



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Tiago Miguel Alves Ribeiro

**Avaliação de Projetos de Eficiência
Energética na Iluminação Pública**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de

Prof.^a Anabela Pereira Tereso – DPS/UM

Prof.^a Paula Varandas Ferreira – DPS/UM

Janeiro de 2016

DECLARAÇÃO

Nome: Tiago Miguel Alves Ribeiro

Endereço eletrónico: tiagoribeiro91@hotmail.com Telefone: 964135324

Número do Bilhete de Identidade: 13901257 5ZZ7

Título da dissertação: Avaliação de Projetos de Eficiência Energética na Iluminação Pública

Orientadoras: Anabela Pereira Tereso, Paula Varandas Ferreira

Ano de conclusão: 2016

Designação do Mestrado: Mestrado em Engenharia Industrial

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Expresso aqui o meu mais profundo agradecimento a todas as pessoas que direta ou indiretamente me ajudaram e apoiaram na elaboração deste projeto de dissertação.

Quero agradecer às minhas orientadoras, Prof.^a Anabela Tereso e Prof.^a Paula Ferreira pelo acompanhamento constante ao longo da elaboração desta dissertação e pela disponibilidade demonstrada sempre que solicitado o apoio de ambas.

Agradeço também ao meu supervisor de empresa, Eng.^o Miguel Silva, que me transmitiu alguns dos conhecimentos técnicos indispensáveis à elaboração deste tipo de projetos, bem como a toda a equipa de trabalho da Siemens, com os quais contactei semanalmente, ao José, ao Lúcio, à Susana e ao André.

Dedico esta dissertação a toda a minha família, que são o meu amparo, principalmente aos meus pais que suportaram anímica e financeiramente grande parte desta minha jornada académica, suporte este que eu jamais serei capaz de retribuir na mesma escala. O meu pai foi, inclusive, em grande parte dos momentos da minha vida o principal impulsionador dos meus movimentos empreendedores e mentor na forma como eu enfrento de cabeça erguida os problemas que surgem na minha vida.

Agradeço aos meus colegas de trabalho da Nortaluga, principalmente ao Eng.^o Steven Brito e ao Sr. António Alves, que por vezes tiveram de suportar a minha ausência e substituir-me em algumas tarefas enquanto eu me encontrava afastado a desenvolver trabalho na Siemens e na elaboração desta dissertação.

Um enorme obrigado a todos os meus colegas, que percorreram comigo partes ou a totalidade do meu percurso académico, em especial à Joana Peixoto, à Joana Dantas, ao Mário, ao João, ao Maciel e à Renata e a toda a amizade que estes demonstram no dia-a-dia.

Por último, um obrigado aos meus amigos de longa data, Samuel e Eduardo, entre outros, que se têm mostrado fiéis e me têm proporcionado grandes momentos de diversão ao longo destes anos.

RESUMO

A eficiência energética é nos dias que correm uma das prioridades de investimento por parte dos governos e das organizações, pois permite diminuir os consumos energéticos e consequentemente reduzir também a dependência energética externa, com impactos na competitividade económica e desenvolvimento social. Assim, surgem vários programas e estratégias nacionais para promover elevados índices de eficiência energética, não só em entidades privadas, como na Administração Pública e Municípios.

O consumo energético em iluminação pública é particularmente relevante, representando 50% dos custos energéticos dos municípios e podendo representar em média cerca de 2% do orçamento do município. Este valor chega mesmo a 3% no caso na Câmara Municipal de Viana do Castelo, ou seja, cerca de dois milhões de euros anuais. Estes programas surgem assim como ferramentas que permitem lidar com os custos associados à iluminação pública.

Na sequência desta ideia foi elaborado em parceria com a Siemens, S.A., um projeto que tem como objetivo melhorar o sistema de iluminação pública do município de Viana do Castelo. Este projeto consiste em substituir, em vias selecionadas estrategicamente, as luminárias de vapor de sódio por luminárias altamente eficientes de tecnologia LED. A análise foi suportada, sempre que possível, em medições dos parâmetros em estudo nas condições reais, de forma a minimizar erros estimativos e de cálculo. Este trabalho apresenta o projeto desenvolvido, analisando o seu potencial contributo para a redução de consumos de energia e avaliando a sua viabilidade económica. Para além disso pretendeu-se também dar resposta à lacuna que existe na gestão do risco associado a este tipo de projetos, apresentando um modelo sistematizado de avaliação do projeto, fontes de risco e estratégias mitigatórias.

Com este projeto foi possível alcançar uma solução que conseguiria reduzir em 7.738€ os encargos dispensados mensalmente pelo município em energia elétrica para alimentação dos circuitos de iluminação pública das vias selecionadas, o que corresponde a uma poupança de 87%. No que diz respeito à análise económica conseguiu-se criar um projeto extremamente viável, com um retorno interessante e acima de tudo com um índice de risco moderado-baixo.

PALAVRAS-CHAVE

Gestão de projetos, avaliação de projetos, eficiência energética, iluminação pública, gestão do risco.

ABSTRACT

Energy efficiency is in these days one of the priorities for investments by governments and organizations, as it allows decreasing the energy consumption levels and consequently the external energy dependence, with positive impacts on economic competitiveness and social development. Thus, there are various programmes and national strategies to promote high levels of efficiency, not only in private entities but also in Public Administration and Municipalities.

The energy consumption in street lighting is particularly relevant, representing 50% of energy costs of the municipalities and may represent on average about 2% of the municipal budget. For example, in the case of Viana do Castelo, it represents 3% of the municipality budget, i.e. approximately two million euros per year. These programs emerge then as important tools to deal with costs associated to street lighting.

Following this idea, a project has been developed in partnership with Siemens, S.A., aiming to enhance the public lighting system of the municipality of Viana do Castelo. This project consists of replacing, in strategically selected roads, the sodium vapour lamps for highly efficient LED technology lighting fixtures. Whenever possible, the project was supported on parameters measured under real working conditions, in order to minimize estimation and calculation errors. This work presents this project, analysing its potential contribution to reducing energy consumption and evaluating its economic viability. Furthermore, it was intended also to address the gap existing in risk management for this type of projects, presenting a project evaluation model combined with risk sources analysis and risk mitigation strategies.

With this project it was possible to achieve a solution that would reduce by 7.738€ the monthly charges expended by the municipality into electricity to power the public lighting systems of the selected roads, which corresponds to 87% saving. In relation to the economic analysis it was possible to create a very viable project, with an interesting return on investment and above all with a low-moderate risk index.

KEYWORDS

Project management, project evaluation, energy efficiency, public lighting, risk management.

ÍNDICE

| | |
|--|------|
| Agradecimentos..... | iii |
| Resumo..... | v |
| Abstract..... | vii |
| Índice de Figuras..... | xi |
| Índice de Tabelas..... | xiii |
| Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos..... | xv |
| 1 Introdução..... | 1 |
| 1.1 Enquadramento..... | 1 |
| 1.2 Motivação para a implementação de um método de avaliação de projetos de IP..... | 2 |
| 1.3 Objetivos de investigação..... | 3 |
| 1.4 Metodologia de investigação aplicada..... | 4 |
| 1.5 Estrutura da dissertação..... | 4 |
| 2 Enquadramento Tecnológico, Legal e de Avaliação de projetos..... | 5 |
| 2.1 Tecnologias presentes em sistemas de IP..... | 5 |
| 2.2 Documento Referência para a Eficiência Energética na IP..... | 8 |
| 2.3 Legislação aplicável aos projetos de IP..... | 9 |
| 3 Revisão da Literatura..... | 11 |
| 3.1 Estratégias e abordagens a projetos de IP..... | 11 |
| 3.2 Modelos de Avaliação de Projetos..... | 17 |
| 3.2.1 Valor Atual Líquido (VAL)..... | 17 |
| 3.2.2 Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)..... | 17 |
| 3.2.3 Período de Retorno do Investimento (PRI)..... | 17 |
| 3.2.4 Taxa Anual Nominal (TAN)..... | 18 |
| 3.2.5 Taxa Anual Efetiva (TAE)..... | 18 |
| 4 O Caso de Estudo..... | 19 |
| 4.1 Caracterização do projeto e do cliente..... | 19 |
| 4.2 Objetivos propostos para o estudo de caso..... | 19 |
| 4.3 Estudo preliminar..... | 20 |
| 4.3.1 Verificação da evolução dos custos associados ao sistema de IP e avaliação da eficácia das medidas de eficiência energética aplicadas..... | 20 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3.2 | Identificação das Entidades e da Informação associada às mesmas | 21 |
| 4.3.3 | Classificação das Vias Públicas | 23 |
| 4.3.4 | Medições ao equipamento e horário de funcionamento..... | 26 |
| 4.3.5 | Cálculo do consumo de energia do sistema atual..... | 27 |
| 4.3.6 | Dimensionamento da nova solução..... | 29 |
| 5 | Modelo proposto para a avaliação e gestão de projetos de eficiência energética de IP.... | 37 |
| 5.1 | Projetos de eficiência energética de IP | 37 |
| 5.2 | Avaliação de projetos de eficiência energética de IP | 38 |
| 5.2.1 | Avaliação do projeto do caso em estudo..... | 39 |
| 5.2.2 | Investimento | 42 |
| 5.2.3 | Análise de financiamento bancário | 45 |
| 5.3 | Avaliação e gestão do risco associado a projetos de eficiência energética de IP | 46 |
| 5.3.1 | Identificação e avaliação do risco | 46 |
| 5.3.2 | Aplicação ao caso de estudo..... | 48 |
| 5.3.3 | Prevenção de riscos | 51 |
| 6 | Conclusões e trabalho futuro | 53 |
| 7 | Bibliografia | 55 |
| 8 | Anexos | 57 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 - Exemplo de etiqueta colocada nos focos de iluminação desligados | 2 |
| Figura 2.1 - Ilustração das principais grandezas de fotometria (ADENE,2011)..... | 7 |
| Figura 4.1 - Gama <i>Streetlight</i> 30 (Fonte: Siteco, 2014)..... | 29 |
| Figura 4.2 - Dados técnicos da luminária <i>Streetlight</i> 30, 44W | 30 |
| Figura 4.3 – Dados de entrada para a simulação no <i>software Relux</i> | 31 |
| Figura 4.4 - Relatório dos resultados da simulação efetuada pelo <i>software Relux</i> | 32 |
| Figura 5.1 - <i>Stakeholders</i> em projetos de eficiência energética e respetivos <i>inputs</i> | 38 |
| Figura 5.2 - Energia consumida: Sistema atual vs Solução LED sem regulação..... | 40 |
| Figura 5.3 - Custo da Energia: Sistema atual vs Solução LED sem regulação..... | 40 |
| Figura 5.4 - Energia consumida: Sistema atual vs Solução LED com regulação | 41 |
| Figura 5.5 - Custo da Energia: Sistema atual vs Solução LED com regulação | 42 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1.1 - Consumo de energia elétrica por tipo de consumo (kWh) [Fonte: (FFMS, 2009)] | 2 |
| Tabela 2.1 - Tabela comparativa das várias tecnologias de lâmpadas [Adaptado de: (EDP, 2010)] | 7 |
| Tabela 4.1 - Custos associados ao sistema de IP em estudo (Preços c/IVA - €)..... | 20 |
| Tabela 4.2 - Dados relativos ao sistema de IP atual..... | 22 |
| Tabela 4.3 - Critérios e respetivas escalas de Classificação das Vias Públicas quanto às Classes de Iluminação | 24 |
| Tabela 4.4 - Necessidades de Luminância Média por Classe da Via..... | 24 |
| Tabela 4.5 - Classes de iluminação das várias vias públicas selecionadas | 25 |
| Tabela 4.6 - Horas de funcionamento médio das luminárias por período do ano..... | 27 |
| Tabela 4.7 - Consumo de energia associado às luminárias do sistema atual | 28 |
| Tabela 4.8 - Solução LED sem Regulação de Fluxo – Potência..... | 33 |
| Tabela 4.9 - Solução LED sem Regulação de Fluxo – Energia Consumida..... | 34 |
| Tabela 4.10 - Solução LED com Regulação de Fluxo – Potência | 35 |
| Tabela 4.11 - Solução LED com Regulação de Fluxo – Energia Consumida | 36 |
| Tabela 5.1 - Resultados da comparação - sistema atual vs solução LED sem regulação | 40 |
| Tabela 5.2 - Resultados da comparação - sistema atual vs solução LED com regulação | 41 |
| Tabela 5.3 - Investimento associado ao projeto | 42 |
| Tabela 5.4 - Indicadores do projeto da solução LED com regulação | 44 |
| Tabela 5.5 - Investimento recorrendo a capital próprio vs investimento recorrendo a empréstimo | 46 |
| Tabela 5.6 - Avaliação das escalas de probabilidade de ocorrência dos riscos e da gravidade das consequências..... | 47 |
| Tabela 5.7 - Escalas de avaliação dos riscos associados ao projeto e das consequências dos mesmos..... | 47 |
| Tabela 5.8 - Identificação e classificação dos riscos associados ao projeto | 49 |
| Tabela 5.9 - Relação entre os riscos associados ao projeto e ações executadas ou a executar | 52 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

A – Ampere

cd – Candela

ECO.AP – Plano de Eficiência Energética na Administração Pública

EN – Norma Europeia

ESCO – *Energy Service Company* - Empresa de Prestação de Serviços Energéticos

GWh – Gigawatt.hora

IP – Iluminação Pública

kWh – Kilowatt.hora

LED – Light Emitting Diode

POVT – Programa Operacional Temático Valorização do Território

PPP – Parceria Público Privada

PRI – Período de Retorno de Investimento

PT – Posto de Transformação

RFL – Regulador de Fluxo

SI – Sistema Internacional

TAN – Taxa Anual Nominal

TAE – Taxa Anual Efetiva

TIR – Taxa Interna de Rentabilidade

VAL – Valor Atual Líquido

V – Volt

VSAP – Vapor de Sódio de Alta Pressão

VSBP – Vapor de Sódio de Baixa Pressão

W – Watt

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo pretende-se expor a motivação para a escolha deste projeto de dissertação, enquadrando este tema do ponto de vista científico, tecnológico e económico.

1.1 Enquadramento

A Iluminação Pública (IP) é um serviço essencial para garantir a segurança pessoal e rodoviária e o bem-estar dos transeuntes das vias públicas, ou até mesmo o embelezamento dos locais. Este elemento está presente quer em ambientes urbanos, como em ambientes rurais, mesmo que com especificações diferentes.

Geralmente o conceito de melhor iluminação surge associado aos ambientes urbanos, também devido à iluminação ambiente que também está presente nestes locais devido à grande quantidade de iluminação decorativa, montras e outros sistemas de iluminação de exteriores (e.g. estacionamento). No entanto, por vezes, na tentativa de proporcionar aos seus cidadãos um maior conforto luminoso, os municípios apenas acrescentam mais IP, sem tradução na qualidade de vida dos mesmos, e que apenas irá originar um acréscimo nos encargos do município no orçamento anual associado à iluminação.

Embora exista legislação normativa que estabeleça os requisitos mínimos de iluminação numa via pública, existem algumas lacunas acerca de como devem ser planeados estes projetos.

Atualmente considera-se que exista em grande parte dos locais um sobredimensionamento dos sistemas de IP, originando assim poluição luminosa, poluição esta que origina um mau aproveitamento dos recursos energéticos e financeiros de um país, para além de poder ser muito perigosa para os transeuntes, pois podem originar situações de encandeamento e consequentemente estar na origem de alguns acidentes rodoviários. Este tipo de situações deve ser evitado aquando do planeamento, diferenciando logo à partida quais os locais para onde se pretende direcionar a iluminação, e quais são os locais em que não há interesse iluminar, para além dos níveis ideais de iluminação. Como se pode verificar na Tabela 1.1, até ao ano de 2011 houve um aumento progressivo do consumo de energia associado à iluminação das vias públicas, acompanhando o aumento do consumo de energia a nível nacional. No entanto, a partir daí começou a haver uma diminuição dos consumos energéticos devido à introdução de metodologias de poupança energética por parte dos municípios (motivada pela crise económica e pelas dificuldades nas finanças públicas locais) e também devido, em parte, à introdução de

novas tecnologias no mercado que possuem um maior índice de eficiência energética, onde se insere também a tecnologia LED.

Tabela 1.1 - Consumo de energia elétrica por tipo de consumo (kWh) [Fonte: (FFMS, 2009)]

| Anos | Consumo de energia eléctrica por tipo de consumo (kWh) | | | | | | | |
|------|--|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|------------------------------|---------------------|-----------------|
| | Total | Doméstico | Não doméstico | Indústria | Agricultura | Iluminação das vias públicas | Edifícios do Estado | Outros |
| 1994 | 27.751.311.565 | 7.350.104.713 | 5.056.846.111 | 12.714.951.373 | 435.328.172 | 767.647.666 | 1.133.530.395 | 292.903.135 |
| 2000 | 38.939.469.070 | 10.056.118.861 | 8.483.621.163 | 16.520.374.660 | 715.086.010 | 1.072.439.077 | 1.722.100.489 | 369.728.810 |
| 2001 | 40.540.701.913 | 10.624.533.591 | 9.040.241.718 | 16.765.103.073 | 779.838.687 | 1.144.176.283 | 1.819.201.263 | 367.607.298 |
| 2002 | 42.116.729.684 | 11.381.968.792 | 9.072.517.244 | 17.113.117.636 | 847.404.829 | 1.200.457.847 | 2.081.327.880 | 419.935.456 |
| 2003 | 43.802.993.542 | 11.835.470.870 | 9.596.570.840 | 17.458.730.963 | 889.347.059 | 1.331.950.595 | 2.246.950.498 | 443.972.717 |
| 2004 | 45.498.596.452 | 12.432.290.454 | 9.977.489.264 | 17.916.224.613 | 981.238.344 | 1.318.195.352 | 2.399.392.931 | 473.765.494 |
| 2005 | 47.028.809.174 | 13.242.117.759 | 10.452.082.041 | 17.878.448.262 | 1.028.781.291 | 1.409.633.900 | 2.536.150.356 | 481.595.565 |
| 2006 | 48.545.712.359 | 13.406.261.524 | 11.114.031.306 | 18.427.051.698 | 964.835.507 | 1.511.177.418 | 2.605.722.425 | 516.632.481 |
| 2007 | 49.676.041.662 | 13.863.085.380 | 11.373.406.246 | 18.687.121.004 | 1.022.178.713 | 1.571.271.524 | 2.651.624.845 | 507.353.950 |
| 2008 | 49.186.865.934 | 13.443.517.549 | 11.430.986.212 | 18.452.542.855 | 1.014.157.027 | 1.642.507.644 | 2.694.919.433 | 508.235.214 |
| 2009 | 48.772.938.876 | 14.187.915.617 | 11.563.937.534 | 17.142.716.312 | 986.292.984 | 1.673.479.059 | 2.729.258.677 | 489.338.693 |
| 2010 | 50.612.881.454 | 14.521.775.831 | 11.916.761.407 | 18.193.493.771 | 1.025.166.071 | 1.661.704.116 | 2.812.117.155 | 481.863.103 |
| 2011 | Pro 49.140.064.115 | Pro 13.755.180.788 | Pro 11.959.888.788 | Pro 17.675.099.128 | Pro 980.854.386 | Pro 1.674.051.161 | Pro 2.697.614.216 | Pro 397.375.648 |
| 2012 | Pro 47.130.533.175 | Pro 12.898.004.502 | Pro 12.364.483.212 | Pro 17.056.755.398 | Pro 1.003.089.315 | Pro 1.554.739.445 | Pro 1.890.142.245 | Pro 363.319.058 |

As metodologias de poupança energética aplicadas pelos municípios passam principalmente pela desativação de focos de iluminação, sendo aplicada no mesmo uma etiqueta semelhante à da figura 1.1, ou por desligar parcialmente alguns dos circuitos de distribuição, levando à desativação de vários focos de forma alternada, o que nem sempre resultam em soluções corretas, pois pode colocar em causa a uniformidade luminosa e consequentemente a segurança dos transeuntes da via pública em questão.



