivos e hipótese de investigação

Com o orçamento municipal cada vez mais reduzido, assim como os novos desafios da eficiência energética, faz com que os municípios tenham uma preocupação crescente com a IP. Com o aproximar do final de vida da IP surge a dúvida se a mesma deve ser substituída pela mesma tecnologia, lâmpadas de VSAP ou se toda a iluminação deve ser substituída por tecnologia LED.

Deste modo, no ponto 4, serão analisados os gastos com estas duas variantes no município de Macedo de Cavaleiros.

O objetivo anteriormente definido levanta a questão de investigação, indicada no Ponto 1 deste trabalho, sendo nosso propósito responder à mesma, ao longo deste trabalho. Adicionalmente foi formulada uma hipótese de investigação, tendo como suporte a revisão da literatura efetuada.

Desta forma, para se responder à pergunta de investigação, formulou-se a seguinte hipótese geral de trabalho:

H1: É viável a substituição das iluminárias públicas por tecnologia LED.

Para dar resposta a esta questão, foram considerados dois cenários, nos quais se pretende avaliar a melhor opção para a substituição de luminárias de vapor de sódio de alta pressão em fim de vida, existentes na rede de IP. Num primeiro caso, será considerada a substituição por uma nova luminária de VSAP, enquanto no segundo caso, será considerada a sua substituição por uma luminária LED com características funcionais equivalentes.

Contudo, existem sistemas de IP inteligentes que permitem modos de gestão mais eficientes, com poupanças de energia acrescidas, entre os quais se destacam os sistemas de telegestão. Estes sistemas não serão tidos em conta neste estudo. O principal motivo da não inclusão prende-se com o facto de ser fulcral o uso de tecnologia LED (sem grande expressão atualmente) para maximizar o potencial destes sistemas e assim obter maiores ganhos económicos. Seria essencial fazer um primeiro investimento na tecnologia LED, para posteriormente se poder tirar o máximo partido deste tipo de redes inteligentes e assim obter maiores proveitos económicos. Pelos mesmos motivos, o uso de reguladores de fluxo, bem como, o uso de painéis solares na IP, também não serão tidos em conta no presente trabalho.

Os custos de funcionamento da IP não são exclusivos de uma autarquia, por esse motivo, são considerados os custos assim como os benefícios das diferentes partes, autarquia e concessionária. Com a pretensão de separar a determinação do valor do projeto, da forma como esse valor seria repartido pelas partes interessadas, as reduções de consumo de energia são consideradas como ganhos e valorizadas à tarifa de IP.

3.4. Recolha de variáveis de investigação

No município de Macedo de Cavaleiros, como na maioria dos municípios, não existe o cadastro de rede IP. A preocupação crescente na obtenção de uma gestão mais eficiente, destes ativos, por parte das autarquias e das concessionárias, levou a que fosse iniciado um processo de cadastro da rede de IP. Os dados fornecidos pela autarquia, são dados provisórios e ainda não consolidados, mas traduzem valores muito próximos da realidade existente, os quais servirão de base para a realização deste estudo. A tabela 6 ilustra a distribuição das lâmpadas por tipo e potência na cidade de Macedo de Cavaleiros.

Tabela 6. Distribuição de lâmpadas por tipo e por potência.

Tipo	Vapor Sódio				LED		Total
Potência	70	100	150	250	43	64	
Quant.	433	78	1537	342	33	52	2475

O valor da tarifa de IP, utilizado neste estudo, será o valor de referência para o ano 2012 que é de 0,11€/Kwh. Os custos com a substituição das luminárias, em fim de vida, não serão

tidos em consideração, já que a substituição de luminária ocorrerá, qualquer que seja a tecnologia a instalar (VSAP ou LED).

De acordo com as características das lâmpadas enunciadas na revisão de literatura, a vida útil média das lâmpadas, foi estimada tendo em conta as horas de funcionamento da IP, cerca de 12 horas diárias. Este período de vida útil, no caso das lâmpadas VSAP, é de aproximadamente 5 anos, correspondendo a um valor médio de cerca de 24.000 horas.

No caso da tecnologia LED, o valor considerado por aproximação, será cerca de 15 anos, o que corresponde a uma média de 65.000 horas. A tabela 7 apresenta, o custo relativo às luminárias e respetivas lâmpadas VSAP. Estes preços são meramente indicativos e foram fornecidos pela autarquia de Macedo de Cavaleiros. Estas luminárias estão classificadas como sendo do tipo corrente e são fornecidas, neste caso, pela EDP.