Figura 1.1 - Exemplo de etiqueta colocada nos focos de iluminação desligados

1.2 Motivação para a implementação de um método de avaliação de projetos de IP

No seguimento das iniciativas nacionais e europeias, como a ECO.AP (Plano de Eficiência Energética na Administração Pública) e o POVT (Programa Operacional Temático Valorização do Território), das metas e dos incentivos financeiros que lhes estão associados, tem havido

recentemente uma aposta forte por parte das empresas e dos municípios (as empresas surgem como fornecedores, os municípios como clientes) na procura de soluções que permitam atingir um nível de poupança energética suficientemente aceitável. O ECO.AP (Plano de Eficiência Energética na Administração Pública) tem como objetivo principal conseguir nos serviços públicos e organismos da Administração Pública uma poupança energética na ordem dos 20% e o POVT (Programa Operacional Temático Valorização do Território) prevê, no eixo II do programa, apoiar projetos de entidades públicas que tenham como domínio de intervenção as energias renováveis e a eficiência energética.

Para conseguir atingir as metas propostas, os municípios encontram como principal obstáculo a IP, devido à representatividade que a despesa associada a esta componente tem na despesa total associada à energia elétrica. Na maior parte dos casos, a IP poderá representar cerca de 50% da fatura total, como é o caso do município de Viana do Castelo (CMVC, 2013; FFMS, 2009)

Na fase inicial do estudo que serviu de base a esta dissertação foram desde logo identificadas algumas lacunas no sistema de IP, que limitam significativamente a eficácia nos planos de eficiência energética desenvolvidos, são essas:

- Inexistência de um cadastro dos sistemas de IP, que identifique pormenorizadamente todas as características do sistema, como por exemplo o tipo de luminárias, georreferenciação das mesmas, altura do poste, entre outras;
- Inexistência de registos documentados com as operações de manutenção desenvolvidas ao longo do tempo;
- Dificuldade na associação dos dados de faturação com os sistemas e equipamentos instalados.

No sentido de contornar estas lacunas e tentar estabelecer uma metodologia eficaz de avaliação e gestão deste tipo de projetos, surge este projeto de dissertação.

1.3 Objetivos de investigação

O objetivo principal desta investigação é projetar uma solução de elevado índice de eficiência energética para os sistemas de IP do Município de Viana do Castelo, avaliando economicamente esta solução e planeando a gestão dos riscos associados ao mesmo. Pretende-

se ainda definir uma estratégia de investimento e um modelo de financiamento para suportar os custos do projeto.

Com a aplicação deste estudo de caso espera-se contribuir para estabelecer novas metodologias e procedimentos base para uma avaliação e gestão eficaz de projetos de eficiência energética da IP.

1.4 Metodologia de investigação aplicada

Ao longo deste estudo foi aplicada uma metodologia de investigação-ação, pois este foi desenvolvido com base num processo de investigação ativa, em que houve envolvimento de vários elementos, tais como fornecedores, colegas de trabalho e clientes. Através da aplicação deste método criou-se uma rotina iterativa do processo de diagnóstico, planeamento, ação e avaliação, em que se procurou, para além das implicações para o projeto imediato, a criação de um procedimento que permite ser aplicado na procura de soluções para melhor desenvolver e avaliar projetos de eficiência energética da IP no futuro.

1.5 Estrutura da dissertação

No presente capítulo pretende-se fazer uma introdução à temática abordada na dissertação, enquadramento da respetiva proposta e quais os objetivos que se pretendem atingir.

No segundo capítulo efetua-se uma abordagem aos conceitos tecnológicos associados aos sistemas de iluminação.

No terceiro capítulo para além da revisão bibliográfica que foca os conceitos de avaliação de projetos que são utilizados no estudo, surge também o enquadramento em termos da legislação que este tipo de projetos apresenta. Apresenta-se ainda neste capítulo um exemplo de como são avaliados estes projetos atualmente.

No capítulo quatro surge a abordagem técnica que se aplicou ao estudo de caso em questão para a obtenção da melhor solução de substituição dos sistemas atuais de IP.

No quinto capítulo para além de se efetuar a avaliação económica do estudo de caso e traçar um plano de gestão de risco para o projeto em questão, faz-se uma projeção de como deveriam ser avaliados e geridos este tipo de projetos.

Finalmente, no capítulo seis são retiradas as devidas conclusões do trabalho desenvolvido e projetados os trabalhos futuros.

2 ENQUADRAMENTO TECNOLÓGICO, LEGAL E DE AVALIAÇÃO DE PROJETOS

Ao longo deste capítulo pretende-se explicar os vários conceitos técnicos associados à iluminação, assim como apresentar alguns dos componentes associados a sistemas de IP.

2.1 Tecnologias presentes em sistemas de IP

A lâmpada é elemento central de um sistema de IP e foi também o que sofreu mais modificações de tecnologia ao longo da história. As primeiras tecnologias eram de baixa eficiência, possuíam uma péssima prestação luminotécnica e algumas até estão associadas a problemas ambientais muito graves, como é o caso da tecnologia de vapor de mercúrio, cuja aplicação já foi proibida, mas ainda está presente em alguns dos focos, tendo vindo a ser substituída por outras soluções ao longo dos últimos anos. As lâmpadas incandescentes, que têm como principal característica emitir luz devido à elevada temperatura de um corpo, são também uma tecnologia antiga, visto que 90 a 95% da energia consumida pelas mesmas é dissipada sob a forma de calor. Outro dos inconvenientes desta tecnologia é o curto tempo de vida útil, na ordem das 1000h. O único benefício desta tecnologia é o baixo custo inicial.

Ao longo dos últimos anos foram criadas novas tecnologias de iluminação, com um nível de eficiência energética muito superior e com mais-valias ambientais.

- **Compactas fluorescentes (CFL)**

Apresentam elevada eficiência e durabilidade e surgem como a tecnologia predileta para substituir as lâmpadas incandescentes. O investimento em lâmpadas desta tecnologia é significativamente superior à anterior tecnologia, no entanto este é amortizado de forma muito rápida, visto que consome apenas 20% da energia.

- **Lâmpadas de Vapor de Sódio**

- **Vapor de Sódio de Alta Pressão (VSAP)**

Trata-se de uma lâmpada de descarga de alta intensidade, concebida para atingir elevado índice de eficiência energética, com um elevado tempo de vida útil. Estão presentes no mercado com diversos formatos e são as mais utilizadas de momento nos sistemas de IP.

- **Vapor de Sódio de Baixa Pressão (VSBP)**

Esta tecnologia apresenta excelentes níveis de eficiência energética, levando à obtenção de um excelente rendimento nas instalações. Apesar dos excelentes níveis de eficiência, apresentam um espectro muito reduzido, de cor amarelada, não sendo muito confortável à visão.

- **Iodetos Metálicos**

Trata-se de uma tecnologia de vapor de mercúrio aperfeiçoada, com 4 a 5 vezes mais eficiência que a tecnologia de vapor de mercúrio que a originou. Tal como as lâmpadas de vapor de sódio, estas também estão disponíveis em diversos formatos, estando disponíveis em gamas de potência ligeiramente superiores, com níveis de eficiência e tempo de vida útil ligeiramente inferiores.

- **LED**

As luminárias de tecnologia LED (Light Emitting Diode) são compostas por um díodo semiconductor encapsulado num material plástico e por uma lente, ou difusor, a encabeçar o conjunto. Esta tecnologia não dispensa a existência de um driver (fonte de alimentação) que transforma a tensão alternada, proveniente da rede elétrica, em tensão contínua que alimenta o LED. As características do LED variam com vários fatores, como por exemplo o seu tamanho, o seu material, ou outros fatores. Esta tecnologia apresenta uma grande versatilidade, nomeadamente em termos de capacidade de ajuste de luminosidade (dimming), direccionalidade e cor. As luminárias deste tipo apresentam excelentes índices de eficiência energética e tempo de vida útil muito longo. Outra das grandes vantagens desta tecnologia é que as luminárias LED apresentam cores monocromáticas, sendo normalmente aproximadas da cor branca, tornando a luz emitida muito mais agradável visualmente. Esta tecnologia apresenta-se de momento como a principal candidata à substituição das luminárias presentes nos sistemas de IP (ADENE, 2011).

- **Indução**

As lâmpadas fluorescentes de indução têm como princípio básico a excitação do mercúrio e outros gases presentes num tubo fechado, através de um campo magnético oscilante de alta frequência. Este campo magnético é conseguido através de duas bobinas e de um balastro eletrónico, também este de elevada frequência. A luz

ultravioleta originada a partir deste processo é depois convertida em luz visível através do revestimento de sais apropriados. A grande vantagem destas luminárias é o elevado tempo de vida útil que estas apresentam, bem como elevado índice de eficiência energética. Em relação à tecnologia LED, apresentam a grande desvantagem de não ser possível efetuar *dimming*, e a necessidade de balastos muito específicos.

Na tabela 2.1 é apresentado um resumo comparativo das diversas tecnologias de lâmpadas existentes no mercado.

Tabela 2.1 - Tabela comparativa das várias tecnologias de lâmpadas [Adaptado de: (EDP, 2010)]

| Tecnologia | Gama de Potência (W) | Temperatura da cor (K) | Eficiência luminosa (lm/W)* | Tempo de vida útil (h) |
|--------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Incandescentes | 15 – 1000 | 2700 | 10 – 20 | 1000 |
| Vapor de mercúrio | 50 - 1000 | 3000 - 5000 | 20 – 50 | 16000 |
| Compactas fluorescentes | 3 – 55 | 2700 - 6000 | 35 – 87 | 6000 – 10000 |
| V.S. Alta Pressão | 50 – 1000 | 2000 – 3300 | 70 – 140 | 16000 – 32000 |
| V. S. Baixa Pressão | 50 – 1000 | 1800 – 2200 | 120 – 180 | 16000 |
| Iodetos metálicos | 35 – 3500 | 3300 – 5500 | 65 – 110 | 12000 – 16000 |
| LED | 1 – 250 | 2700 – 4000 | 75 | 100000 |
| Indução | 1 - 8 | 2700 - 10000 | 50 - 130 | 30000 - 100000 |

* A eficiência luminosa (η) de uma fonte é uma relação entre o fluxo total emitido pela fonte (ϕ) e a potência por ela absorvida (P). A unidade SI é o lm/W (lúmen por Watt) (ADENE, 2011).

Abaixo, na figura 2.1, encontram-se ilustradas algumas das grandezas mais importantes na fotometria.

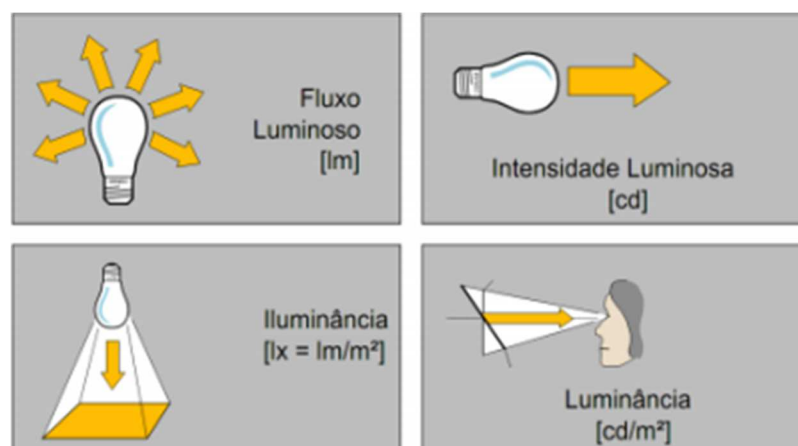


Figura 2.1 - Ilustração das principais grandezas de fotometria (ADENE,2011)

No que diz respeito ao controle e regulação dos sistemas de iluminação podemos encontrar vários componentes com essa funcionalidade num circuito de IP.

Um destes componentes é o regulador de fluxo que permite a regulação luminosa em períodos pré-estabelecidos. Estes períodos podem ser fixos, conforme as horas de intensidade do tráfego, ou então dependentes das leituras realizadas por outros elementos, como por exemplo relógios ou sensores, ou até equipamentos de gestão mais complexos. A redução de fluxo é conseguida através da redução da tensão, o que faz diminuir a corrente e consequentemente a potência absorvida.

O relógio é um equipamento que permite desligar ou ligar uma luminária, ou conjunto de luminárias, conforme os horários de funcionamento pré-estabelecidos.

O sensor crepuscular é um sensor de luz ambiente, que contém uma célula fotoelétrica presente no interruptor crepuscular, que comanda a ação de ligar ou desligar a iluminação, com base no aumento ou diminuição de luminosidade. Este sensor pode estar à cabeceira do circuito quando se pretende que este atue sobre um conjunto de luminárias, ou pode ser colocado em cada luminária para uma ação individual.

O balastro é um componente constituído por três elementos: o arrancador, o condensador e o balastro propriamente dito. O balastro em si pode ser do tipo eletromagnético ou eletrónico, o primeiro funciona como reatância e o segundo funciona como uma fonte eletrónica de alta frequência. O balastro eletrónico permite a regulação de fluxo, sendo essa regulação mais ou menos rigorosa e controlável, ou não, através da rede consoante a tecnologia presente no balastro (ADENE, 2011).

2.2 Documento Referência para a Eficiência Energética na IP

Os projetos de eficiência energética da IP passaram a contar a partir do ano 2011 com um documento referência – Eficiência Energética na IP (ADENE, 2011), criado pelas organizações que mais conheciam esta matéria, e que tem como objetivos principais a uniformização de diversos processos, como a classificação das vias públicas de forma a determinar os níveis mínimos de referência para a iluminação, a clarificação de alguns dos conceitos associados a projetos desta natureza, bem como a determinação dos possíveis projetistas e responsáveis por este tipo de projetos e não menos importante estabeleceu os requisitos de documentação a incluir neste tipo de projetos e após a conclusão do projeto.

Os requisitos de documentação que este tipo de projetos compreende estão relacionados com:

1. Identificação do responsável pela elaboração do projeto;
2. Identificação da obra e respetiva localização;
3. Memória descritiva incluindo conceito por detrás da solução, escolha da fonte luminária, classificação da via e níveis a obter de acordo com a norma EN13201;
4. Índice de Eficiência Energética e Classificação Energética previsível;
5. Especificação técnica dos materiais, equipamentos e trabalhos necessários para a implementação da solução projetada;
6. Peças desenhadas;
7. Mapa de quantidades de trabalho;
8. Avaliação de custos com base no anexo A da CIE 115:2010¹.

Na fase de obra é necessário proceder à entrega da identificação do responsável pela execução da obra (instalador), identificação da obra e localização, telas finais e índice de eficiência energética e classificação energética obtida.

Este documento de referência refere ainda que após a conclusão do projeto este deve ser auditado por uma entidade externa, que não tenha tido qualquer tipo de intervenção no mesmo e após concluída a obra deverá ser organizado um dossiê próprio, para anexação dos relatórios posteriores de medição e monitorização da instalação, não sendo referidos os períodos em que esta verificação deve ser feita.

2.3 Legislação aplicável aos projetos de IP

- Decreto-Lei n.º 344-B/82

O decreto-lei n.º344-B de 1 de Setembro de 1982 estabelece os princípios gerais da distribuição de energia elétrica em baixa tensão, bem como as condições a que devem obedecer os contratos de concessão a favor da EDP, quando a exploração seja feita nesse regime (MIEE, 1982). Neste decreto-lei refere ainda os critérios da concessão da instalação de IP por parte dos municípios à EDP-Distribuição, bem como as condições referentes à manutenção da mesma instalação.

¹ Documento referência para a iluminação de vias de tráfego motorizado e humano, criado pela Comissão Internacional de Iluminação em 2010.

- Norma Europeia EN13201: *Road Lighting*

A norma europeia EN13201 está dividida em quatro segmentos: escolha das classes de iluminação, parâmetros fotométricos recomendados, cálculo dos parâmetros fotométricos e métodos de medida das performances fotométricas. Foi uma das primeiras referências quanto ao nível de luminosidade necessário para cada tipo de via pública e serviu de base para a criação das classes de iluminação que surgem no documento referência para a eficiência energética na IP (CEN, 2003).

3 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo aborda a questão dos projetos de iluminação pública e como têm vindo a ser debatidos na literatura. Serão apresentados alguns exemplos de diferentes cidades pretendendo ilustrar as diferentes motivações e estratégias associadas a estes investimentos. Adicionalmente, apresenta-se uma breve revisão dos conceitos de avaliação de projetos que serão aplicados na avaliação do caso de estudo.

3.1 Estratégias e abordagens a projetos de IP

Um dos objetivos do mercado energético passa pela redução da procura de energia elétrica. O setor da IP é um dos setores que mais energia elétrica consome e trata-se de um dos que apresenta menor índice de eficiência energética. Este setor inclui qualquer instalação de iluminação de propriedade pública ou privada para uso público (Burgos-Payan et al., 2012). Em 2006 a União Europeia estabeleceu objetivos para reduzir as emissões dos gases com efeito de estufa em 20%, aumentar a eficiência energética em 20% e aumentar a produção de energia proveniente de fontes de energia renovável em 20%, até 2020 (Radulovic et al., 2011). Os sistemas de IP atuais estão envelhecidos, obsoletos, ineficientes, não cumprem os requisitos legais atuais, encontram-se por vezes danificados e representam por isso um grande potencial de melhoria de eficiência energética. Segundo um estudo do estado dos contratos de IP desenvolvido pela BEA (2006), existe um enorme potencial de poupança no que se refere à IP e a União Europeia tem a possibilidade de poupar cerca de 4,3 biliões de euros em custos de fornecimento de energia, através da implementação de medidas de eficiência energética na iluminação, a cada ano.

De acordo com Burgos-Payan et al. (2012), o consumo de energia de um sistema de IP pode ser melhorado com a introdução de várias medidas tecnológicas e de gestão. É aqui que entram as ESCO (*Energy Service Company* - Empresas de Prestação de Serviços de Energia), que têm como objetivo principal fornecer serviços relativos a energia numa rede de um determinado cliente, procurando atingir poupanças de energia e reduções de custos através da adoção de políticas de eficiência energética. O objetivo seria reduzir a quantidade de energia consumida sem afetar o conforto, a qualidade de vida dos transeuntes e o meio ambiente. O dimensionamento das novas soluções de IP, que atualmente é realizado por pacotes de *software* destinados a esse efeito, tem como principais objetivos a uniformidade luminosa das vias públicas onde serão instalados e o cumprimento dos valores médios de iluminação

recomendados pela Comissão Internacional da Iluminação. No entanto, no que diz respeito ao índice de eficiência energética de uma determinada solução, segundo Rabaza et al. (2013), nenhum programa é capaz de dar resposta efetiva a este parâmetro. Segundo os autores, torna-se complexo avaliar se uma solução de IP é eficiente ou não sem que seja aplicado uma meta-heurística, neste caso um algoritmo evolucionário multi-objetivo. As instalações de IP são caracterizadas por parâmetros geométricos, tais como a altura das luminárias ou a largura da via pública. A Comissão Internacional de Iluminação tem também vindo a definir os requisitos de performance das instalações, sendo este nível de performance calculado com base nos valores dos parâmetros técnicos de iluminação.

Carli et al. (2015) defendem que os municípios devem utilizar ferramentas de suporte de decisão para conseguirem uma melhor gestão da eficiência energética das suas instalações indo de encontro às necessidades dos seus cidadãos. Para aplicarem este tipo de ferramentas devem associar as tecnologias de informação e comunicação a ferramentas de otimização, uma vez que esta conjugação permite medir os indicadores-chave de performance (tais como o consumo anual de energia nas diversas instalações, o fluxo luminoso médio em cada uma das vias, entre outros) e ao mesmo tempo determinar as ações necessárias para melhorar o desempenho das instalações do município. Assim sendo, sugerem a adoção de um modelo de tomada de decisão de dois níveis por parte dos municípios, em que o nível de topo trata as preferências e as linhas orientadoras da gestão de energia da cidade e o segundo nível define um número de unidades de decisão que estão afetadas aos diversos setores urbanos e que podem ser afetadas pelas políticas de remodelação de instalações e de eficiência energética. Em relação ao processo de decisão de gestão de energia é proposto um sistema de duas fases, em que primeiro são definidas as atividades de aquisição de dados do estado das instalações e definido o *design* da decisão em conjunto com o operador da rede de iluminação pública e numa segunda fase são identificadas e selecionadas ações de gestão de eficiência energética.

A aplicação de um projeto de remodelação dos sistemas de IP consiste em três etapas principais: análise das vias públicas e dos sistemas implementados, projeção de novas soluções e avaliação de resultados. Em relação à etapa de projeção de novas soluções é possível optar por níveis de intervenção bastante divergentes. Cellucci et al. (2015) desenvolveram um caso de estudo de uma pequena cidade turística, em que os sistemas de IP instalados eram suficientes para satisfazer as necessidades anuais, no entanto existia uma maior necessidade de IP na estação de Verão devido ao maior movimento nas vias devido ao turismo. A análise das vias públicas consistiu na análise do tipo de via, análise da vizinhança (árvores, obstáculos, separadores de

via, entre outros) e análise do atual sistema de IP instalado. Em relação à projeção de novas soluções, consideraram três níveis de intervenção: *retrofitting* ou substituição direta de luminárias; novo sistema de IP ou um terceiro nível em que haveria uma substituição do sistema de IP e instalação de controlo remoto completo da instalação. Em qualquer das opções de intervenção foi utilizado um programa de simulação 3D, para projetar as melhores soluções para os sistemas instalados em cada uma das vias públicas. O primeiro nível de intervenção consistiria em substituir as luminárias por luminárias de tecnologia superior, sem haver alteração da geometria do sistema, ou seja, não implicaria por exemplo alterações das distâncias entre postes ou configuração da inclinação das luminárias, seria aquele em que existiria um menor investimento. No entanto haveria uma menor *performance* em relação aos outros níveis de intervenção. No segundo nível de intervenção em que haveria alteração das luminárias, por tecnologias superiores, poderia ainda haver alteração da configuração dos postes de iluminação, alterações de inclinação do braço do poste, entre outras alterações possíveis. Este nível de alteração permitiria assim um melhor ajuste das necessidades em função da configuração da via. No nível máximo de alteração, em que haveria alteração dos sistemas instalados sempre que necessário, era proposto ainda a instalação de um sistema de controlo remoto que incluiria a instalação de um sensor em cada luminária que permitiria analisar o fluxo de movimento na via, as condições meteorológicas e o fluxo luminoso emitido pelo sistema, possibilitando assim a deteção de avarias também. A gestão dos sistemas de iluminação seria efetuada através do controlo individual de cada luminária ou por transmissão de dados através do cabo de energia. Atualmente, cidades de todo o mundo são confrontadas com o aumento exponencial da população urbana, tornando-se um dos seus problemas de desenvolvimento sustentável a gestão da energia, o que leva a que a gestão nacional de energia esteja cada vez mais a tornar-se responsabilidade dos municípios locais e a deixar de ser um encargo para o governo. A gestão da eficiência energética nas cidades permite que os governos locais se foquem em projetos energéticos que têm grandes argumentos ambientais e forte viabilidade financeira (Radulovic et al., 2011). Por outro lado, a queda dos orçamentos públicos tem levado à estagnação do investimento na eficiência energética da IP, o que por sua vez se traduz numa situação muito crítica de elevados custos de manutenção das redes de iluminação e largas necessidades de remodelação dos sistemas instalados.

Para fazer face a esta lacuna de falta de liquidez e capacidade financeira por parte das entidades públicas, começaram a ser criados os contratos performance em projetos de eficiência energética da IP. Estes contratos baseiam-se numa Parceria Público-Privada (PPP), em que a

entidade privada (ESCO) pode conceber, financiar, instalar, arrancar e assumir parte do risco técnico e económico de um projeto de IP. Assim sendo, uma ESCO participa do investimento inicial destes projetos para que possa renovar as infraestruturas, tornando-as mais eficientes, reduzindo as emissões de CO₂ (proveniente do processo de produção de energia elétrica) e os custos de manutenção da rede. Além disto a ESCO pode ainda ser responsável, durante um determinado período de tempo, pela manutenção das infraestruturas e pelo pagamento das faturas ao fornecedor de energia elétrica. O proprietário da rede de IP (governo local), através da subcontratação do serviço integrado de gestão deste serviço, paga uma renda à ESCO durante um determinado período de tempo. Um contrato base entre uma ESCO e um governo local deve incluir a gestão de energia, a manutenção, a garantia total dos equipamentos instalados e a implementação e financiamento de trabalhos de melhoria e renovação das infraestruturas. Em função da PPP estabelecida é possível encontrar um dos seguintes três modelos de serviço: um primeiro modelo em que a propriedade dos sistemas de iluminações permanece do lado do município ou governo local, por outro lado é possível uma completa transferência da propriedade dos sistemas para uma empresa privada e pode ainda acontecer uma combinação destes dois modelos (Burgos-Payan et al., 2012).

A cidade de Praga teve em tempos um grave problema de gestão, administração e manutenção dos sistemas de IP instalados, tendo este problema surgido associado a uma grave lacuna financeira que impediu o governo local de proceder a investimentos próprios e resolver o assunto em questão. Assim, foi obrigado a passar essa responsabilidade, através de uma PPP, para uma empresa privada, entre os anos de 1999 e 2013. Esta empresa iniciou posteriormente uma campanha de promoção de medidas técnicas e organizacionais tais como: instalação de sistemas estanques de IP, substituição de cabos com deficiência isolante, correção da conceção dos sistemas de IP e substituição de luminárias com maior eficiência luminosa, entre outras medidas. Esta PPP contemplava um contrato de fornecimento de serviços de iluminação combinado com um modelo *leasing*, que incluía um termo de longo prazo entre o governo local e a ESCO, em que esta última era responsável pelo fornecimento de serviços de administração, manutenção, operação e compra de energia elétrica durante 15 anos, pelo investimento obrigatório na renovação de 30% dos equipamentos durante os primeiros cinco anos de contrato, entre outras obrigações. Por outro lado, a ESCO era remunerada pela autoridade municipal, com base nos valores estabelecidos num contrato que contemplava a soma dos encargos de operação, manutenção e custos de fornecimento de energia. Com esta parceria foram substituídas 90% das luminárias logo nos primeiros sete anos de contrato, e conseguida

uma redução de 10% da potência instalada entre 1999 (16.1 MW instalados) e 2004 (14.5MW instalados), com uma melhoria substancial na qualidade dos sistemas de IP instalada e na eficiência dos mesmos (BEA, 2006).

A substituição direta de luminárias é uma das formas mais fáceis de atingir a poupança de energia nos sistemas de IP, sendo que o parâmetro que melhor serve para comparar dois tipos de luminárias sem provocar uma diminuição do fluxo luminoso é a eficiência luminosa (Gutierrez-Escolar et al., 2015). A legislação espanhola criou, inclusive, um decreto-lei que não permite a instalação de luminárias com eficiência luminosa abaixo dos 65lm/W nos sistemas de iluminação públicos. Apesar da substituição direta de luminárias ser aquela que traz melhores resultados de poupança, nem sempre há disponibilidade financeira por parte dos municípios para avançar para esta alteração, pelo que Gutierrez-Escolar et al. (2015) sugerem que deveria ser promovida a substituição dos balastros eletromagnéticos por balastros eletrônicos, cuja principal vantagem é o arranque instantâneo da luminária e a poupança de 20% da energia consumida na fase de arranque, bem como a revisão e substituição, se necessária, dos invólucros das luminárias e uma melhor gestão das horas de operação das mesmas. Apesar de grande parte das instalações de IP em Espanha não possuírem reguladores de fluxo, em algumas delas já existe um dos seguintes três tipos de regulação: balastros indutivos de dois níveis de potência, balastros eletrônicos e reguladores com estabilizador no início da linha de alimentação dos circuitos de iluminação. O primeiro e o segundo apenas permite uma gestão individual por ponto de luz, podendo as luminárias seguir comportamentos diferentes numa mesma via, em função do local onde estão instaladas, por exemplo, uma luminária que está instalada sobre uma passadeira pode estar com uma regulação a 100% de fluxo durante toda a noite, ao passo que a luminária imediatamente a seguir pode estar a 100% até à meia-noite e depois reduzir o fluxo para 50% até ao amanhecer. A solução de ter os reguladores de fluxo com estabilizadores no início da linha não permite este tipo de gestão individual, no entanto permite analisar dados de entrada, tais como tráfego horário em cada via ou condições meteorológicas na região e ajustar o fluxo luminoso das vias em função das leituras. Gutierrez-Escolar et al. (2015) consideram que as condições meteorológicas são mais importantes que a latitude do local, no que diz respeito à gestão do fluxo luminoso das luminárias das vias públicas, em determinados dias. Consideram ainda que deve haver um cuidado na diferença de potencial aplicada na entrada do circuito, porque se for uma regulação muito baixa a luminosidade pode baixar para níveis que não satisfaçam as necessidades, o que pode afetar as condições de visibilidade dos transeuntes das vias, e que o melhor período para

haver uma diminuição da regulação de fluxo nas luminárias é entre a 1h e as 5h da manhã, pois trata-se do período em que as vias estão mais desertas.

Num projeto de eficiência energética na IP aplicado no Sul de Espanha, numa pequena cidade da província de Sevilha, foram investidos 465.121€ na rede de IP local, estavam a ser consumidos 1,26GWh e o município despendia cerca de 193.000€/ano em energia elétrica consumida. Após este investimento, que ocorreu em 2011, durou cerca de 4 meses e no qual foram removidas 50% das luminárias instaladas, foi conseguida uma poupança energética na ordem dos 43% e foi ainda melhorada a qualidade da iluminação das vias públicas devido à aplicação de luminárias de tecnologia LED. O contrato que terá sido firmado entre a ESCO e a entidade governamental local ficou com a duração fixada em dez anos, sendo que ao final desse período a gestão do sistema de IP volta para o governo. Recorrendo a este modelo foi ainda possível ao município em questão reduzir os quatro fornecedores que tinha na área da energia elétrica a apenas um, transferindo todo o risco do processo para a ESCO em questão. A subcontratação de uma ESCO para liderar estes processos pode ser uma excelente opção, tendo de ser divididos os montantes de poupança conseguida, entre as duas entidades, durante um determinado período de tempo estabelecido entre as mesmas (BEA, 2006).

Neste tipo de projetos é crucial estabelecer uma metodologia eficaz de avaliação e gestão dos riscos associados ao projeto, para que todos os intervenientes no mesmo estejam cientes dos riscos e de como atuar perante eles. Para que esta metodologia seja eficaz é necessário adotar um processo que envolva ativamente a colaboração entre a equipa do projeto, e restantes *stakeholders*, de forma a gerar um plano de gestão do risco, que reúna informações úteis e relevantes, tais como as técnicas e os procedimentos para identificar, avaliar, planear, responder, monitorizar e controlar os riscos associados ao projeto (Peixoto et al., 2016). Na fase de identificação dos riscos devem ser considerados todos os riscos que podem afetar os objetivos do projeto, tendo em conta, porém, que durante o projeto poderão surgir novos riscos oriundos de decisões e ações tomadas e impostas externamente ao projeto. Posteriormente deverão ser avaliados qualitativamente todos os riscos identificados, de forma a estabelecer a probabilidade de os mesmos ocorrerem e, no caso de ocorrerem, qual o respetivo impacto que os mesmos podem causar no projeto. Paralelamente deve ser definido um plano de resposta aos riscos, que tem como objetivo desenvolver opções e definir possíveis ações para lidar e reduzir ameaças e explorar oportunidades associadas aos diversos riscos do projeto.

3.2 Modelos de Avaliação de Projetos

3.2.1 Valor Atual Líquido (VAL)

Este indicador permite avaliar a viabilidade de um projeto de investimento, representando o custo de oportunidade do capital. Permite determinar o valor presente de um conjunto de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juro aplicável, menos o valor de investimento inicial, ou seja, calcular o valor atual dos pagamentos futuros somados ao custo inicial do projeto. No caso de o valor de investimento ser inferior ao valor presente dos *cash-flows*, o VAL é positivo o que significa que o projeto apresenta uma rentabilidade positiva.

Para atualizar os *cash-flows* é necessário aplicar-lhes uma taxa de desconto, que corresponde à taxa de juros sem risco aliada ao prémio de risco estabelecido para o tipo de projeto em causa.

O VAL é calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{VAL} = \sum_{i=0}^n \frac{\text{CF}_i}{(1+t)^i}$$

Correspondendo CF_i ao *cash-flow* no ano i e t à taxa de desconto ou atualização (Barros, 1995).

3.2.2 Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)

A Taxa Interna de Rentabilidade ou TIR representa a taxa de juro que se for utilizada como taxa de desconto torna o Valor Atual Líquido nulo. Assume-se que conhecendo a taxa mínima de atratividade definida para o investidor para o projeto em questão, este será economicamente interessante se a TIR apresentar um valor mais alto do que o essa taxa mínima de atratividade.

A TIR é calculada por:

$$\text{VAL} = \sum_{i=0}^n \frac{\text{CF}_i}{(1+t)^i} = 0$$

Correspondendo CF_i ao *cash-flow* no ano i e t à taxa interna de rentabilidade (Barros, 1995).

3.2.3 Período de Retorno do Investimento (PRI)

O Período de Retorno de Investimento, também designado como *payback*, é o tempo que decorre entre a fase de investimento inicial e o momento em que o valor líquido acumulado iguala o valor desse mesmo investimento. O PRI pode ser de dois tipos: nominal ou simples e atual líquido ou composto. O PRI nominal é calculado com base em *cash-flows* nominais e o

PRI atual líquido é calculado com base em *cash-flows* atualizados. Assim sendo, para qualquer projeto de investimento existe um investimento inicial, seguido de um período de receitas líquidas, que irão permitir recuperar o capital investido, correspondendo o período de tempo necessário para as receitas cobrirem as despesas de investimento ao período de retorno de investimento.

O PRI é calculado pela seguinte fórmula:

$$PRI = T \text{ quando } \sum_{t=0}^T CF_t = I_0$$

Correspondendo PRI ao período de retorno do investimento, CF_t ao cash-flow total no ano t e I_0 ao cash-flow do investimento inicial (Barros, 1995).

3.2.4 Taxa Anual Nominal (TAN)

A taxa anual nominal é a taxa que normalmente surge em contratos de crédito e aplicações financeiras e tem como horizonte temporal um ano. No caso de um empréstimo a taxa variável, a taxa anual nominal é resultante da soma do indexante, acrescida do *spread* (margem financeira do banco). Nos casos de empréstimos a taxa fixa, esta é diretamente fixada pela entidade bancária (Mediador do Crédito, 2011).

3.2.5 Taxa Anual Efetiva (TAE)

No caso de um crédito envolver pagamento de seguros e comissões a somar à TAN, estes mesmos encargos são tidos em conta na taxa anual efetiva. Esta taxa é a medida que aproxima mais o custo do crédito do custo real para o cliente, no entanto ainda não considera encargos com impostos (Mediador do Crédito, 2011).

4 O CASO DE ESTUDO

4.1 Caracterização do projeto e do cliente

O caso em análise trata-se de um projeto que visa analisar a viabilidade da substituição das luminárias existentes no município de Viana do Castelo, em vias públicas previamente selecionadas pelo gabinete de gestão dos recursos energéticos da Câmara Municipal do mesmo município, por luminárias de tecnologia LED. A seleção das vias a serem estudadas neste projeto foi feita com base em vários indicadores, nomeadamente: o tempo de vida útil das luminárias presentes nessas vias, a identificação de locais com problemas de poluição luminosa, a estimativa dos consumos energéticos de cada via, o tráfego diário da via, entre outros. No entanto, o projeto apenas incidiu sobre as vias situadas nas localidades do centro do concelho, sendo estas: a Avenida Capitão Gaspar de Castro, a Rua da Bandeira, a Avenida 25 de Abril, a Rua do Carmo, a Via entre Santos, a Avenida Mateus Carvalhido, a Marginal (Anel Viário Sul), a Ponte Eiffel, a Estrada da Papanata, o Anel Viário Norte, a Avenida Cabo Verde, a Avenida do Atlântico, o Parque da Cidade e o Jardim da Marina. As duas últimas tratam-se de locais de recreio, pelo que as regras de classificação das vias públicas não são aplicáveis às mesmas.

No que diz respeito ao cliente, trata-se de uma Câmara Municipal, logo uma entidade pública, que devido aos consequentes cortes no orçamento que lhe é destinado anualmente, é forçada a efetuar cortes em todos os custos, pelo que o gabinete de gestão dos recursos energéticos tomou a iniciativa de propor um corte nos custos associados à energia nos sistemas de IP.

4.2 Objetivos propostos para o estudo de caso

Dados os encargos anuais que o município tem com a energia dispensada nos sistemas de IP, cerca de dois milhões de euros, correspondendo cento e setenta e oito mil euros ao consumo dos sistemas instalados nas vias públicas selecionadas para este projeto, ou seja, 9% do total, foi proposta a substituição dos atuais sistemas por sistemas mais eficientes, que possibilitem a regulação individual do fluxo luminoso de cada luminária. Tudo isto teria de ser conseguido num projeto tecnicamente e economicamente viável.

4.3 Estudo preliminar

4.3.1 Verificação da evolução dos custos associados ao sistema de IP e avaliação da eficácia das medidas de eficiência energética aplicadas

Antes de dar início ao projeto foi solicitado ao município de Viana do Castelo o histórico dos custos associados ao sistema de IP em estudo. O resultado da compilação destes dados encontra-se presente na tabela 4.1. As datas presentes na primeira linha da tabela correspondem à emissão da fatura de comercialização de energia elétrica por parte do fornecedor de energia. Os valores negativos representam acertos de contagem e faturação que foram realizados nesses períodos.

Tabela 4.1 - Custos associados ao sistema de IP em estudo (Preços c/IVA - €)

| | LOCAL | Mar 2011 | Jun 2011 | Set 2011 | Dez 2011 | Mar 2012 | Jun 2012 | Set 2012 | Dez 2012 | Abr 2013 | Jun 2013 | Set 2013 | Dez 2013 |
|-----|---|---------------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|
| 2 | AV 25 ABRIL, 39 IP PT0039 | 1789 | 1156 | 1164 | 2883 | 1307 | 1391 | 1795 | 1552 | 998 | 1014 | 1171 | 1171 |
| 3 | AV 25 ABRIL, 39 IP PT039 | 7070 | 1918 | 2495 | 2363 | 3375 | 1950 | 2660 | 3288 | 3918 | 3126 | 2675 | 2675 |
| 10 | AV CABO VERDE, 392 IP PT0392 | 577 | 145 | 358 | 418 | 614 | 332 | 242 | 489 | 573 | 370 | 431 | 431 |
| 11 | AV CABO VERDE, 496 PT0496 | 1498 | 1136 | 1087 | 1566 | 2053 | 1127 | 1464 | 1940 | 1967 | 1373 | 1363 | 1363 |
| 12 | AV CAP GASPAR DE CASTRO, 131 IP PT0131 | 1016 | 362 | 684 | 426 | 1011 | 533 | 711 | 807 | 879 | 712 | 608 | 608 |
| 23 | AV ROCHA PARIS , 4 IP PT0004 | 1185 | 648 | 825 | 477 | 978 | 553 | 578 | 925 | 859 | 641 | 699 | 699 |
| 423 | RUA MONSERRATE, 5 IP PT005 | 1351 | 1970 | 1070 | 910 | 1385 | 578 | 1090 | 1304 | 1378 | 1003 | 1105 | 1105 |
| 424 | RUA MONSERRATE, 548 IP PT0548 | - | - | - | 19 | 5583 | -776 | 489 | 1229 | 173 | 382 | 582 | 582 |
| 427 | RUA PD ALFREDO GUERREIRO, 371 IP PT0371 | 212 | 213 | 167 | 56 | 122 | 128 | 72 | 137 | 152 | 106 | - | - |
| 443 | RUA SAO JOSE, 6 IP PT0006 | 2755 | 1952 | 2232 | 1915 | 3156 | 1435 | 2364 | 2848 | 2907 | 2180 | 1849 | 1849 |
| 444 | RUA SAO JOSE, 6 IP PT006 | 7128 | -5907 | 2011 | 2074 | 1164 | 614 | 1156 | 1775 | 1388 | 1540 | 1889 | 1889 |
| 451 | RUA STA CLARA, 3 IP PT0003 | 2612 | 1096 | 1434 | 1830 | 2321 | 1323 | 1357 | 2287 | 1648 | 1028 | 1498 | 1498 |
| 452 | RUA TEN COR AFONSO PACO, 77 IP PT0077 | 1740 | 1970 | 1320 | 2000 | 3113 | 1420 | 2162 | 2721 | 2241 | 1618 | 4417 | 4417 |
| + | ... | | | | | | | | | | | | |
| | Encargos trimestrais | 59326 | 28324 | 35929 | 40468 | 57154 | 26607 | 37757 | 52159 | 49399 | 36918 | 39561 | 39561 |
| | Encargos anuais | 164.047,00 € | | | | 173.677,00 € | | | | 165.439,00 € | | | |

Nas linhas finais desta tabela é possível verificar a variação dos encargos anuais e a variação dos encargos trimestrais por cada um dos anos representados (considerando o ano e os trimestres do respetivo ano anterior como referência, foram representadas as subidas de encargos a vermelho e as descidas a cor verde).