Tabela 7. Preço das luminárias VSAP.

Potência (W)	70	100	150	250
Luminária	35 €	41 €	54 €	73 €
Lâmpada	2,90 €	3,40 €	3,40 €	4,20 €

As luminárias com tecnologia LED, consideradas neste estudo, são fabricadas pela Arquiled, modelo Arquicity R1, cujos preços foram também fornecidos pela autarquia de Macedo de Cavaleiros. Estes preços servem apenas de referência para este estudo, não são preços vinculativos, podendo sofrer alterações conforme as quantidades adquiridas ou o enquadramento de um eventual concurso público.

Tabela 8. Equivalência entre luminárias VSAP e LED e preço das Luminárias LED.

Potência VSAP (W)	70	100	150	250
Equivalência LED (W)	31	47	72	128
Preço luminária LED	120,80 €	132,80 €	168,00 €	230,00 €

A tabela 8 apresenta as luminárias funcionalmente equivalentes das duas tecnologias utilizadas neste estudo, bem como o preço das luminárias LED.

3.5. Tratamento de dados

A análise das duas variantes tem em linha de conta apenas a comparação dos gastos, ao longo dos anos, uma vez que não se verificam receitas. Desta forma, a comparação das duas variantes é feita por intermédio do CAL – Custo Atual Líquido (Maurer, 2009).

O horizonte temporal, de previsão, para a tecnologia LED é elevado, 15 anos, como se verificou no ponto anterior do trabalho. Como a tecnologia das lâmpadas de VSAP tem uma vida, de apenas, 5 anos foi utilizado o menor múltiplo comum da vida das duas variantes, sendo a análise feita para os 15 anos para as duas variantes (Soares *et al.* 2015).

A previsão das necessidades, para um período de tempo tão longo, é muito complicado e propensa a grandes incertezas sendo desenvolvido uma análise de sensibilidade para se poder avaliar a exposição das variantes à incerteza (Ponciano *et al.* 2004; Soares *et al.* 2015). Considerando ainda a longevidade da tecnologia LED, neste estudo, é usado o sistema de preços constantes. Embora este sistema de preços possa sobreavaliar o VAL, esta opção elimina o risco associado à previsão de uma taxa de inflação (Castro, 2003).

Por norma, a escolha da melhor alternativa de investimento seria aquela que apresentasse

maior VAL. Tratando-se do CAL, a escolha da melhor alternativa de investimento será aquela que, a priori, apresente um CAL menor (Almeida, 2006). Não são tidas em conta as depreciações, contempladas na portaria 671/2000 de 17 de Abril, publicada no Diário da República 2.^a série n.º 91 de 17 de abril de 2000, consideradas para a inventariação de imóveis do Estado, pelo facto das autarquias não serem tributadas em sede de IRC.

Verifica-se, neste tipo de análise, que as entradas e saídas de dinheiro se escalonam no tempo, segundo as mais variadas sequências. Para se ultrapassar esta dificuldade utiliza-se a taxa de atualização (Castro, 2003), sendo no presente trabalho os gastos atualizados, ao longo dos 15 anos, a uma taxa de atualização de 1%.

4. RESULTADOS

4.1. Tecnologia VSAP vs. LED

Com base na tecnologia atualmente instalada, e nos dados disponibilizados pelo município, foi estimado o consumo anual de IP para a cidade de Macedo de Cavaleiros, apresentado na tabela 5.

A manter-se a tecnologia existente lâmpadas de VSAP, no final da sua vida útil, a mesma requer a realização de um investimento, em luminárias e lâmpadas, discriminado na tabela 9, para continuar a fazer parte da IP do município.

Tabela 9. Investimento em luminárias com tecnologia VSAP.

Investimento				
Potência	Luminárias	Lâmpada	Nº lâmpadas	Total
70	35,00 €	2,90 €	433	16.410,70 €
100	41,00 €	3,40 €	78	3.463,20 €
150	54,00 €	3,40 €	1537	88.223,80 €
250	73,00 €	4,20 €	342	26.402,40 €
			Total	134.500,10 €

Para além do investimento indicado na tabela 9, a tecnologia VSAP requer a substituição das lâmpadas, em média, de 5 em 5 anos. Na tabela 10 são apresentados os custos com a substituição das referidas lâmpadas discriminado por potência e número de unidades instaladas.