O custo associado ao consumo de energia no sistema de IP instalado no município de Viana do Castelo (quatro freguesias urbanas) tem vindo a manter-se constante ao longo dos anos, mesmo desligando parte das luminárias em determinados períodos do dia. Isto deve-se principalmente à subida anual do valor da energia (custo por kWh), à ausência de uma manutenção adequada do sistema instalado, o que leva à degradação do mesmo e ao aumento do consumo, e ainda a situações de substituição de luminárias avariadas por novas luminárias de maior potência por parte da entidade responsável pela manutenção.

4.3.2 Identificação das Entidades e da Informação associada às mesmas

O levantamento de dados para realizar este projeto consistiu na recolha de informação correspondente aos parâmetros que se entenderam como essenciais para a caracterização completa da área de intervenção. Foram estas: o número de luminárias, a estimativa do tráfego diário, a largura da via, a altura das luminárias, o tipo de luminárias, o tipo e a potência da lâmpada e a distância entre luminárias. Os dados correspondentes a estes parâmetros encontram-se compilados na tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Dados relativos ao sistema de IP atual

| ID | Designação da Via | N.º de Luminárias | Tipologia da Via | Tráfego | Largura da Via (m) | Localização Luminárias | Altura das luminárias (m) | Tipo luminárias | Tipo Lâmpada | Distância entre Luminárias (m) |
|--------------|----------------------------------|-------------------|---|----------------|--------------------|------------------------|---------------------------|-----------------|--------------|--------------------------------|
| 1 | Avenida Capitão Gaspar de Castro | 76 | 2 Sentidos | Elevado | 15 | 2 Lados coincidentes | 8 | 1 Braço | VSAP | 30 |
| 2&3 | Rua da Bandeira | 30 | 2 Sentidos c/separador + faixas estacionamento + passeios | Elevado | 10 | No separador | 10 | 2 Braços | VSAP | 30 |
| 4&5 | Avenida 25 de Abril | 155 | 2 Sentidos (2 faixas/sentido) | Moderado Alto | 10 | 2 Lados coincidentes | 10 | 1 Braço | VSAP | 25 |
| 6 | Rua do Carmo | 16 | 2 Sentidos | Moderado | 6 | Apenas 1 lado | 10 | 1 Braço | VSAP | 20 |
| 7 | Via Entre Santos | 116 | 2 Sentidos | Moderado | 6 | 2 Lados coincidentes | 8 | 1 Braço | VSAP | 25 |
| 8 | Avenida Mateus Carvalhido | 78 | 2 Sentidos c/separador c/2 faixas p/sentido | Moderado | 6 P/ cada lado | No separador | 10 | 2 Braços | VSAP | 25 |
| 9 | Marginal (Anel Viário Sul) | 178 | 2 Faixas c/separador c/árvores | Moderado Alto | 5 P/cada lado | 2 Lados coincidentes | 8 | 1 Braço curto | VSAP | 25 |
| 10 | Ponte Eiffel | 35 | 2 Sentidos | Moderado Alto | 5 | Apenas 1 lado | 8 | 1 Braço | VSAP | 15 |
| 11 | Estrada da Papanata | 49 | 2 Sentidos (2 faixas/sentido) | Elevado | 12 | 2 Lados coincidentes | 10 | 1 Braço | VSAP | 40 |
| 12 | Anel Viário Norte | 89 | 2 Sentidos c/faixas estacionamento | Moderado | 10 | 2 Lados interpoladas | 6 | 1 Braço | VSAP | 10 |
| 13 | Avenida Cabo Verde | 41 | 2 Sentidos c/faixas estacionamento | Moderado Baixo | 12 | Apenas 1 lado | 10 | 1 Braço | VSAP | 20 |
| 14&15 | Avenida do Atlântico | 58 | 2 Sentidos + ciclovia + faixa estacionamento | Moderado | 10 | 2 Lados interpoladas | 10 | 1 Braço | VSAP | 15 |
| 16 | Parque da Cidade | 171 | Jardim, Parque | Muito Reduzido | | Aleatoriamente | 10 | 1 Braço | VSAP | 20 |
| 17&18 | Jardim da Marina | 54 | Jardim, Parque Infantil | Pedonal Apenas | 2 Vias de 5 m | Apenas 1 lado | 8 | 1 Braço curto | VSAP | 25 |
| Total | | 1146 | | | | | | | | |

4.3.3 Classificação das Vias Públicas

A classificação das vias públicas selecionadas foi realizada com base nos critérios e nas escalas atribuídas pelo Documento Referência para a Eficiência Energética na IP (ADENE, 2011). Os critérios e as escalas que são tidos em conta neste tipo de classificações encontram-se na tabela 4.3. Para cada via, a classe é obtida pela soma dos fatores correspondentes (velocidade, volume de tráfego, composição do trânsito, entre outros), sendo depois o resultado subtraído ao valor 6, nunca podendo ser obtido um valor fora do intervalo [0,6].

Assim, a classificação final das vias públicas quanto à iluminação (ME1 a ME6) é dada pela seguinte fórmula: $CF = 6 - (Arred(\sum_{i=1}^8 CII))$, sendo que CF representa a Classificação Final e CI representa os vários parâmetros de classificação intermédia representados na tabela 4.3.

As vias com classe ME1 são aquelas que têm maior necessidade de iluminação, com uma necessidade de luminância média de 2,00 cd/m² (a luminância é uma medida da densidade da intensidade da luz refletida em determinada direção, que traduz a quantidade de luz que atravessa ou é emitida por uma superfície, segundo um ângulo sólido. A unidade do SI é a candela por metro quadrado (cd/m²) (ADENE, 2011). As vias de classe ME2 apresentam uma necessidade de luminância média de 1,50 cd/m², diminuindo estes valores consecutivamente com a descida nas classes das vias. As necessidades de luminância média correspondente a cada classe encontram-se na tabela 4.4.

Tabela 4.3 - Critérios e respetivas escalas de Classificação das Vias Públicas quanto às Classes de Iluminação

| Parâmetro | Seleção das Classes de Iluminação - ME | | |
|--------------------------|--|--|---------------|
| | Opções | Escala | Fator de Peso |
| Velocidade | Muito Alta | Superior a 100 km/h | 1 |
| | Alta | Entre 70 e 100 km/h | 0,5 |
| | Moderada ou Reduzida | Entre 0 e 70 km/h | 0 |
| Volume de Tráfego | Muito Elevado | Superior a 40.000 veículos/dia | 1 |
| | Alto | Entre 25.000 e 40.000 veículos/dia | 0,5 |
| | Moderado | Entre 15.000 e 25.000 veículos/dia | 0 |
| | Baixo | Entre 4.000 e 15.000 veículos/dia | - 0,5 |
| | Muito Baixo | Inferior a 4.000 veículos/dia | - 1 |
| Composição do Tráfego | Elevada percentagem de não motorizados | | 2 |
| | Misturado | | 1 |
| | Apenas Motorizado | | 0 |
| Separação das Faixas | Não | | 1 |
| | Sim | | 0 |
| Densidade de Cruzamentos | Alta | | 1 |
| | Moderada | | 0 |
| Veículos Estacionados | Presente | | 1 |
| | Não Presente | | 0 |
| Luminância Ambiente | Alta | Centros urbanos, presença de iluminação decorativa circundante, montras, ou outro tipo de iluminação | 1 |
| | Moderada | Presença de iluminação sinalética, <i>spots</i> publicitários, ou iluminação residencial | 0 |
| | Baixa | Zonas rurais, apenas com IP | - 1 |
| Controlo do Tráfego | Fraco | Com pouca sinalização ou até mesmo ausente da mesma | 0,5 |
| | Moderado ou Bom | Com sinalização luminosa ou de outro tipo | 0 |

Tabela 4.4 - Necessidades de Luminância Média por Classe da Via

| Classe da Via | Luminância Média (cd/m ²) |
|---------------|---------------------------------------|
| ME1 | 2,00 |
| ME2 | 1,50 |
| ME3 | 1,00 |
| ME4 | 0,75 |
| ME5 | 0,50 |
| ME6 | 0,30 |

Após a classificação das vias, concluiu-se que grande parte destas são de classe ME3 ou inferior, devido ao facto de se tratar de uma cidade com pouco tráfego, com limites de velocidade de 50km/h em grande parte das mesmas, com grande controlo de tráfego e com poucos cruzamentos.

As classes de iluminação das vias públicas seleccionadas encontram-se definidas na tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Classes de iluminação das várias vias públicas selecionadas

| Seleção das Classes de Iluminação – ME | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------|------|
| Vias | Velocidade | Volume de Tráfego | Composição do Tráfego | Separação das Faixas | Densidade de Cruzamentos | Veículos Estacionados | Luminância Ambiente | Controlo do Tráfego | Classificação Final | Classe da Pista de Rodagem | Classe da Pista de Encostamento | Classe do Passeio | |
| 1 | Avenida Capitão Gaspar de Castro | 0 | 0,5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | ME4 | N.a. | S4 |
| 2 | Rua da Bandeira | 0 | 0,5 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | ME3 | S2 | S4 |
| 3 | Rua da Bandeira | 0 | 0,5 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | ME3 | S2 | S4 |
| 4 | Avenida 25 de Abril | 0 | 0,5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 3 | ME3 | N.a. | S4 |
| 5 | Avenida 25 de Abril | 0 | 0,5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 3 | ME3 | N.a. | S4 |
| 6 | Rua do Carmo | 0 | -0,5 | 0 | 1 | 1 | 1 | -1 | 0 | 5 | ME5 | N.a. | S4 |
| 7 | Via Entre Santos | 0 | -0,5 | 0 | 1 | 1 | 0 | -1 | 0 | 6 | ME6 | N.a. | S6 |
| 8 | Avenida Mateus Carvalhido | 0 | -0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 7 | ME6 | N.a. | S5 |
| 9 | Marginal (Anel Viário Sul) | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | ME5 | N.a. | S3 |
| 10 | Ponte Eiffel | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | ME4 | N.a. | S4 |
| 11 | Estrada da Papanata | 0 | 0,5 | 0 | 1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 6 | ME6 | N.a. | N.a. |
| 12 | Anel Viário Norte | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | ME3 | N.a. | S4 |
| 13 | Avenida Cabo Verde | 0 | -1 | 0 | 1 | 1 | 1 | -1 | 0 | 5 | ME5 | S3 | S6 |
| 14 | Avenida do Atlântico | 0 | -0,5 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4 | ME4 | S2 | S3 |
| 15 | Avenida do Atlântico | 0 | -0,5 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4 | ME4 | S2 | S3 |
| 16 | Parque da Cidade | 0 | -1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | ME3 | N.a. | N.a. |
| 17 | Jardim da Marina | 0 | -1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | ME4 | N.a. | N.a. |
| 18 | Jardim da Marina | 0 | -1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | ME4 | N.a. | N.a. |

4.3.4 Medições ao equipamento e horário de funcionamento

Foram efetuadas medições em três das vias públicas abrangidas pelo projeto, de forma a identificar quais os consumos reais das luminárias instaladas e a partir daí calcular as potências reais médias para as luminárias de 150W e de 250W e efetuar as devidas correções no projeto.

Inicialmente no estudo estava-se a considerar uma potência média estimada de 176W para as luminárias de 150W e 294W para as luminárias de 250W, considerando um rendimento médio de 85% para ambas as gamas de luminárias. Após realizadas as medições, corrigiram-se os valores de potência para os 197W e 291W, respetivamente, para um rendimento médio de 76% e 86%.

Para além disso foram realizados ensaios luminotécnicos, onde foi possível identificar que existia excesso de iluminação em determinadas vias públicas, no entanto este excesso deve-se a uma baixa uniformidade luminosa, estando o ponto imediatamente abaixo da luminária muito iluminado e os pontos mais afastados com uma fraca iluminação. Isto deve-se ao facto dos obstáculos presentes entre as luminárias, nomeadamente árvores, que afetam a distribuição da luz, e também ao facto dos espelhos das luminárias serem na sua maioria planos e não curvos.

Com base nas horas astronómicas do nascer e do pôr-do-sol em Viana do Castelo e um *delay* de 15 minutos na (des)ligação das luminárias, calculou-se as horas de funcionamento médio diário por quinzena, de forma a obter finalmente o número médio de horas de funcionamento diário ao longo de todo o ano, como se pode verificar na tabela 4.6 (exemplo da 1.^a quinzena de Janeiro: nascer do Sol: 08:07, desligação das luminárias: 07:52; pôr-do-sol:17:08, ligação das luminárias: 17:23).

Tabela 4.6 - Horas de funcionamento médio das luminárias por período do ano

| Mês | Dia | On | Off | Horas de Funcionamento |
|------------|------------|-----------|------------|-------------------------------|
| Janeiro | 1 | 17:23 | 07:52 | 14:29 |
| | 15 | 17:37 | 07:51 | 14:14 |
| Fevereiro | 1 | 17:58 | 07:40 | 13:42 |
| | 15 | 18:17 | 07:23 | 13:06 |
| Março | 1 | 18:33 | 07:03 | 12:30 |
| | 15 | 18:50 | 06:39 | 11:49 |
| Abril | 1 | 19:08 | 06:10 | 11:02 |
| | 15 | 19:24 | 05:48 | 10:24 |
| Maio | 1 | 19:41 | 05:24 | 9:43 |
| | 15 | 19:56 | 05:07 | 9:11 |
| Junho | 1 | 20:12 | 04:54 | 8:42 |
| | 15 | 20:20 | 04:50 | 8:30 |
| Julho | 1 | 20:23 | 04:53 | 8:30 |
| | 15 | 20:19 | 05:02 | 8:43 |
| Agosto | 1 | 20:06 | 05:17 | 9:11 |
| | 15 | 19:48 | 05:31 | 9:43 |
| Setembro | 1 | 19:23 | 05:48 | 10:25 |
| | 15 | 18:58 | 06:02 | 11:04 |
| Outubro | 1 | 18:31 | 06:19 | 11:48 |
| | 15 | 18:08 | 06:34 | 12:26 |
| Novembro | 1 | 17:42 | 06:55 | 13:13 |
| | 15 | 17:26 | 07:11 | 13:45 |
| Dezembro | 1 | 17:16 | 07:31 | 14:15 |
| | 15 | 17:15 | 07:44 | 14:29 |

| | |
|--------------|-----------|
| Total | 274:54:00 |
|--------------|-----------|

| | |
|-------------------------------|----------|
| Média de horas por dia | 11:27:15 |
|-------------------------------|----------|

4.3.5 Cálculo do consumo de energia do sistema atual

Tendo em conta os horários de funcionamento apresentados na tabela 4.6 e depois de definido o rendimento das luminárias, partiu-se para o cálculo do consumo de energia do sistema atual, tendo-se obtido os resultados presentes na tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Consumo de energia associado às luminárias do sistema atual

| Vias Públicas | Lâmpadas VSAP | | | Potência instalada atual (W) | | | Energia diária (kWh) | | | Energia anual (kWh) | | |
|----------------------------------|---------------|------|-------|------------------------------|------|----------|----------------------|------|--------|---------------------|-------|----------|
| | 150W | 250W | Total | 150W | 250W | Total | 150W | 250W | Total | 150W | 250W | Total |
| Avenida Capitão Gaspar de Castro | 76 | | 76 | 15000,0 | 0,0 | 15000,0 | 171,8 | 0,0 | 171,8 | 62688,8 | 0,0 | 62688,8 |
| Rua da Bandeira | 15 | | 15 | 2960,5 | 0,0 | 2960,5 | 33,9 | 0,0 | 33,9 | 12372,8 | 0,0 | 12372,8 |
| Rua da Bandeira | 15 | | 15 | 2960,5 | 0,0 | 2960,5 | 33,9 | 0,0 | 33,9 | 12372,8 | 0,0 | 12372,8 |
| Avenida 25 de Abril | 70 | | 70 | 13815,8 | 0,0 | 13815,8 | 158,2 | 0,0 | 158,2 | 57739,6 | 0,0 | 57739,6 |
| Avenida 25 de Abril | 85 | | 85 | 16776,3 | 0,0 | 16776,3 | 192,1 | 0,0 | 192,1 | 70112,4 | 0,0 | 70112,4 |
| Rua do Carmo | 16 | | 16 | 3157,9 | 0,0 | 3157,9 | 36,2 | 0,0 | 36,2 | 13197,6 | 0,0 | 13197,6 |
| Via Entre Santos | 116 | | 116 | 22894,7 | 0,0 | 22894,7 | 262,1 | 0,0 | 262,1 | 95682,8 | 0,0 | 95682,8 |
| Avenida Mateus Carvalhido | 78 | | 78 | 15394,7 | 0,0 | 15394,7 | 176,3 | 0,0 | 176,3 | 64338,5 | 0,0 | 64338,5 |
| Marginal (Anel Viário Sul) | 178 | | 178 | 35131,6 | 0,0 | 35131,6 | 402,3 | 0,0 | 402,3 | 146823,7 | 0,0 | 146823,7 |
| Ponte Eiffel | 35 | | 35 | 6907,9 | 0,0 | 6907,9 | 79,1 | 0,0 | 79,1 | 28869,8 | 0,0 | 28869,8 |
| Estrada da Papanata | 49 | | 49 | 9671,1 | 0,0 | 9671,1 | 110,7 | 0,0 | 110,7 | 40417,7 | 0,0 | 40417,7 |
| Anel Viário Norte | 89 | | 89 | 17565,8 | 0,0 | 17565,8 | 201,1 | 0,0 | 201,1 | 73411,8 | 0,0 | 73411,8 |
| Avenida Cabo Verde | 41 | | 41 | 8092,1 | 0,0 | 8092,1 | 92,7 | 0,0 | 92,7 | 33818,9 | 0,0 | 33818,9 |
| Avenida do Atlântico | | 45 | 45 | 0,0 | 38,7 | 38,7 | 0,0 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 161,7 | 161,7 |
| Avenida do Atlântico | 13 | | 13 | 2565,8 | 0,0 | 2565,8 | 29,4 | 0,0 | 29,4 | 10723,1 | 0,0 | 10723,1 |
| Parque da Cidade | 171 | | 171 | 33750,0 | 0,0 | 33750,0 | 386,4 | 0,0 | 386,4 | 141049,7 | 0,0 | 141049,7 |
| Jardim da Marina | 27 | | 27 | 5328,9 | 0,0 | 5328,9 | 61,0 | 0,0 | 61,0 | 22271,0 | 0,0 | 22271,0 |
| Jardim da Marina | 27 | | 27 | 5328,9 | 0,0 | 5328,9 | 61,0 | 0,0 | 61,0 | 22271,0 | 0,0 | 22271,0 |
| Total | 1101 | 45 | 1146 | 217302,6 | 38,7 | 217341,3 | 2488,1 | 0,4 | 2488,6 | 908162,0 | 161,7 | 908323,8 |

4.3.6 Dimensionamento da nova solução


Para o dimensionamento da nova solução de IP optou-se pela gama de luminárias *Streetlight 30* da *Osram* (empresa subsidiária da Siemens), pelo facto de se tratarem das luminárias LED tecnologicamente mais avançadas e com melhor relação qualidade/preço que a Siemens produz.

A gama de potência destas luminárias é bastante ampla, desde os 27W até os 141W e desde os 2.795lm até aos 14.900lm, mantendo uma eficiência aproximada de 105lm/W (conforme se pode verificar na figura 4.1), permitindo conceber um projeto com o mesmo tipo de luminária e com potências bastante distintas, conforme as exigências em termos de luminosidade do local ou via pública seleccionada.

Além disso, cada uma destas luminárias vem equipada com um módulo de regulação de fluxo independente e integrado na própria luminária. Este módulo permite fazer um ajuste individual do fluxo luminoso de cada luminária em função do horário de funcionamento da mesma. Este módulo pode ser ativado ou não, sendo que caso seja ativado permite uma redução da diferença de potencial entre os dois pontos de alimentação do circuito de alimentação da lâmpada, o que leva a uma queda da corrente elétrica consumida e consequentemente a uma queda no consumo de energia.

Streetlight 30 LED
Lighttechnical data

Preliminary DATA



| Streetlight 30 | | | | | |
|----------------|-------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------|
| EAN | IC Code | Type | Preliminary luminous flux [lm] | Preliminary system power [W] | Efficiency [lm/W] |
| 4050737701028 | AA6807900AG | SL 30 | 2.795 | 27 | 104 |
| 4050737703619 | AA6808500AG | SL 30, 3 dimm functions | 4.655 | 44 | 106 |
| 4050737703510 | AA6808000AG | SL 30 | 7.440 | 71 | 105 |
| 4050737703640 | AA6808600AG | SL 30, 3 dimm functions | 9.310 | 88 | 106 |
| 4050737703534 | AA6808100AG | SL 30 | 11.175 | 106 | 105 |
| 4050737703657 | AA6808700AG | SL 30, 3 dimm functions | 14.900 | 141 | 106 |
| 4050737703558 | AA6808200AG | SL 30 | | | |
| 4050737703671 | AA6808800AG | SL 30, 3 dimm functions | | | |
| 4050737703572 | AA6808300AG | SL 30 | | | |
| 4050737703695 | AA6808900AG | SL 30, 3 dimm functions | | | |
| 4050737703596 | AA6808400AG | SL 30 | | | |
| 4050737703718 | AA6809000AG | SL 30, 3 dimm functions | | | |

24.02.2014
LUM Professional | Streetlight 30 LED | Basic Presentation | PM Manuela Miggé

sireco OSRAM

Figura 4.1 - Gama *Streetlight 30* (Fonte: Siteco, 2014)

Na figura 4.2 estão representados os dados de entrada que surgem na ficha técnica da luminária *Streetlight 30* da *Osram*, no *software* de dimensionamento *Relux*. Para além da informação técnica disponibilizada pelo fabricante é possível verificar ainda o diagrama fotométrico ou polar da luminária em questão, que representa no espaço a intensidade luminosa que é propagada em cada direção pela lâmpada.

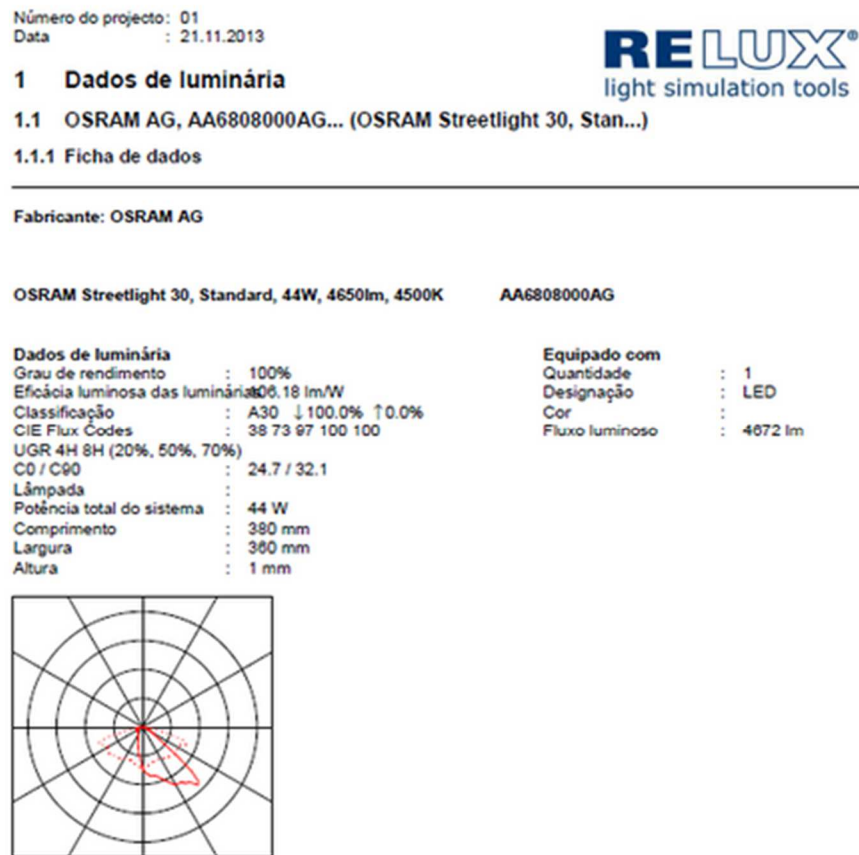


Figura 4.2 - Dados técnicos da luminária *Streetlight 30*, 44W

Após identificadas as luminárias a utilizar na solução LED e recorrendo ao *software* de dimensionamento *Relux* (*software* aplicativo de carácter livre, da autoria do fabricante Relux) (Relux, 2012), é possível identificar a potência mínima das luminárias a instalar para uma das vias públicas seleccionadas. Este *software* é um simulador de sistemas de iluminação, mais indicado para soluções de ambiente exterior. Para efetuar a simulação de uma determinada solução de iluminação é necessário introduzir todos os elementos conhecidos da via pública em estudo (perfil da estrada, largura, tipo de material do piso, tipo de luminária a simular, distância entre luminárias, entre outros dados). A figura abaixo mostra a janela de introdução dos dados necessários para o estudo.

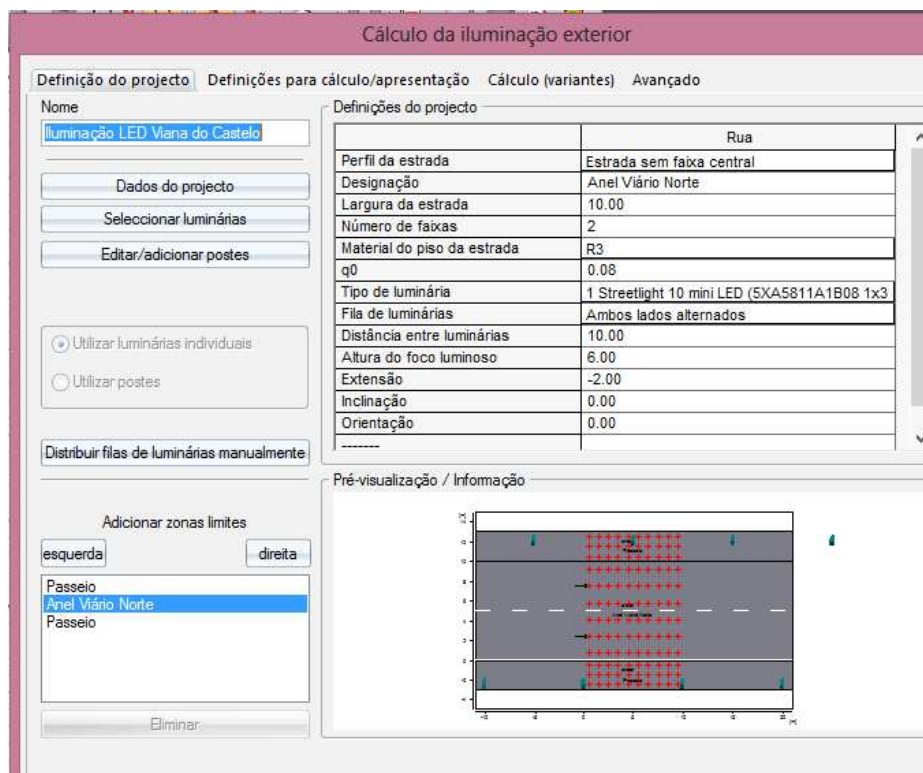
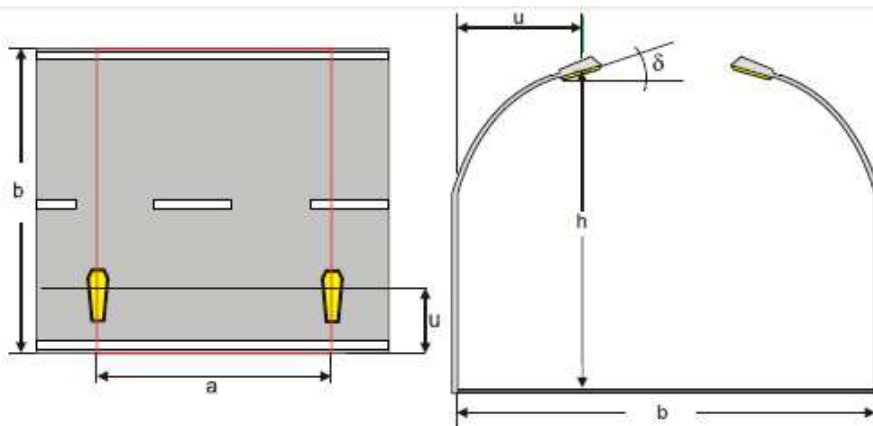


Figura 4.3 – Dados de entrada para a simulação no software Relux

Após serem introduzidos todos os dados conhecidos é efetuada a simulação, sendo produzidos vários resultados, como uma perspetiva 3D da nova solução na via em estudo e o mapa geral de resultados da solução testada. Este mapa tem uma configuração idêntica ao apresentado na Figura 4.4. Neste mapa é possível verificar se estão a ser cumpridos os requisitos mínimos de uniformidade e conforto luminosos, mediante a classificação que a via em estudo apresenta (classe ME) e a performance que as luminárias seleccionadas iriam apresentar nessa aplicação.



Dados de luminária

Modelo : Siteco
 Nº de artigo : 5XA5811A1B08/
 Nome/designação : Streetlight 10 mini LED
 Equipado com : 1 x LED 5000K / CRI >= 70 35 W / 3070 lm

| | |
|---|--|
| Perfil da estrada : sem separação de vias | Colocação de luminárias : Ambos lados alternados |
| Largura da via (b): 10.00 m | Altura do foco luminoso (h): 6.00 m |
| Nº de faixas : 2 | Distância entre luminárias (a): 10.00 m |
| Material do piso da estrada: R3 | Extensão da luminária (u): -2.00 m |
| q0 : 0.08 | Inclinação da luminária (δ): 0.00° |
| Condução à direita | Factor de manutenção : 1.00 |

Luminância

Localização do observador 1 : x=-80.00m, y=2.50m, z=1.50m
 Médio : 2.47 cd/m² (ME3a 1 mín)
 Uo (mín./média) : 0.79 (ME3a 0.4 mín)

Localização do observador 2 : x=-80.00m, y=7.50m, z=1.50m
 Médio : 2.47 cd/m² (ME3a 1 mín)
 Uo (mín./média) : 0.79 (ME3a 0.4 mín)

Uniformidade longitudinal

UI (B1: x = -80.00, y = 2.50, z = 1.50) : 0.93 (ME3a 0.7 mín)
 UI (B2: x = -80.00, y = 7.50, z = 1.50) : 0.93 (ME3a 0.7 mín)

Encandeamento/luminosidade ambiente

TI (B2: y=7.50m) : 5 % (ME3a 15 máx)
 SR : 0.53 (ME3a 0.5 mín)

Figura 4.4 - Relatório dos resultados da simulação efetuada pelo software Relux

A tabela 4.8 mostra a potência que seria instalada por via pública com a nova solução LED, sem regulação de fluxo, e a potência total instalada no conjunto das vias. Na tabela 4.9 apresenta-se a energia consumida, por quinzena, pelos sistemas de iluminação LED a instalar nas vias públicas em análise (não considerando qualquer tipo de regulação de fluxo).

Tendo em conta a notável baixa de tráfego a partir das 0h na cidade de Viana do Castelo na grande maioria dos dias do ano, considerou-se que o mais adequado seria reduzir o fluxo luminoso para 50%, desde as 0h até à hora de desligação das luminárias, em todos os sistemas projetados, resultando numa redução em igual proporção na potência. Assim, refez-se os cálculos considerando esta redução. Os resultados das potências e da energia consumida encontram-se nas tabelas 4.10 e 4.11, respetivamente.

Tabela 4.8 - Solução LED sem Regulação de Fluxo – Potência

| Lâmpadas VSAP | | | | | | Até às 00h | | | | Depois das 00h | | | |
|------------------------------|----------|----------|-------------|-----------|-------------|-------------------|--------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|-------------|--------------|
| | | | | | | Potência 100% (W) | | | | Potência 100% (W) | | | |
| | 70W | 100W | 150W | 250 W | Total | SL30 -27 | SL30 -44 | SL30 -70 | Total | SL30 -27 | SL30 -44 | SL30 -70 | Total |
| Av. Capitão Gaspar de Castro | | | 76 | | 76 | 2052 | 0 | 0 | 2052 | 2052 | 0 | 0 | 2052 |
| Rua da Bandeira | | | 15 | | 15 | 0 | 0 | 1050 | 1050 | 0 | 0 | 1050 | 1050 |
| Rua da Bandeira | | | 15 | | 15 | 0 | 0 | 1050 | 1050 | 0 | 0 | 1050 | 1050 |
| Av. 25 de Abril | | | 70 | | 70 | 0 | 3080 | 0 | 3080 | 0 | 3080 | 0 | 3080 |
| Av. 25 de Abril | | | 85 | | 85 | 0 | 3740 | 0 | 3740 | 0 | 3740 | 0 | 3740 |
| Rua do Carmo | | | 16 | | 16 | 432 | 0 | 0 | 432 | 432 | 0 | 0 | 432 |
| Via Entre Santos | | | 116 | | 116 | 3132 | 0 | 0 | 3132 | 3132 | 0 | 0 | 3132 |
| Av. Mateus Carvalhido | | | 78 | | 78 | 2106 | 0 | 0 | 2106 | 2106 | 0 | 0 | 2106 |
| Marginal (Anel Viário sul) | | | 178 | | 178 | 0 | 7832 | 0 | 7832 | 0 | 7832 | 0 | 7832 |
| Ponte Eiffel | | | 35 | | 35 | 945 | 0 | 0 | 945 | 945 | 0 | 0 | 945 |
| Estrada da Papanata | | | 49 | | 49 | 1323 | 0 | 0 | 1323 | 1323 | 0 | 0 | 1323 |
| Anel viário do Norte | | | 89 | | 89 | 2403 | 0 | 0 | 2403 | 2403 | 0 | 0 | 2403 |
| Av. Cabo Verde | | | 41 | | 41 | 1107 | 0 | 0 | 1107 | 1107 | 0 | 0 | 1107 |
| Av. Do Atlântico | | | | 45 | 45 | 1215 | 0 | 0 | 1215 | 1215 | 0 | 0 | 1215 |
| Av. Do Atlântico | | | 13 | | 13 | 351 | 0 | 0 | 351 | 351 | 0 | 0 | 351 |
| Parque da Cidade | | | 171 | | 171 | 4617 | 0 | 0 | 4617 | 4617 | 0 | 0 | 4617 |
| Jardim da Marina | | | 27 | | 27 | 729 | 0 | 0 | 729 | 729 | 0 | 0 | 729 |
| Jardim da Marina | | | 27 | | 27 | 729 | 0 | 0 | 729 | 729 | 0 | 0 | 729 |
| Total | 0 | 0 | 1101 | 45 | 1146 | 21141 | 14652 | 2100 | 37893 | 21141 | 14652 | 2100 | 37893 |

Na tabela 4.8 está também representada a equivalência entre as luminárias de Vapor de Sódio de Alta Pressão e a luminária correspondente em tecnologia LED em cada uma das vias públicas analisadas, segundo cálculos de dimensionamento do software de simulação. As marcações a cor representam essa mesma correspondência. Por exemplo, no caso da Av. Capitão Gaspar de Castro, para obter-se os parâmetros mínimos de qualidade de IP é necessário proceder à instalação de luminárias do tipo SL30 (27W) no mesmo número de luminárias atualmente instaladas nessa mesma via (76Un.), perfazendo um total de 2052W a instalar.

Tabela 4.9 - Solução LED sem Regulação de Fluxo – Energia Consumida

| Mês | Dia | Horas de funcionamento | | | | | | | Energia Consumida | |
|--------------|-----|------------------------|-------|----------------|------------|----------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------|----------------------|
| | | On | Off | Total de horas | Até às 00h | Depois das 00h | Até às 00h (h) (formato decimal) | Depois das 00h (h) (formato decimal) | Até as 00h (kWh) | Depois das 00h (kWh) |
| Janeiro | 1 | 17:23 | 07:52 | 14:29 | 06:37 | 07:52 | 6,62 | 7,87 | 3 512 | 4 175 |
| | 15 | 17:37 | 07:51 | 14:14 | 06:23 | 07:51 | 6,38 | 7,85 | 4 110 | 5 057 |
| Fevereiro | 1 | 17:58 | 07:40 | 13:42 | 06:02 | 07:40 | 6,03 | 7,67 | 3 199 | 4 069 |
| | 15 | 18:17 | 07:23 | 13:06 | 05:43 | 07:23 | 5,72 | 7,38 | 3 035 | 3 915 |
| Março | 1 | 18:33 | 07:03 | 12:30 | 05:27 | 07:03 | 5,45 | 7,05 | 2 891 | 3 740 |
| | 15 | 18:50 | 06:39 | 11:49 | 05:10 | 06:39 | 5,17 | 6,65 | 3 330 | 4 284 |
| Abril | 1 | 19:08 | 06:10 | 11:02 | 04:52 | 06:10 | 4,87 | 6,17 | 2 584 | 3 273 |
| | 15 | 19:24 | 05:48 | 10:24 | 04:36 | 05:48 | 4,60 | 5,80 | 2 789 | 3 517 |
| Maio | 1 | 19:41 | 05:24 | 09:43 | 04:19 | 05:24 | 4,32 | 5,40 | 2 292 | 2 865 |
| | 15 | 19:56 | 05:07 | 09:11 | 04:04 | 05:07 | 4,07 | 5,12 | 2 622 | 3 298 |
| Junho | 1 | 20:12 | 04:54 | 08:42 | 03:48 | 04:54 | 3,80 | 4,90 | 2 016 | 2 600 |
| | 15 | 20:20 | 04:50 | 08:30 | 03:40 | 04:50 | 3,67 | 4,83 | 2 225 | 2 928 |
| Julho | 1 | 20:23 | 04:53 | 08:30 | 03:37 | 04:53 | 3,62 | 4,88 | 1 920 | 2 589 |
| | 15 | 20:19 | 05:02 | 08:43 | 03:41 | 05:02 | 3,68 | 5,03 | 2 371 | 3 240 |
| Agosto | 1 | 20:06 | 05:17 | 09:11 | 03:54 | 05:17 | 3,90 | 5,28 | 2 069 | 2 801 |
| | 15 | 19:48 | 05:31 | 09:43 | 04:12 | 05:31 | 4,20 | 5,52 | 2 706 | 3 556 |
| Setembro | 1 | 19:23 | 05:48 | 10:25 | 04:37 | 05:48 | 4,62 | 5,80 | 2 451 | 3 077 |
| | 15 | 18:58 | 06:02 | 11:04 | 05:02 | 06:02 | 5,03 | 6,03 | 3 050 | 3 656 |
| Outubro | 1 | 18:31 | 06:19 | 11:48 | 05:29 | 06:19 | 5,48 | 6,32 | 2 907 | 3 353 |
| | 15 | 18:08 | 06:34 | 12:26 | 05:52 | 06:34 | 5,87 | 6,57 | 3 781 | 4 232 |
| Novembro | 1 | 17:42 | 06:55 | 13:13 | 06:18 | 06:55 | 6,30 | 6,92 | 3 342 | 3 671 |
| | 15 | 17:26 | 07:11 | 13:45 | 06:34 | 07:11 | 6,57 | 7,18 | 3 983 | 4 353 |
| Dezembro | 1 | 17:16 | 07:31 | 14:15 | 06:44 | 07:31 | 6,73 | 7,52 | 3 570 | 3 989 |
| | 15 | 17:15 | 07:44 | 14:29 | 06:45 | 07:44 | 6,75 | 7,73 | 4 348 | 4 980 |
| Total | | | | | | | | | 71 103 | 87 218 |

Na tabela acima calculou-se o consumo de energia elétrica por quinzena, multiplicando o total da potência instalada (tabela 4.8) pelo número de horas de funcionamento das luminárias no intervalo definido em cada dia e pelo número de dias de cada quinzena.