Tabela 10. Custos substituição lâmpadas VSAP.

Custos substituição lâmpadas				
Potência	Custo unit.	Nº lâmpadas	Custo subst.	Total
70	2,90 €	433	2,00 €	2.121,70 €
100	3,40 €	78		421,20 €
150	3,40 €	1537		8.299,80 €
250	4,20 €	342		2.120,40 €
				0,00 €
			Total	12.963,10 €

Considerando o equipamento, com tecnologia LED foi calculado o consumo de energia, em IP para a cidade de Macedo de Cavaleiros, apresentado na tabela 11. Para a determinação destes valores teve-se em linha de conta os dados constantes na tabela 5, bem como a equivalência entre luminárias VSAP e a tecnologia LED, indicadas pelo fabricante da tecnologia LED.

Tabela 11. Consumo IP cidade de Macedo de Cavaleiros (LED).

Tecnologia LED						
Potência (W)	Média horas func./dia	Tarifa IP	Dias	Custo anual lâmpada	Nº lâmpadas	Custo total anual
Lâmpadas	Accessórios					
31	12,00	0,11 €	365	14,94 €	433	6.467,20 €
43	12,00			20,72 €	33	683,67 €
47	12,00			22,64 €	78	1.766,28 €
64	12,00			30,84 €	52	1.603,43 €
72	12,00			34,69 €	1531	53.109,78 €
128	12,00			61,67 €	344	21.214,62 €
TOTAL						84.844,98 €

A tabela 12 indica o investimento que é necessário fazer-se para substituir, toda a IP da cidade de Macedo de Cavaleiros, por tecnologia LED, discriminado por potência instalada.

Tabela 12. Investimento em luminárias com tecnologia LED.

Investimento			
Potência	Luminárias	Nº lâmpadas	Total
31	120,80 €	433	52.306,40 €
47	132,80 €	78	10.358,40 €
72	168,00 €	1531	257.208,00 €
128	230,00 €	344	79.120,00 €
Total			398.992,80 €

Com base nestes dados verifica-se que o consumo anual de energia é 55% inferior no caso da tecnologia LED comparada com a tecnologia VSAP, embora o investimento inicial na tecnologia LED é perto de 4 vezes superiores ao da tecnologia VSAP. De referir também que no caso da tecnologia VSAP.

4.2. Custo atual líquido

Após a determinação dos gastos anuais, com as duas variantes, procedeu-se à determinação dos gastos anuais líquidos, atualizados ao momento atual, para as duas variantes. Tal como indicado, no ponto 3.5, o horizonte temporal, deste estudo, é de 15 anos dado ser a vida útil maior das duas variantes. O custo atual líquido (CAL) é calculado, para cada uma das variantes, tendo por base os valores de investimento e os consumos de energia anteriormente apurados.

Os valores apresentados na tabela 13 referem-se ao CAL da variante das lâmpadas de VSAP, tecnologia atualmente instalada. Nesta variante é adicionado o valor necessário à substituição das lâmpadas de 5 em 5 anos, ou seja, ao longo dos 15 anos as lâmpadas são substituídas 3 vezes.

Tabela 13. Custo atual líquido em investimentos em tecnologia VSAP.**Tecnologia existente**

Anos	0	1 a 4	5	6 a 9	10	11 a 15
Investimento (€)	134.500		12.963		12.963	
Gasto Anual (€)		191.134	191.134	191.134	191.134	191.134
Gasto Total Anual (€)	134.500	191.134	204.097	191.134	204.097	191.134
Taxa de atualização =	1%					CAL = 2.808.658 €

Desta forma, o município tem um custo para os 15 anos, atualizado ao momento atual com uma taxa de atualização de 1%, com a variante das lâmpadas de VSAP de 2.808.658€.

De seguida faz-se a mesma metodologia para a variante das lâmpadas com tecnologia LED, apresentada na tabela 14.

Tabela 14. Custo atual líquido em investimentos em tecnologia LED.