Tabela 4.10 - Solução LED com Regulação de Fluxo – Potência

| Lâmpadas VSAP | | | | | | Até às 00h | | | | Depois das 00h | | | |
|------------------------------|----------|----------|-------------|-----------|-------------|-------------------|--------------|-------------|--------------|------------------|-------------|-------------|--------------|
| | | | | | | Potência 100% (W) | | | | Potência 50% (W) | | | |
| | 70W | 100W | 150W | 250 W | Total | SL30 -27 | SL30 -44 | SL30 -70 | Total | SL30 -27 | SL30 -44 | SL30 -70 | Total |
| Av. Capitão Gaspar de Castro | | | 76 | | 76 | 2052 | 0 | 0 | 2052 | 1026 | 0 | 0 | 1026 |
| Rua da Bandeira | | | 15 | | 15 | 0 | 0 | 1050 | 1050 | 0 | 0 | 525 | 525 |
| Rua da Bandeira | | | 15 | | 15 | 0 | 0 | 1050 | 1050 | 0 | 0 | 525 | 525 |
| Av. 25 de Abril | | | 70 | | 70 | 0 | 3080 | 0 | 3080 | 0 | 1540 | 0 | 1540 |
| Av. 25 de Abril | | | 85 | | 85 | 0 | 3740 | 0 | 3740 | 0 | 1870 | 0 | 1870 |
| Rua do Carmo | | | 16 | | 16 | 432 | 0 | 0 | 432 | 216 | 0 | 0 | 216 |
| Via Entre Santos | | | 116 | | 116 | 3132 | 0 | 0 | 3132 | 1566 | 0 | 0 | 1566 |
| Av. Mateus Carvalhido | | | 78 | | 78 | 2106 | 0 | 0 | 2106 | 1053 | 0 | 0 | 1053 |
| Marginal (Anel Viário sul) | | | 178 | | 178 | 0 | 7832 | 0 | 7832 | 0 | 3916 | 0 | 3916 |
| Ponte Eiffel | | | 35 | | 35 | 945 | 0 | 0 | 945 | 473 | 0 | 0 | 473 |
| Estrada da Papanata | | | 49 | | 49 | 1323 | 0 | 0 | 1323 | 662 | 0 | 0 | 662 |
| Anel viário do Norte | | | 89 | | 89 | 2403 | 0 | 0 | 2403 | 1202 | 0 | 0 | 1202 |
| Av. Cabo Verde | | | 41 | | 41 | 1107 | 0 | 0 | 1107 | 554 | 0 | 0 | 554 |
| Av. Do Atlântico | | | | 45 | 45 | 1215 | 0 | 0 | 1215 | 608 | 0 | 0 | 608 |
| Av. Do Atlântico | | | 13 | | 13 | 351 | 0 | 0 | 351 | 176 | 0 | 0 | 176 |
| Parque da Cidade | | | 171 | | 171 | 4617 | 0 | 0 | 4617 | 2309 | 0 | 0 | 2309 |
| Jardim da Marina | | | 27 | | 27 | 729 | 0 | 0 | 729 | 365 | 0 | 0 | 365 |
| Jardim da Marina | | | 27 | | 27 | 729 | 0 | 0 | 729 | 365 | 0 | 0 | 365 |
| Total | 0 | 0 | 1101 | 45 | 1146 | 21141 | 14652 | 2100 | 37893 | 10575 | 7326 | 1050 | 18951 |

Na tabela 4.10 realizou-se o mesmo procedimento da tabela 4.8, acrescentando o facto de, no horário posterior às 0H, ter-se efetuado um corte de 50% da energia utilizada devido à aplicação da redução de fluxo nas luminárias LED a instalar.

Tabela 4.11 - Solução LED com Regulação de Fluxo – Energia Consumida

| Mês | Dia | Horas de funcionamento | | | | | | | Energia Consumida | |
|--------------|-----|------------------------|------------|----------------|------------|----------------|----------------|--------------------|-------------------|----------------------|
| | | <i>On</i> | <i>Off</i> | Total de horas | Até às 00h | Depois das 00h | Até às 00h (h) | Depois das 00h (h) | Até as 00h (kWh) | Depois das 00h (kWh) |
| Janeiro | 1 | 17:23 | 07:52 | 14:29 | 06:37 | 07:52 | 6,62 | 7,87 | 3 512 | 2 088 |
| | 15 | 17:37 | 07:51 | 14:14 | 06:23 | 07:51 | 6,38 | 7,85 | 4 110 | 2 528 |
| Fevereiro | 1 | 17:58 | 07:40 | 13:42 | 06:02 | 07:40 | 6,03 | 7,67 | 3 199 | 2 035 |
| | 15 | 18:17 | 07:23 | 13:06 | 05:43 | 07:23 | 5,72 | 7,38 | 3 035 | 1 958 |
| Março | 1 | 18:33 | 07:03 | 12:30 | 05:27 | 07:03 | 5,45 | 7,05 | 2 891 | 1 870 |
| | 15 | 18:50 | 06:39 | 11:49 | 05:10 | 06:39 | 5,17 | 6,65 | 3 330 | 2 142 |
| Abril | 1 | 19:08 | 06:10 | 11:02 | 04:52 | 06:10 | 4,87 | 6,17 | 2 584 | 1 637 |
| | 15 | 19:24 | 05:48 | 10:24 | 04:36 | 05:48 | 4,60 | 5,80 | 2 789 | 1 758 |
| Maio | 1 | 19:41 | 05:24 | 09:43 | 04:19 | 05:24 | 4,32 | 5,40 | 2 292 | 1 432 |
| | 15 | 19:56 | 05:07 | 09:11 | 04:04 | 05:07 | 4,07 | 5,12 | 2 622 | 1 649 |
| Junho | 1 | 20:12 | 04:54 | 08:42 | 03:48 | 04:54 | 3,80 | 4,90 | 2 016 | 1 300 |
| | 15 | 20:20 | 04:50 | 08:30 | 03:40 | 04:50 | 3,67 | 4,83 | 2 225 | 1 464 |
| Julho | 1 | 20:23 | 04:53 | 08:30 | 03:37 | 04:53 | 3,62 | 4,88 | 1 920 | 1 294 |
| | 15 | 20:19 | 05:02 | 08:43 | 03:41 | 05:02 | 3,68 | 5,03 | 2 371 | 1 620 |
| Agosto | 1 | 20:06 | 05:17 | 09:11 | 03:54 | 05:17 | 3,90 | 5,28 | 2 069 | 1 401 |
| | 15 | 19:48 | 05:31 | 09:43 | 04:12 | 05:31 | 4,20 | 5,52 | 2 706 | 1 778 |
| Setembro | 1 | 19:23 | 05:48 | 10:25 | 04:37 | 05:48 | 4,62 | 5,80 | 2 451 | 1 539 |
| | 15 | 18:58 | 06:02 | 11:04 | 05:02 | 06:02 | 5,03 | 6,03 | 3 050 | 1 828 |
| Outubro | 1 | 18:31 | 06:19 | 11:48 | 05:29 | 06:19 | 5,48 | 6,32 | 2 907 | 1 676 |
| | 15 | 18:08 | 06:34 | 12:26 | 05:52 | 06:34 | 5,87 | 6,57 | 3 781 | 2 116 |
| Novembro | 1 | 17:42 | 06:55 | 13:13 | 06:18 | 06:55 | 6,30 | 6,92 | 3 342 | 1 836 |
| | 15 | 17:26 | 07:11 | 13:45 | 06:34 | 07:11 | 6,57 | 7,18 | 3 983 | 2 177 |
| Dezembro | 1 | 17:16 | 07:31 | 14:15 | 06:44 | 07:31 | 6,73 | 7,52 | 3 570 | 1 995 |
| | 15 | 17:15 | 07:44 | 14:29 | 06:45 | 07:44 | 6,75 | 7,73 | 4 348 | 2 490 |
| Total | | | | | | | | | 71 103 | 43 611 |

Na tabela 4.11 verifica-se o mesmo procedimento de cálculo aplicado na tabela 4.9, desta vez considerando os valores base apresentados na tabela 4.10.

Com a ativação dos reguladores de fluxo de cada uma das luminárias, é possível alcançar uma redução de cerca de 28% da energia consumida face à solução sem regulação de fluxo (o consumo de energia anual desce de 158.321kWh para 114.714kWh).

5 MODELO PROPOSTO PARA A AVALIAÇÃO E GESTÃO DE PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE IP

5.1 Projetos de eficiência energética de IP

Os projetos de eficiência energética, inclusive os associados a sistemas de IP, deverão ser constituídos, essencialmente, por cinco etapas: a avaliação preliminar, a auditoria energética, o projeto, a implementação e a exploração.

Na fase da avaliação preliminar (primeira fase), partindo do objetivo, traça-se um diagnóstico energético preliminar, que identifica as possibilidades de redução de consumo, estabelecendo-se critérios iniciais de viabilidade económica.

Numa segunda fase, de auditoria energética, é efetuado um exame detalhado às instalações, com identificação de todas as entidades necessárias ao desenvolvimento do projeto, bem como das oportunidades de melhoria e estudos de viabilidade técnica e económica. De seguida procura-se estabelecer os níveis de economia desejados, bem como o volume de investimento necessário e o retorno resultante.

No projeto (terceira fase) para além do dimensionamento da nova solução, faz-se uma estimativa detalhada dos custos e benefícios totais do projeto de execução e projeto financeiro. De seguida, prepara-se uma lista integral das medidas, equipamentos, materiais, respetivas especificações técnicas detalhadas e execução propriamente dita. Convém também estabelecer uma metodologia eficaz de avaliação e gestão dos riscos associados ao projeto, para que todos os intervenientes no mesmo estejam cientes dos riscos e de como atuar para mitigar ou tirar um maior aproveitamento destes, caso se tratem de riscos de consequências positivas.

Na quarta fase surge a implementação, onde ocorre o desenvolvimento dos procedimentos do projeto de execução, a compra dos equipamentos, serviços e instalação, concretizando-se a implementação, *start-up* e comissionamento dos trabalhos.

Na fase final ocorre a exploração, onde se inicia a remuneração dos investimentos, calculada com base na economia gerada.

A Figura 5.1 representa a interação entre os vários intervenientes num projeto de eficiência energética e os respetivos *inputs* que cada um deles é responsável por introduzir no processo.

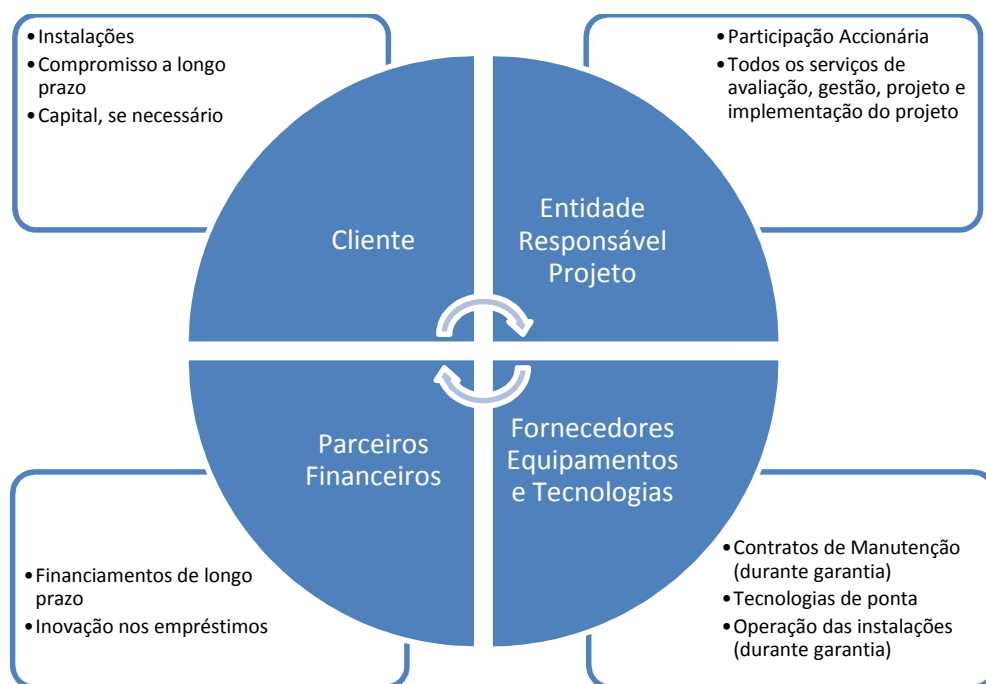


Figura 5.1 - Stakeholders em projetos de eficiência energética e respetivos *inputs*

Esta representação da interação entre *stakeholders* neste tipo de projetos foi construída com base na experiência adquirida durante a elaboração deste projeto e na experiência que a empresa acumulou com o desenvolvimento de projetos semelhantes.

O estudo apresentado descreve essencialmente as três primeiras fases de avaliação preliminar, a auditoria energética e projeto.

5.2 Avaliação de projetos de eficiência energética de IP

Os projetos de eficiência energética são geralmente projetos que trazem retornos interessantes apesar do grande investimento que quase sempre representam, como tal é essencial efetuar uma análise económica do projeto para precisar se o investimento no todo ou em parte é viável.

Assim sendo, é necessário proceder ao levantamento de todas as entidades que caracterizam o sistema atualmente instalado, para que após selecionado o produto que irá substituir o atual, seja possível dimensionar a solução mais adequada e mais eficiente recorrendo a *software* específico. Após dimensionada a nova solução deverá ser calculada a poupança energética que essa mudança de sistemas irá originar, para que depois seja possível converter essa poupança

energética em poupança económica. Através desses resultados deverão ser calculados os indicadores económicos do projeto, que irão permitir ao investidor analisar se deve avançar ou não com o investimento. Estes indicadores económicos devem incluir o valor atual líquido, a taxa interna de rentabilidade e o período de retorno simples e composto, como apresentado no capítulo 3. A par desta análise o cliente deve verificar se tem possibilidades financeiras para assumir os encargos associados ao projeto ou se deve procurar apoio junto de uma entidade bancária ou outra fonte auxiliar de crédito e caso opte pelo apoio deve verificar quais são os custos associados a esse empréstimo.

O cliente e/ou a entidade responsável pelo projeto deve ainda proceder a uma análise ou avaliação de riscos que o projeto poderá contemplar.

5.2.1 Avaliação do projeto do caso em estudo

Apresenta-se em seguida a avaliação do investimento considerando as duas alternativas descritas anteriormente, onde inclui a solução LED sem regulação e a solução LED com regulação.

- **Comparação dos resultados do sistema atual com os resultados da solução LED sem regulação**

Na fase inicial da avaliação do projeto efetuou-se a comparação dos resultados do sistema instalado atualmente com a solução LED dimensionada, obtendo-se os resultados presentes na tabela 5.1 e representados nas figuras 5.2 e 5.3. Os valores relacionados com o custo da energia elétrica foram todos calculados, ao longo deste estudo, com base no preço médio ponderado de 0,117€ por kWh, sendo este o valor unitário que a Câmara de Viana do Castelo paga atualmente ao seu prestador de serviços de fornecimento de energia para alimentação dos sistemas de IP, em qualquer hora do dia. Como se pode verificar, caso o projeto fosse implementado sem regulação seria possível obter, numa fase inicial de exploração, uma redução anual de 87.750€ (redução mensal de 7.313 €) nos custos associados ao consumo de energia do sistema de IP, ou seja, permitiria uma redução equivalente a 83% nestas despesas.

Tabela 5.1 - Resultados da comparação - sistema atual vs solução LED sem regulação

| Resultados Anuais | | Com LED | | Poupança Mensal |
|---------------------------------|-----------|----------------------|----------|-----------------|
| Energia Consumida Atual (kWh) | 908 324 | Poupança Anual (kWh) | 750 004 | |
| Energia Consumida com LED (kWh) | 158 320 | Poupança Anual (€) | 87 750 € | |
| Custo Energia Atual (€) | 106 274 € | Poupança Anual (%) | 83% | Poupança Mensal |
| Custo Energia com LED (€) | 18 523 € | | | 7 313 € |

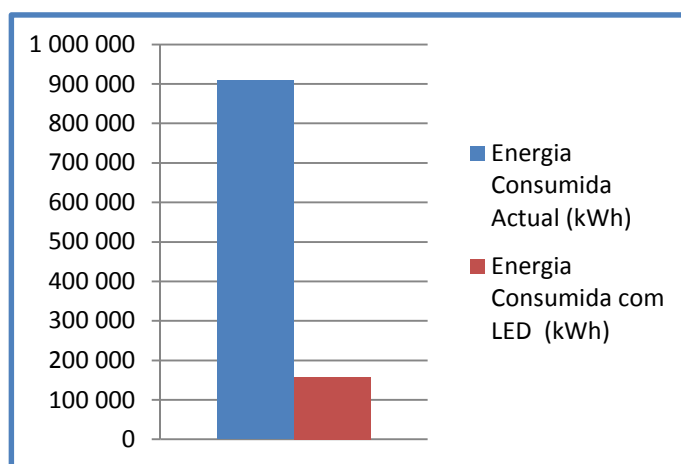


Figura 5.2 - Energia consumida: Sistema atual vs Solução LED sem regulação

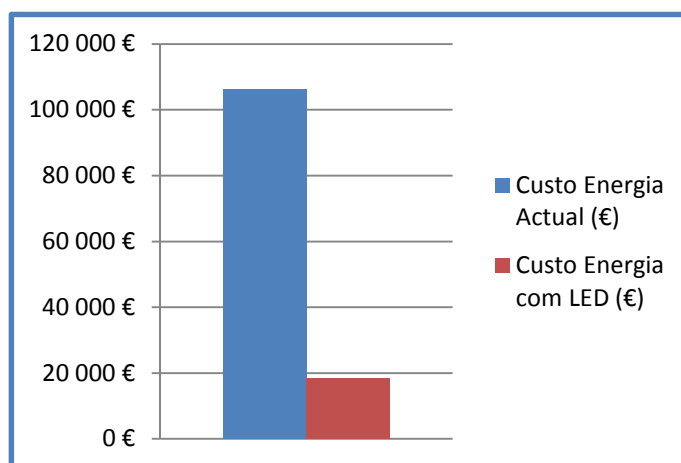


Figura 5.3 - Custo da Energia: Sistema atual vs Solução LED sem regulação

- **Comparação dos resultados do sistema atual com os resultados da solução LED com regulação**

Posteriormente efetuou-se a comparação dos resultados do atual sistema com a solução LED com regulação de fluxo, obtendo-se os resultados presentes na tabela 5.2 e representados nas figuras 5.4 e 5.5. Como se pode verificar, caso o projeto fosse implementado com regulação seria possível obter, numa fase inicial de exploração, uma redução anual de 92.853€ (redução mensal de 7.738 €) nos custos associados ao consumo de energia do sistema de IP, ou seja, aplicaria um corte de 87% nestas despesas.

Tabela 5.2 - Resultados da comparação - sistema atual vs solução LED com regulação

| Resultados Anuais | | Com LED | | Poupança Mensal |
|---------------------------------|-----------|----------------------|----------|-----------------|
| Energia Consumida Atual (kWh) | 908 324 | Poupança Anual (kWh) | 793 613 | |
| Energia Consumida com LED (kWh) | 114 711 | Poupança Anual (€) | 92 853 € | |
| Custo Energia Atual (€) | 106 274 € | Poupança Anual (%) | 87% | 7 738 € |
| Custo Energia com LED (€) | 13 421 € | | | |

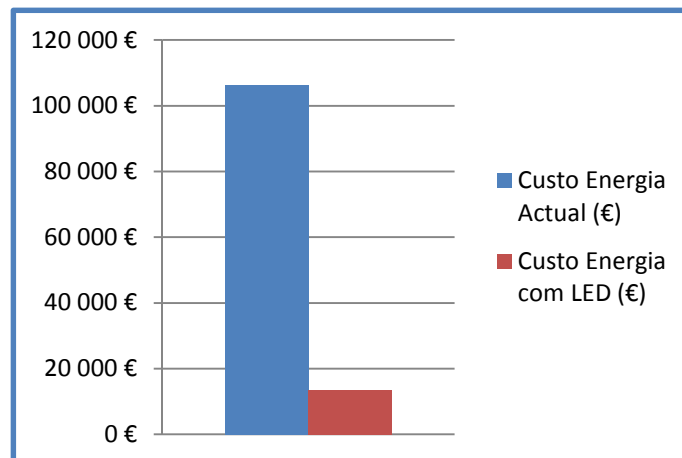


Figura 5.4 - Energia consumida: Sistema atual vs Solução LED com regulação

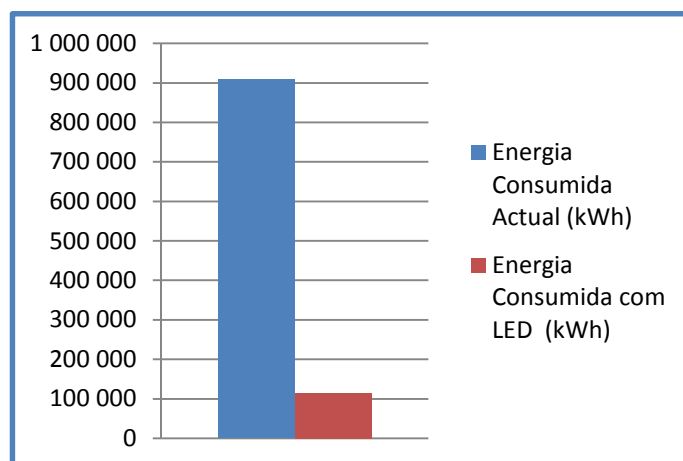


Figura 5.5 - Custo da Energia: Sistema atual vs Solução LED com regulação

5.2.2 Investimento

Considerando a substituição de todas as luminárias instaladas nas vias públicas selecionadas e tendo em conta os resultados obtidos no software de simulação *Relux* e representados na tabela 4.8 será necessário proceder à instalação de 783 luminárias *Streetlight* 30 de 27W, 333 luminárias *Streetlight* 30 de 44W e 30 luminárias *Streetlight* 30 de 70W, resultando numa instalação total de 1146 luminárias. O investimento associado a este projeto encontra-se representado na tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Investimento associado ao projeto

| REF. | Equipamento | Un. | Preço Un. | Preço Total |
|---------------------------|-------------|------|-----------|------------------|
| SL 30, 2800lm, 3DIM | SL30 -27W | 783 | 285,97 € | 223 916 € |
| SL 30, 4650lm, 3DIM | SL30 -44W | 333 | 321,79 € | 107 156 € |
| SL 30, 7500lm, 3DIM | SL30 -70W | 30 | 367,83 € | 11 035 € |
| Instalação das luminárias | | 1146 | 50,00 € | 57 300 € |
| Total | | | | 399 406 € |

| Sem regulação | |
|-----------------------------|-----------|
| Total de Investimento (€) | 399 406 € |
| Poupança Anual - Ano 0 (€) | 87 750 € |
| Poupança Mensal - Ano 0 (€) | 7 313 € |

| Com regulação | |
|-----------------------------|-----------|
| Total de Investimento (€) | 399 406 € |
| Poupança Anual - Ano 0 (€) | 92 853 € |
| Poupança Mensal - Ano 0 (€) | 7 738 € |

Após a obtenção de todos os dados do projeto partiu-se para o cálculo dos indicadores associados ao projeto da solução LED com regulação. Para este cálculo considerou-se uma inflação anual de 1% no preço da energia para alimentação dos sistemas de IP (esta estimativa

de inflação foi obtida com base no histórico dos aumentos dos preços de energia para o cliente em questão). Em relação à taxa de desconto foi considerado o valor de 5%, que seria o custo de capital aproximado na análise de retorno efetuada pela entidade bancária parceira deste projeto. No que diz respeito ao período de análise do projeto foi considerado o prazo de 15 anos, que corresponde ao tempo de vida útil das luminárias a instalar. Os custos de manutenção das luminárias encontram-se refletidos no preço unitário das mesmas, não tendo sido considerados custos adicionais para este efeito nos cálculos seguintes.