Tecnologia LED		
Anos	0	1 a 15
Investimento (€)	398.993	
Gasto Anual (€)		84.845
Gasto Total Anual (€)	398.993	84.845
Taxa de atualização =	1%	CAL = 1.575.373 €

Tendo em consideração, igualmente, uma taxa de atualização de 1%, obtém-se um CAL para a variante de tecnologia LED de 1.575.373€.

A escolha da melhor variante a escolher, é claramente, a variante com tecnologia LED, pois o CAL obtido apresenta um valor menor.

4.3. Análise de sensibilidade

Ao comparar duas variantes é fundamental conhecer a sua sensibilidade, a variações das variáveis, uma vez que se está a trabalhar com valores previsionais. Esta é uma técnica que permite avaliar a alteração de uma variável, dentro de um projeto, analisando o resultado dessa alteração sobre o projeto inicial. Na elaboração desta análise é utilizada a diferença entre o valor do CAL da variante relativa à tecnologia VSAP e o valor do CAL da variante relativa à tecnologia LED. As duas variáveis utilizadas são a tarifa IP e o preço das luminárias de tecnologia LED. A tarifa de IP tem vindo a apresentar uma tendência crescente ao longo dos anos, a ERSE (2011) considera que essa evolução regista um crescimento médio aproximado de 5,8% ao ano. Nesta tendência considerou-se uma variação compreendida entre 0,5% e 10%, como se verifica pela análise à tabela 15.

A tabela 15 evidencia que a escolha das variantes em estudo é sensível a variações da variável tarifa de IP. Por exemplo, um aumento médio de 6%, valor aproximado à média anual do aumento da tarifa registado desde 2006, com o aumento do preço em apenas 0,0066 €/Kwh, a diferença entre o valor do CAL dos dois projetos aumenta consideravelmente, cerca de 86.520 €. Com base neste cenário, pode-se inferir que, quanto maior for o aumento na tarifa de IP, mais vantagens haverá em realizar o investimento da IP com a tecnologia LED.

Existe a expectativa da diminuição do preço das luminárias LED venha a ser uma realizada.

Esta tecnologia, considerada imergente, tem sido alvo de um apuramento tecnológico. A oferta deste tipo de tecnologia regista uma crescente diversificação, o que obriga os fabricantes a colocar, no mercado, produtos cada vez mais eficientes e cada vez mais baratos. Razão pela qual, esta tecnologia tem sido uma opção cada vez mais atrativa em detrimento da tecnologia de VSAP.

A massificação desta tecnologia pode levar a uma redução mais ou menos acentuada do seu custo de instalação. Neste cenário, a análise de sensibilidade que se pretende elaborar, apresentada na tabela 16, tem por base, tal como no caso do aumento da tarifa de IP, o valor da diferença entre o CAL dos dois investimentos. Neste caso é induzido uma variação negativa de 1% no preço das luminárias LED. Pela análise dos valores obtidos, verifica-se que a variante com tecnologia LED é sensível à diminuição do preço das luminárias. Conclui-se que, quanto maior for a redução no preço das luminárias, mais favorável se torna investir em luminárias com tecnologia LED.

A análise anterior foi feita de forma uni variada, variando uma variável mantendo-se tudo o resto constante. Na análise multivariada faz-se a variação das duas variáveis em simultâneo, utilizando-se o mesmo conjunto de pressupostos que serviram de base para as observações anteriores.

Tabela 15. Análise de sensibilidade à variação da tarifa IP.

Tarifa	Variação	Δ CAL	Tarifa	Variação	Δ CAL
0,1100 €	0,00%	1.233.285 €	0,1161 €	5,50%	1.312.595 €
0,1106 €	0,50%	1.240.495 €	0,1166 €	6,00%	1.319.805 €
0,1111 €	1,00%	1.247.705 €	0,1172 €	6,50%	1.327.015 €
0,1117 €	1,50%	1.254.915 €	0,1177 €	7,00%	1.334.225 €
0,1122 €	2,00%	1.262.125 €	0,1183 €	7,50%	1.341.435 €
0,1128 €	2,50%	1.269.335 €	0,1188 €	8,00%	1.348.645 €
0,1133 €	3,00%	1.276.545 €	0,1194 €	8,50%	1.355.855 €
0,1139 €	3,50%	1.283.755 €	0,1199 €	9,00%	1.363.065 €
0,1144 €	4,00%	1.290.965 €	0,1205 €	9,50%	1.370.275 €
0,1150 €	4,50%	1.298.175 €	0,1210 €	10,00%	1.377.485 €
0,1155 €	5,00%	1.305.385 €			

Tabela 16. Análise de sensibilidade à variação do preço das luminárias LED.

Preço	Δ CAL	Preço	Δ CAL
0%	1.233.285 €	-11%	1.277.174 €
-1%	1.237.275 €	-12%	1.281.164 €
-2%	1.241.265 €	-13%	1.285.154 €
-3%	1.245.255 €	-14%	1.289.144 €
-4%	1.249.245 €	-15%	1.293.134 €
-5%	1.253.235 €	-16%	1.297.124 €
-6%	1.257.224 €	-17%	1.301.114 €
-7%	1.261.214 €	-18%	1.305.104 €
-8%	1.265.204 €	-19%	1.309.094 €
-9%	1.269.194 €	-20%	1.313.083 €
-10%	1.273.184 €		

A análise de sensibilidade multivariada permite concluir que, o investimento em tecnologia LED continua a ser sensível às alterações induzidas nestas variáveis em simultâneo. Com

naturalidade pode inferir-se que, a opção pela execução de um projeto de substituição de luminárias com tecnologia LED pode revelar-se como uma escolha certa, tendo em conta os resultados apresentados.

5. CONCLUSÃO

Com a elaboração deste trabalho, pretendeu-se analisar a viabilidade de duas variantes, para a substituição da tecnologia atualmente instalada na Iluminação Pública - IP da cidade de Macedo de Cavaleiros. A primeira variante consiste na substituição das luminárias em fim de vida, por outras com a mesma tecnologia. No segundo caso, ponderasse a substituição da atual tecnologia de iluminação, por outra tecnologia mais eficiente mas com custo de instalação superiores como é o caso da tecnologia LED.

Os consumos energéticos, destas duas tecnologias, quando comparados para o modelo em estudo, dão clara vantagem à tecnologia LED, onde os consumos apresentam uma redução de cerca de 56% relativamente à da tecnologia das lâmpadas de VSAP. Apesar de esta vantagem ser evidente, no que diz respeito a consumos, no que se refere aos custos de instalação a tecnologia LED apresenta um investimento superior em cerca de 39% quando comparada com as lâmpadas de VSAP.

Os resultados apurados foram obtidos por intermédio do indicador Custo Atual Líquido – CAL. A escolha de este indicador teve por base o facto da natureza dos *cash-flows* apurados serem todos negativos uma vez que refletem apenas custos. Ao contrário do critério do Valor Atual Líquido - VAL, onde é preferido o projeto com maior valor, neste contexto, o CAL escolhe a variante que apresentar menor valor económico.

Como forma de complementar o estudo foi feita uma análise de sensibilidade às variáveis: aumento do preço na tarifa de IP, à redução do preço da tecnologia LED e à variação destes dois parâmetros em simultâneo. O resultado desta análise de sensibilidade mostrou que a escolha é sensível às alterações destas variáveis. No entanto, pode-se concluir, pela análise de sensibilidade que a instalação de tecnologia LED, na IP, é ainda mais favorável.

Conclui-se, por este meio, que a análise das duas variantes em estudo revelou que a instalação de tecnologia LED se mostra claramente mais favorável, quando comparada com as lâmpadas de VSAP, apresentando um CAL significativamente inferior.

As limitações deste estudo prendem-se com o facto de não haver redes de IP cadastradas. Este facto limita o estudo a valores provisórios do número e tecnologia de lâmpadas existentes. Os preços das tecnologias em estudo fornecidos pela autarquia podem sofrer alterações significativas, dependendo do contexto e quantidades em que são adquiridos. As tarifas, que deixaram de ser fixadas pelo regulador em 2012, são definidas de acordo com a opção tarifária que for considerada mais favorável ao cliente. Este facto pode levar a que haja maiores flutuações na tarifa da IP. O trabalho não teve em linha de conta o facto que determinados componentes, empregados na IP, podem permitir a sua reciclagem e verem a sua vida útil estendida por mais alguns anos (Ragone & Abreu, 2007).