Valor Atual Líquido

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1+t)^i} &= \sum_{i=0}^{15} \frac{CF_i}{(1+t)^i} = -399406 + \frac{93782}{(1+0,05)^1} + \frac{94719}{(1+0,05)^2} \\ &+ \frac{95667}{(1+0,05)^3} + \frac{96623}{(1+0,05)^4} + \frac{97589}{(1+0,05)^5} + \frac{98565}{(1+0,05)^6} + \frac{99551}{(1+0,05)^7} \\ &+ \frac{100546}{(1+0,05)^8} + \frac{101552}{(1+0,05)^9} + \frac{102567}{(1+0,05)^{10}} + \frac{103593}{(1+0,05)^{11}} + \frac{104629}{(1+0,05)^{12}} \\ &+ \frac{105675}{(1+0,05)^{13}} + \frac{106732}{(1+0,05)^{14}} + \frac{157799}{(1+0,05)^{15}} = 659.885 \text{ €} \end{aligned}$$

Taxa Interna de Rentabilidade

$$\sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1+t)^i} = 0 \Leftrightarrow \sum_{i=0}^{15} \frac{CF_i}{(1+t)^i} = 0 \Leftrightarrow t = 23,4 \%$$

Período de Retorno de Investimento Simples

| Ano | Fluxo Financeiro |
|-------|--------------------------------|
| Ano 0 | -399.406 € |
| Ano 1 | -399.406 + 93.782 = -305.624 € |
| Ano 2 | -305.624 + 94.719 = -210.905 € |
| Ano 3 | -210.905 + 95.667 = -115.239 € |
| Ano 4 | -115.239 + 96.623 = -18.615 € |
| Ano 5 | -18.615 + 97.589 = 78.974 € |

Período de Retorno de Investimento Composto

| Ano | Fluxo Financeiro |
|-------|--|
| Ano 0 | -399.406 € |
| Ano 1 | $-399.406 + \frac{93782}{(1+0,05)^{-1}} = -310\,090 \text{ €}$ |
| Ano 2 | $-310.090 + \frac{94719}{(1+0,05)^{-2}} = -224.177 \text{ €}$ |
| Ano 3 | $-224.177 + \frac{95667}{(1+0,05)^{-3}} = -141.537 \text{ €}$ |
| Ano 4 | $-141.537 + \frac{96623}{(1+0,05)^{-4}} = -62.045 \text{ €}$ |
| Ano 5 | $-62.045 + \frac{97589}{(1+0,05)^{-5}} = 14.419 \text{ €}$ |

Tabela 5.4 - Indicadores do projeto da solução LED com regulação

| Indicador | Valor |
|--|--------------------------|
| Valor Residual* | 50 000 € |
| VAL (Valor Atual Líquido) | 659.885 € |
| TIR (Taxa Interna de Rentabilidade) | 23,4% |
| PRIS (Período de Retorno de Investimento Simples) | 4 Anos e 3 meses |
| PRIA (Período de Retorno de Investimento Atualizado) | 4 Anos e 10 meses |

*valor atribuído à instalação ao final de quinze anos de exploração

5.2.3 Análise de financiamento bancário

De forma a tornar este investimento ainda mais atrativo e após reunião com uma entidade bancária decidiu-se efetuar uma simulação de pagamentos que permitisse à Câmara Municipal de Viana do Castelo uma poupança mensal no diferencial das prestações do empréstimo com a poupança efetiva relacionada com os encargos com a energia consumida pelos sistemas de IP referenciados neste projeto.

Foi assim apresentado um mapa de financiamento possível, tendo o plano de encargos sido estabelecido com base nos parâmetros abaixo referidos, encontrando-se o mesmo definido na tabela presente no Anexo I.

- Prazo de Empréstimo: 96 meses (8 anos)
- Periodicidade da Cobrança: mensal
- Capital pretendido: 400.000 €
- Montante de Financiamento: 404.040 €;
- Encargos incluídos no Financiamento: 4.040 €;
- TAE: 8,61 %
- TAN: 8,00 %
- Prestação mensal constante = Prestação (Capital+Juros+Imposto): 5.777,72 € + Comissão Liquidação Prestações: 1,92€ = 5.779,64 €.

Os parâmetros apresentados anteriormente foram todos definidos pela entidade bancária após análise de risco financeiro do cliente em questão e necessidades de investimento inicial.

Assim, neste modelo de financiamento, será possível assegurar o pagamento da mensalidade apenas com o valor equivalente à poupança obtida com a nova solução LED obtendo-se ainda um excedente mensal equivalente a 2.038 € ao longo do primeiro ano do projeto. Ao longo dos anos esta poupança terá tendência a ser cada vez maior devido à inflação esperada do preço da energia consumida.

Tabela 5.5 - Investimento recorrendo a capital próprio vs investimento recorrendo a empréstimo

| Prestação mensal com retribuição de toda a poupança (Modelo de Investimento com capital próprio) | | | | Modelo financiamento sugerido | | | |
|---|------------------------|------------|------|-------------------------------|------------------------|------------|------|
| Ano | Cap. Anual. Amort. (€) | Saldo (€) | | Ano | Cap. Anual. Amort. (€) | Saldo (€) | |
| 0 | | -399 406 € | | 0 | | -404 040 € | |
| 1 | 89 316 € | -310 090 € | null | 1 | 37 110 € | -366 930 € | null |
| 2 | 85 913 € | -224 177 € | null | 2 | 40 319 € | -326 611 € | null |
| 3 | 82 640 € | -141 537 € | null | 3 | 43 804 € | -282 807 € | null |
| 4 | 79 492 € | -62 045 € | null | 4 | 47 591 € | -235 217 € | null |
| 5 | 62 045 € | 0 € | ok | 5 | 51 705 € | -183 512 € | null |
| | | | | 6 | 56 174 € | -127 338 € | null |
| | | | | 7 | 61 030 € | -66 307 € | null |
| | | | | 8 | 66 307 € | 0 € | ok |

Na tabela 5.5 é efetuada uma comparação de um modelo de financiamento com capital próprio (correspondente ao cálculo do PRI atualizado calculado anteriormente), e um modelo de financiamento recorrendo ao apoio de uma entidade bancária. Caso o investimento fosse realizado com capital próprio o retorno do mesmo iria ocorrer ao quinto ano de projeto, no caso do modelo sugerido este retorno ocorre no oitavo ano de projeto. O modelo sugerido permite ainda assegurar um excedente mensal à câmara municipal.

5.3 Avaliação e gestão do risco associado a projetos de eficiência energética de IP

5.3.1 Identificação e avaliação do risco

Por “risco” entende-se qualquer evento ou situação futura com probabilidade de ocorrer e que pode trazer consequências negativas ou positivas para um projeto (Peixoto et al., 2016).

Para identificação dos riscos deste projeto, foi seguida a seguinte metodologia:

1. Identificação dos objetivos estratégicos do projeto;
2. Verificação das atividades que estão implícitas ao desenvolvimento do projeto e ao cumprimento desses objetivos;
3. Identificação dos riscos percorrendo as vertentes básicas dos objetivos de gestão (eficácia e eficiência, conformidade com a legislação e normativos aplicáveis, informação fiável e atempada).

Depois de identificados os riscos foi aplicado um modelo, já aplicado por exemplo pela empresa Estradas de Portugal (EP, 2012), para a avaliação riscos, nomeadamente quanto à probabilidade

de ocorrência e à gravidade que as consequências destes podem trazer para o projeto. Assim, classificou-se a probabilidade de ocorrência e a gravidade das consequências dos mesmos em três níveis – baixa (1), média (2) e alta (3), tal como se pode verificar na tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Avaliação das escalas de probabilidade de ocorrência dos riscos e da gravidade das consequências

| | Baixa (1) | Média (2) | Alta (2) |
|----------------------------------|---|--|--|
| Probabilidade de ocorrência (PO) | Alguma probabilidade de ocorrência, se bem controladas as tarefas onde este pode surgir poderá ser tratado | Possibilidade de ocorrência, mas com hipótese de prevenir o evento através de decisões ou alterações de planeamento do projeto | Forte probabilidade de ocorrência, sem grandes hipóteses de minimizar ou prevenir o evento |
| Gravidade das consequências (GC) | Não influenciará muito o projeto e os seus resultados, no entanto deve ser tido em conta e controlado ao máximo | Poderá causar danos graves no projeto, caso não seja devidamente controlado | Danos graves no desenvolvimento do projeto, possivelmente irreversíveis e que poderão levar ao cancelamento do mesmo |

Da conjugação do grau de probabilidade de ocorrer o risco, com o grau de gravidade das consequências que estes podem trazer para o projeto, foi estabelecida uma escala para avaliar os mesmos – fraco (1), moderado (2) e elevado (3), de acordo com a matriz representada na tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Escalas de avaliação dos riscos associados ao projeto e das consequências dos mesmos

| | | Probabilidade de Ocorrência | | |
|---------------------------|-----------|-----------------------------|--------------|--------------|
| | | → | | |
| | | Baixa (1) | Média (2) | Alta (3) |
| Gravidade da Consequência | Baixa (1) | Fraco (1) | Fraco (1) | Moderado (2) |
| | Média (2) | Fraco (1) | Moderado (2) | Elevado (3) |
| | Alta (3) | Moderado (2) | Elevado (3) | Elevado (3) |

5.3.2 Aplicação ao caso de estudo

De seguida encontra-se o quadro que contém a identificação dos riscos relacionados com as várias fases que compõem o desenvolvimento deste projeto, nomeadamente o tipo de risco, a fonte e a descrição do mesmo. Apresentam-se ainda, no mesmo quadro, as medidas de mitigação ou aproveitamento do risco, caso este se trate de um risco com consequências negativas ou positivas, respetivamente. Encontra-se no mesmo também a classificação dos riscos, a classificação da gravidade das consequências que os mesmos podem originar, a classificação da probabilidade de ocorrência dos mesmos, assim como a influência que estes riscos podem ter no projeto se não forem mitigados ou aproveitados.

Tabela 5.8 - Identificação e classificação dos riscos associados ao projeto

| Tipo de Risco | Fontes de risco | Risco associado | Formas de mitigação/ aproveitamento | Nível | | | Fase em que ocorre | Positivo/ Negativo | Influência no Projeto |
|---------------|--|--|--|-------|----|----|--|--------------------|---|
| | | | | PO | GC | GR | | | |
| Técnico | Dimensionamento do sistema de iluminação LED | As luminárias LED não apresentarem as características luminotécnicas que surgem no <i>software</i> de dimensionamento | Medições luminotécnicas das luminárias propostas, ligeiro sobredimensionamento em relação aos requisitos mínimos de iluminação | 1 | 2 | 2 | Dimensionamento técnico | Negativo | As vias públicas ficarão com um sistema de iluminação deficitária, podendo não cumprir os requisitos mínimos legais |
| | Sistema de iluminação instalado | Potência real das luminárias instaladas ser superior à potência estimada no projeto atual | Medições reais nos sistemas instalados e ajuste na avaliação do projeto | 3 | 3 | 3 | Avaliação de Projeto | Positivo | Viabilidade do projeto aumenta, devido ao aumento da poupança no consumo de energia após a implementação da nova instalação |
| | Manutenção do sistema de iluminação atual | Aquando da troca das luminárias que avariaram poderão ter sido instaladas luminárias de potência superior. | Medições reais nos sistemas instalados e ajuste na avaliação do projeto | 3 | 2 | 3 | Avaliação de Projeto | Positivo | Viabilidade do projeto aumenta, devido ao aumento da poupança no consumo de energia após a implementação da nova instalação |
| Sociocultural | Desconforto visual dos transeuntes | Transeuntes após estarem vários anos habituados a encontrar as vias públicas exageradamente iluminadas, poderão achar as vias pouco iluminadas com a substituição para o sistema de iluminação LED | Sensibilização da população; Adaptação com o tempo | 3 | 1 | 2 | Conclusão da obra de instalação das luminárias LED e ativação do sistema | Negativo | Alguma reprovação por parte da população, não havendo diretamente influência no projeto |

| | | | | | | | | | |
|--|---|--|--|---|---|---|-----------------------------|----------|---|
| Político Mercado Económico Financeiro | Término do atual Mandato Presidencial antes de concluída a amortização do investimento associado ao projeto | A atual presidência da Câmara de Viana do Castelo apenas gerirá por mais três anos, sendo que o projeto apenas estará amortizado após esse período | Terá de haver um consenso entre a atual presidência e a oposição para se avançar para a implementação do projeto. | 3 | 2 | 3 | Negociação | Negativo | Poderá levar ao cancelamento do projeto se não for atingido o consenso entre ambas as partes |
| | Concorrentes existentes e novos | Possibilidade de outro concorrente apresentar uma proposta económica mais favorável ao cliente | Reajuste dos valores comerciais da proposta (se possível) | 2 | 3 | 3 | Negociação | Negativo | Poderá levar ao cancelamento do projeto caso surja um concorrente a apresentar um menor valor de investimento |
| | Apoios para implementação de projetos de eficiência energética | Aparecimento de apoios para a implementação de projetos de eficiência energética, nomeadamente em sistemas da administração pública | Candidatura por parte do cliente a esses mesmos apoios | 3 | 3 | 3 | Negociação | Positivo | Influencia o cliente, levando-o possivelmente à decisão de avançar com o projeto caso veja a sua candidatura aprovada |
| | Capacidade financeira do cliente | Devido aos consequentes cortes no orçamento do sector público poderá ser difícil para a Câmara de Viana do Castelo efetuar o pagamento das prestações nos tempos definidos | Imputar o risco financeiro a uma entidade bancária, entrando a mesma como financiadora do projeto, ficando o cliente responsável pelo pagamento das prestações do empréstimo a essa mesma entidade | 3 | 3 | 3 | Após a conclusão do projeto | Negativo | Poderá dificultar a implementação do projeto caso a entidade bancária não queira assumir o risco financeiro |

PO – Probabilidade de ocorrência; GC – Gravidade das consequências; GR- Grau de risco

Os riscos apresentados na tabela 5.8 foram identificados e classificados com base na experiência que a empresa e a equipa de trabalho envolvida possuem neste tipo de projetos.

5.3.3 Prevenção de riscos

Para uma gestão eficiente dos riscos, de acordo com os critérios de avaliação previamente definidos, poderão ser consideradas as seguintes ações de prevenção ou atuação:

- Aceitar o risco, não tomando qualquer medida adicional para controlar ou minimizar o mesmo, consentindo as consequências que deste poderão advir;
- Evitar o risco, planeando ações que poderão ser postas em prática quando este ocorrer de forma a eliminá-lo eficazmente atuando sobre a causa;
- Prevenir o risco, tomando medidas que poderão vir a reduzir a probabilidade de ocorrência ou a gravidade das consequências originadas pelo mesmo, ou ambos;
- Transferir o risco, através da imputação do mesmo para uma entidade terceira, que poderá não estar diretamente envolvida no projeto.

Depois de desenvolvido um planeamento da resposta aos vários riscos de um projeto, deve ser realizada a monitorização necessária ao longo do projeto, de forma a serem aplicadas as medidas corretivas sempre que um risco ocorre, assegurando que o projeto atinge os objetivos pretendidos.

Relativamente aos riscos associados a este projeto em concreto, colocaram-se ações em prática para anular ou reduzir as consequências daqueles que surgiram nas fases do projeto que já concluímos e que trariam um efeito negativo para o projeto. Quanto aos riscos que surgirão nas fases seguintes do projeto também se encontram definidas ações a implementar caso estes ocorram e sejam controláveis. Estas ações encontram-se resumidas na tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Relação entre os riscos associados ao projeto e ações executadas ou a executar

| Risco | Ação Executada/A Executar |
|--|--|
| As luminárias LED não apresentarem as características luminotécnicas que surgem no <i>software</i> de dimensionamento | Evitar o risco - Foram efetuadas medições luminotécnicas das luminárias propostas que confirmaram a veracidade dos dados técnicos presentes em <i>software</i> . |
| Potência real das luminárias instaladas ser superior à potência estimada no projeto atual | Evitar o risco - Foram realizadas medições nos sistemas instalados, tendo-se ajustado as potências de projeto às potências reais. |
| Aquando da troca das luminárias que avariaram poderão ter sido instaladas luminárias de potência superior. | Aceitar o risco - Foram efetuadas medições nos sistemas de iluminação instalados, tendo sido comprovado que se encontram a ser instaladas, em alguns locais, luminárias de potência superior às restantes, aquando das tarefas de manutenção, não sendo possível quantificar o número de luminárias com a potência superior às restantes. |
| Transeuntes após estarem vários anos habituados a encontrar as vias públicas exageradamente iluminadas, poderão achar as vias pouco iluminadas com a substituição para o sistema de iluminação LED | Aceitar o risco - Uma vez que o grau deste risco não é muito elevado e tendo em conta que não influencia diretamente o sucesso do projeto decidiu-se aceitar o risco. |
| A atual presidência da Câmara de Viana do Castelo apenas gerirá por mais três anos, sendo que o projeto apenas estará amortizado após esse período | Aceitar o risco – Não é uma situação cuja solução esteja alcance da empresa. A única hipótese seria encurtar o plano de pagamentos para três anos, no entanto isto tornaria o projeto inviável. |
| Possibilidade de outro concorrente apresentar uma proposta económica mais favorável ao cliente | Aceitar o risco – Não é uma situação cuja solução esteja ao alcance da empresa. Associamos à proposta comercial o valor que concordamos ser o mais favorável e justo para ambas as partes. |
| Aparecimento de apoios para a implementação de projetos de eficiência energética, nomeadamente em sistemas da administração pública | Aceitar o risco – Trata-se de um risco positivo que, a acontecer, poderá ajudar o cliente a decidir avançar com o projeto. |
| Devido aos consequentes cortes no orçamento do sector público poderá ser difícil para a Câmara de Viana do Castelo efetuar o pagamento das prestações nos tempos definidos | Transferir o risco – Imputar-se-á o risco financeiro a uma entidade bancária, caso a mesma esteja disposta a aceitá-lo. |

6 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

A melhoria da eficiência energética dos sistemas que se encontram implementados é uma prioridade atual, não só devido à capacidade de redução dos consumos energéticos destes sistemas como também da despesa oriunda desses mesmos consumos. Esta despesa é tendencialmente crescente ao longo do tempo, num sistema ineficiente, devido ao constante aumento do preço da energia, à degradação dos equipamentos e ainda devido ao aumento da emissão de poluentes, originada pela produção de energia a partir de fontes poluentes.