A IP pode tornar-se um tema para trabalhos futuros nomeadamente na realização de um estudo técnico sobre o correto dimensionamento da IP, acompanhado por um estudo económico e financeiro que refletisse o impacto verificado nas contas de um município.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ADENE, Agência para a Energia. 2011. *Eficiência Energética Na Iluminação Pública*. ed. da Inovação e do Desenvolvimento Ministério da Economia.
- Amaratunga, D, D Baldry, M Sarshar, & R Newton, 2002. 'Quantitative and Qualitative Re-

- search in the Built Environment: Application of “mixed” Research Approach?. *Work study* 51(1): 17–31.
- Castro, Rui. (2003) ‘Energias Renováveis E Produção Descentralizada Introdução à Avaliação Económica de Investimento.’ Universidade Técnica de Lisboa.
- Chua, Wai Fong. 1986. ‘Radical Developments in Accounting Thought.’ *The Accounting Review* LXI(4): 601:632.
- Costa, Marco a D *et al.* (2009). ‘A High Efficiency Autonomous Street Lighting System Based on Solar Energy and LEDs.’ 2009 *Brazilian Power Electronics Conference, COBEP2009*: 265–73.
- EDP - Distribuição. 2010. 2 *Manual de Iluminação Pública*. ed. EDP - Distribuição. www.adene.pt/sites/default/files/2-eficienciaenergetica_iluminacao.pdf.
- ERSE. (2011). *Revisão Do Regulamento Tarifário Do Sector Eléctrico*. ed. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. www.erse.pt/pt/consultaspublicas/consultas/Documents/36_1/RT_SE_justificativo_Maio2011.pdf.
- Gomes, Agostinha, João Carvalho, Nuno Ribeiro, and Sónia Nogueira. (2007). *O Balanced Scorecard: Aplicado à Administração Pública*. Lisboa: Publisher Team.
- Hood, Christopher. (1991). ‘A Public Management for All Seasons?’ *Public Administration* 69: 3–19.
- Karlaftis, Matthew G. (2004). ‘A DEA Approach for Evaluating the Efficiency and Effectiveness of Urban Transit Systems.’ *European Journal of Operational Research* 152(2): 354–64.
- Maurer, M. (2009). ‘Specific Net Present Value: An Improved Method for Assessing Modularisation Costs in Water Services with Growing Demand.’ *Water Research* 43(8): 2121–30.
- Müllner, Reinhard, and Andreas Riener. 2011. ‘An Energy Efficient Pedestrian Aware Smart Street Lighting System.’ *International Journal of Pervasive Computing and Communications* 7(2): 147–61.
- Ponciano, Nivaldo José *et al.* (2004). ‘Análise de Viabilidade Económica E de Risco Da Fruticultura Na Região Norte Fluminense.’ *Revista de Economia e Sociologia Rural* 42(4).
- Prado Lorenzo, Jose Manuel, and Isabel Maria Garcia Sanchez. (2007). ‘Efficiency Evaluation in Municipal Services: An Application to the Street Lighting Service in Spain.’ *Journal of Productivity Analysis* 27: 149–62.
- Ragone, Júlio C., and Sanderson R. Abreu. (2007). ‘Uma Proposta de Redução de Custos No Gerenciamento E Na Manutenção de Redes de Iluminação Pública.’ *IV Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (IV CITENEL)*: 2–9.
- Ribeiro, Nuno, and Susana Jorge. (2011). ‘Factores Determinantes Do Endividamento Na Administração Local Portuguesa: Evidência Empírica Nos Municípios Do Alto Trás-Os-Montes.’ In *XIII Congresso de Contabilidade E Auditoria - A Change in Management - ACIM*, Porto, 1–22.
- Settimi, Claudia, Francesco Vidoli, Elisa Fusco, and Danilo Ballanti. (2014). ‘Estimating Technical Efficiency in the Italian Municipalities.’ *Procedia Economics and Finance* 17: 131–37.
- Soares, Isabel, José Moreira, João Couto, and Carlos Pinho. (2015). *Decisões de Investimento*. 4a Edição. ed. Manuel Robalo.
- Teixeira, Armínio. (2006). *Eficiência Energética Das Instalações de Iluminação*. http://www.alterceixa.eu/imagens/archivos/EFIC_ENERGET_INST_ILUM.pdf.
- Zeller, Alberto Van. (2013). Centro Português de Iluminação - *CPI Manual de Boas Práticas Para Cadastro de IP*. Lisboa.