É importante que continuem a surgir incentivos que levem a população a investir em projetos de eficiência energética, quer a nível doméstico, quer a nível empresarial, pois estes projetos evitam o consumo de energia desnecessário, permitindo uma diminuição imediata da importação de energia. Assim sendo, os projetos de eficiência energética têm um papel essencial na sustentabilidade dos sistemas energéticos, pois podem evitar a construção de sistemas de produção de eletricidade, reduzir importações e evitar emissões poluentes.

A IP é o quinto setor de entre sete, onde se verifica o maior consumo energético em Portugal, depois do setor da indústria, doméstico, não-doméstico e edifícios do estado, respetivamente. Os custos associados ao consumo de energia neste setor têm vindo a aumentar progressivamente, tendo atingido os 134 milhões de euros em 2013 na fatura energética, correspondentes a um consumo de 1.470 GWh nesse mesmo ano.

Relativamente aos projetos de eficiência energética de IP ainda existem algumas barreiras que dificultam o desenvolvimento deste tipo de projetos, nomeadamente a dificuldade associada ao levantamento das entidades associadas aos sistemas, tal como a informação relativa à caracterização luminotécnica, localização das luminárias, histórico de intervenções, entre outros detalhes importantes. Esta falha deve-se principalmente ao fraco desempenho das entidades responsáveis pela recolha dessa informação e poderá vir a ser colmatada com a criação de um sistema global de recolha de informações onde é possível dar entrada de todas as entidades, tendo os técnicos responsáveis por este levantamento de estar munidos de equipamento de georreferenciação, medição de distâncias e de características luminotécnicas e energéticas.

A manutenção dos sistemas de IP, que muitas vezes é descurada, é responsável em grande parte dos casos pelo desperdício de energia elétrica nas luminárias, pelo que se torna importante após a implementação de um projeto criar um método e planeamento de manutenção preventiva e corretiva destes sistemas.

O caso de estudo apresentado, centrado no caso específico do Município de Viana do Castelo, centrou-se na avaliação da viabilidade da substituição dos sistemas de IP das principais vias da cidade por sistemas com tecnologia LED, equipados com reguladores de fluxo. Com a alteração proposta o município conseguiria reduzir em 87% os encargos dispensados em energia elétrica para alimentação dos circuitos de IP das vias selecionadas. O projeto revelou-se bastante interessante em termos económicos, uma vez que permitiria ao município uma poupança mensal inicial de 7.738€, tendo este valor tendência a aumentar devido ao esperado aumento anual do custo da energia elétrica, por outro lado os encargos relacionados com o empréstimo bancário sugerido para assegurar o investimento necessário seriam de aproximadamente 5.780€ mensais constantes. O balanço destes valores permitiria ao município de Viana do Castelo uma poupança mensal de aproximadamente 2.000€ logo no primeiro ano de projeto.

Com este estudo é bastante perceptível o potencial de redução do consumo energético dos sistemas de IP, tornando-se uma solução interessante para os municípios reduzirem custos associados ao consumo de energia elétrica. Municípios com sistemas de IP antiquados e de baixa eficiência, que possuam estabilidade financeira para investir com capital próprio ou recorrer a um empréstimo, devem realizar uma análise semelhante à realizada neste estudo de caso para determinar o potencial de poupança dos seus sistemas de iluminação e após analisados os indicadores do projeto, tomar as respetivas decisões.

Prevê-se que nos próximos anos aumentem significativamente o número de projetos de eficiência energética de IP devido à evolução da tecnologia que permitirá melhorar a qualidade dos sistemas e reduzir os custos associados ao investimento que este tipo de projetos acarreta, levando a que estes tenham indicadores cada vez mais interessantes para quem assume o papel de investidor. Os apoios financeiros aos projetos de eficiência energética, as novas metas energéticas e a preocupação crescente dos cidadãos serão certamente outros dos fatores que irão contribuir para que este tipo de projetos tenha um índice de implementação e de sucesso cada vez maior.

Em termos de trabalho futuro, propõe-se a aplicação deste tipo de estudo a outros municípios do país, atualizando todas as variáveis que para este contribuem, tais como inovações em produtos tecnológicos, software de simulação dos sistemas de IP, modelos de apoio financeiro, entre outras. Importaria ainda acrescentar a este trabalho os impactos que esta remodelação dos sistemas de IP traria em termos ambientais e sociais.

7 BIBLIOGRAFIA

- ADENE. (2011). Eficiência Energética na Iluminação Pública - Documento de Referência. Agência para a Energia.
- Barros, C. (1995). Decisões de investimento e financiamento de projetos. Edições Sílabo.
- BEA. (2006). Status quo on Street Lighting Contracting in Europe short study. Berliner Energieagentur GmbH.
- Burgos-Payan, M., Correa-Moreno, F.-J., & Riquelme-Santos, J.-M. (2012). Improving the energy efficiency of street lighting. A case in the South of Spain. In *2012 9th International Conference on the European Energy Market* (pp. 1–8). IEEE. doi:10.1109/EEM.2012.6254664
- Carli, R., Dotoli, M., & Pellegrino, R. (2015). ICT and optimization for the energy management of smart cities: The street lighting decision panel. In *2015 IEEE 20th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)* (pp. 1–6). IEEE. doi:10.1109/ETFA.2015.7301435
- Cellucci, L., Burattini, C., Drakou, D., Gugliermetti, F., Bisegna, F., Vollaro, A., ... Golasi, I. (2015). Urban Lighting Project for a Small Town: Comparing Citizens and Authority Benefits. *Sustainability*, 7(10), 14230–14244. doi:10.3390/su71014230
- CEN. (2003). Norma Europeia EN13201: Road Lighting. European Committee for Standardization.
- CMVC. (2013). Plano de atividades e orçamento 2013. Câmara Municipal de Viana do Castelo.
- EDP. (2010). Manual de Iluminação Pública. EDP Distribuição.
- EP. (2012). Plano de Gestão de Riscos de Corrupção e Infrações Conexas da Estradas de Portugal. Estradas de Portugal.
- FFMS. (2009). PORDATA-Base de Dados Portugal Contemporâneo. *Consumo de Energia Elétrica Por Tipo de Consumo*. Fundação Francisco Manuel dos Santos.
- Gutierrez-Escolar, A., Castillo-Martinez, A., Gomez-Pulido, J., Gutierrez-Martinez, J.-M., Stapic, Z., & Medina-Merodio, J.-A. (2015). A Study to Improve the Quality of Street Lighting in Spain. *Energies*, 8(2), 976–994. doi:10.3390/en8020976
- Mediador do Crédito. (2011). Informação sobre produtos, institutos jurídicos e conceitos relacionados com o crédito. Retrieved from <http://www.mediadordocredito.pt/>
- MIEE. (1982). Decreto Lei 344-B/82. Ministério da Indústria, Energia e Exportação.
- Peixoto, J., Tereso, A., Fernandes, G., & Almeida, R. (2016). A Project Risk Management Methodology Developed for an Electrical Portuguese Organization. *International Journal of Human Capital and Information Technology Professionals*, 7(1), 1–19. doi:10.4018/IJHCITP.2016010101
- Rabaza, O., Peña-García, A., Pérez-Ocón, F., & Gómez-Lorente, D. (2013). A simple method for designing efficient public lighting, based on new parameter relationships. *Expert Systems with Applications*, 40(18), 7305–7315. doi:10.1016/j.eswa.2013.07.037
- Radulovic, D., Skok, S., & Kirincic, V. (2011). Energy efficiency public lighting management in the cities. *Energy*, 36(4), 1908–1915. doi:10.1016/j.energy.2010.10.016
- Relux. (2012). ReluxPro. Relux Informatik AG.
- Siteco. (2014). Streetlight 30. Osram.

8 ANEXOS

Mapa de prestações do projeto

| | Mês | Capital Dívida | Capital Amortizado | Juros | Is s/ juros | CLP+IS | Prestação |
|----|----------------|-------------------|-----------------------|----------|-------------|--------|-----------|
| 1 | Outubro-2015 | 404.040,40 | 2.976,38 | 2.693,60 | 107,74 | 1,92 | 5.779,64 |
| 2 | Novembro-2015 | 401.064,02 | 2.997,01 | 2.673,76 | 106,95 | 1,92 | 5.779,64 |
| 3 | Dezembro-2015 | 398.067,01 | 3.017,79 | 2.653,78 | 106,15 | 1,92 | 5.779,64 |
| 4 | Janeiro-2016 | 395.049,22 | 3.038,71 | 2.633,66 | 105,35 | 1,92 | 5.779,64 |
| 5 | Fevereiro-2016 | 392.010,51 | 3.059,78 | 2.613,40 | 104,54 | 1,92 | 5.779,64 |
| 6 | Março-2016 | 388.950,73 | 3.081,00 | 2.593,00 | 103,72 | 1,92 | 5.779,64 |
| 7 | Abril-2016 | 385.869,73 | 3.102,36 | 2.572,46 | 102,90 | 1,92 | 5.779,64 |
| 8 | Mai-2016 | 382.767,37 | 3.123,87 | 2.551,78 | 102,07 | 1,92 | 5.779,64 |
| 9 | Junho-2016 | 379.643,50 | 3.145,52 | 2.530,96 | 101,24 | 1,92 | 5.779,64 |
| 10 | Julho-2016 | 376.497,98 | 3.167,33 | 2.509,99 | 100,40 | 1,92 | 5.779,64 |
| 11 | Agosto-2016 | 373.330,65 | 3.189,30 | 2.488,87 | 99,55 | 1,92 | 5.779,64 |
| 12 | Setembro-2016 | 370.141,35 | 3.211,41 | 2.467,61 | 98,70 | 1,92 | 5.779,64 |
| 13 | Outubro-2016 | 366.929,94 | 3.233,67 | 2.446,20 | 97,85 | 1,92 | 5.779,64 |
| 14 | Novembro-2016 | 363.696,27 | 3.256,09 | 2.424,64 | 96,99 | 1,92 | 5.779,64 |
| 15 | Dezembro-2016 | 360.440,18 | 3.278,67 | 2.402,93 | 96,12 | 1,92 | 5.779,64 |
| 16 | Janeiro-2017 | 357.161,51 | 3.301,40 | 2.381,08 | 95,24 | 1,92 | 5.779,64 |
| 17 | Fevereiro-2017 | 353.860,11 | 3.324,29 | 2.359,07 | 94,36 | 1,92 | 5.779,64 |
| 18 | Março-2017 | 350.535,82 | 3.347,33 | 2.336,91 | 93,48 | 1,92 | 5.779,64 |
| 19 | Abril-2017 | 347.188,49 | 3.370,55 | 2.314,59 | 92,58 | 1,92 | 5.779,64 |
| 20 | Mai-2017 | 343.817,94 | 3.393,92 | 2.292,12 | 91,68 | 1,92 | 5.779,64 |
| 21 | Junho-2017 | 340.424,02 | 3.417,45 | 2.269,49 | 90,78 | 1,92 | 5.779,64 |
| 22 | Julho-2017 | 337.006,57 | 3.441,14 | 2.246,71 | 89,87 | 1,92 | 5.779,64 |
| 23 | Agosto-2017 | 333.565,43 | 3.465,00 | 2.223,77 | 88,95 | 1,92 | 5.779,64 |
| 24 | Setembro-2017 | 330.100,43 | 3.489,02 | 2.200,67 | 88,03 | 1,92 | 5.779,64 |
| 25 | Outubro-2017 | 326.611,41 | 3.513,21 | 2.177,41 | 87,10 | 1,92 | 5.779,64 |
| 26 | Novembro-2017 | 323.098,20 | 3.537,57 | 2.153,99 | 86,16 | 1,92 | 5.779,64 |
| 27 | Dezembro-2017 | 319.560,63 | 3.562,10 | 2.130,40 | 85,22 | 1,92 | 5.779,64 |
| 28 | Janeiro-2018 | 315.998,53 | 3.586,79 | 2.106,66 | 84,27 | 1,92 | 5.779,64 |
| 29 | Fevereiro-2018 | 312.411,74 | 3.611,67 | 2.082,74 | 83,31 | 1,92 | 5.779,64 |
| 30 | Março-2018 | 308.800,07 | 3.636,70 | 2.058,67 | 82,35 | 1,92 | 5.779,64 |
| 31 | Abril-2018 | 305.163,37 | 3.661,92 | 2.034,42 | 81,38 | 1,92 | 5.779,64 |
| 32 | Mai-2018 | 301.501,45 | 3.687,31 | 2.010,01 | 80,40 | 1,92 | 5.779,64 |
| 33 | Junho-2018 | 297.814,14 | 3.712,87 | 1.985,43 | 79,42 | 1,92 | 5.779,64 |
| 34 | Julho-2018 | 294.101,27 | 3.738,61 | 1.960,68 | 78,43 | 1,92 | 5.779,64 |
| 35 | Agosto-2018 | 290.362,66 | 3.764,54 | 1.935,75 | 77,43 | 1,92 | 5.779,64 |
| 36 | Setembro-2018 | 286.598,12 | 3.790,64 | 1.910,65 | 76,43 | 1,92 | 5.779,64 |
| 37 | Outubro-2018 | 282.807,48 | 3.816,92 | 1.885,38 | 75,42 | 1,92 | 5.779,64 |
| 38 | Novembro-2018 | 278.990,56 | 3.843,38 | 1.859,94 | 74,40 | 1,92 | 5.779,64 |
| 39 | Dezembro-2018 | 275.147,18 | 3.870,04 | 1.834,31 | 73,37 | 1,92 | 5.779,64 |

| | | | | | | | |
|----|----------------|------------|----------|----------|-------|------|----------|
| 40 | Janeiro-2019 | 271.277,14 | 3.896,87 | 1.808,51 | 72,34 | 1,92 | 5.779,64 |
| 41 | Fevereiro-2019 | 267.380,27 | 3.923,88 | 1.782,54 | 71,30 | 1,92 | 5.779,64 |
| 42 | Março-2019 | 263.456,39 | 3.951,08 | 1.756,38 | 70,26 | 1,92 | 5.779,64 |
| 43 | Abril-2019 | 259.505,31 | 3.978,48 | 1.730,04 | 69,20 | 1,92 | 5.779,64 |
| 44 | Maiο-2019 | 255.526,83 | 4.006,07 | 1.703,51 | 68,14 | 1,92 | 5.779,64 |
| 45 | Junho-2019 | 251.520,76 | 4.033,84 | 1.676,81 | 67,07 | 1,92 | 5.779,64 |
| 46 | Julho-2019 | 247.486,92 | 4.061,81 | 1.649,91 | 66,00 | 1,92 | 5.779,64 |
| 47 | Agosto-2019 | 243.425,11 | 4.089,98 | 1.622,83 | 64,91 | 1,92 | 5.779,64 |
| 48 | Setembro-2019 | 239.335,13 | 4.118,33 | 1.595,57 | 63,82 | 1,92 | 5.779,64 |
| 49 | Outubro-2019 | 235.216,80 | 4.146,89 | 1.568,11 | 62,72 | 1,92 | 5.779,64 |
| 50 | Novembro-2019 | 231.069,91 | 4.175,63 | 1.540,47 | 61,62 | 1,92 | 5.779,64 |
| 51 | Dezembro-2019 | 226.894,28 | 4.204,58 | 1.512,63 | 60,51 | 1,92 | 5.779,64 |
| 52 | Janeiro-2020 | 222.689,70 | 4.233,74 | 1.484,60 | 59,38 | 1,92 | 5.779,64 |
| 53 | Fevereiro-2020 | 218.455,96 | 4.263,10 | 1.456,37 | 58,25 | 1,92 | 5.779,64 |
| 54 | Março-2020 | 214.192,86 | 4.292,65 | 1.427,95 | 57,12 | 1,92 | 5.779,64 |
| 55 | Abril-2020 | 209.900,21 | 4.322,42 | 1.399,33 | 55,97 | 1,92 | 5.779,64 |
| 56 | Maiο-2020 | 205.577,79 | 4.352,38 | 1.370,52 | 54,82 | 1,92 | 5.779,64 |
| 57 | Junho-2020 | 201.225,41 | 4.382,56 | 1.341,50 | 53,66 | 1,92 | 5.779,64 |
| 58 | Julho-2020 | 196.842,85 | 4.412,94 | 1.312,29 | 52,49 | 1,92 | 5.779,64 |
| 59 | Agosto-2020 | 192.429,91 | 4.443,54 | 1.282,87 | 51,31 | 1,92 | 5.779,64 |
| 60 | Setembro-2020 | 187.986,37 | 4.474,35 | 1.253,24 | 50,13 | 1,92 | 5.779,64 |
| 61 | Outubro-2020 | 183.512,02 | 4.505,37 | 1.223,41 | 48,94 | 1,92 | 5.779,64 |
| 62 | Novembro-2020 | 179.006,65 | 4.536,60 | 1.193,38 | 47,74 | 1,92 | 5.779,64 |
| 63 | Dezembro-2020 | 174.470,05 | 4.568,06 | 1.163,13 | 46,53 | 1,92 | 5.779,64 |
| 64 | Janeiro-2021 | 169.901,99 | 4.599,73 | 1.132,68 | 45,31 | 1,92 | 5.779,64 |
| 65 | Fevereiro-2021 | 165.302,26 | 4.631,62 | 1.102,02 | 44,08 | 1,92 | 5.779,64 |
| 66 | Março-2021 | 160.670,64 | 4.663,73 | 1.071,14 | 42,85 | 1,92 | 5.779,64 |
| 67 | Abril-2021 | 156.006,91 | 4.696,07 | 1.040,05 | 41,60 | 1,92 | 5.779,64 |
| 68 | Maiο-2021 | 151.310,84 | 4.728,63 | 1.008,74 | 40,35 | 1,92 | 5.779,64 |
| 69 | Junho-2021 | 146.582,21 | 4.761,42 | 977,21 | 39,09 | 1,92 | 5.779,64 |
| 70 | Julho-2021 | 141.820,79 | 4.794,43 | 945,47 | 37,82 | 1,92 | 5.779,64 |
| 71 | Agosto-2021 | 137.026,36 | 4.827,67 | 913,51 | 36,54 | 1,92 | 5.779,64 |
| 72 | Setembro-2021 | 132.198,69 | 4.861,15 | 881,32 | 35,25 | 1,92 | 5.779,64 |
| 73 | Outubro-2021 | 127.337,54 | 4.894,84 | 848,92 | 33,96 | 1,92 | 5.779,64 |
| 74 | Novembro-2021 | 122.442,70 | 4.928,79 | 816,28 | 32,65 | 1,92 | 5.779,64 |
| 75 | Dezembro-2021 | 117.513,91 | 4.962,95 | 783,43 | 31,34 | 1,92 | 5.779,64 |
| 76 | Janeiro-2022 | 112.550,96 | 4.997,37 | 750,34 | 30,01 | 1,92 | 5.779,64 |
| 77 | Fevereiro-2022 | 107.553,59 | 5.032,02 | 717,02 | 28,68 | 1,92 | 5.779,64 |
| 78 | Março-2022 | 102.521,57 | 5.066,90 | 683,48 | 27,34 | 1,92 | 5.779,64 |
| 79 | Abril-2022 | 97.454,67 | 5.102,03 | 649,70 | 25,99 | 1,92 | 5.779,64 |
| 80 | Maiο-2022 | 92.352,64 | 5.137,41 | 615,68 | 24,63 | 1,92 | 5.779,64 |
| 81 | Junho-2022 | 87.215,23 | 5.173,03 | 581,43 | 23,26 | 1,92 | 5.779,64 |
| 82 | Julho-2022 | 82.042,20 | 5.208,89 | 546,95 | 21,88 | 1,92 | 5.779,64 |
| 83 | Agosto-2022 | 76.833,31 | 5.245,01 | 512,22 | 20,49 | 1,92 | 5.779,64 |

| | | | | | | | |
|-----------|----------------|-----------|----------|--------|-------|------|-----------------|
| 84 | Setembro-2022 | 71.588,30 | 5.281,37 | 477,26 | 19,09 | 1,92 | 5.779,64 |
| 85 | Outubro-2022 | 66.306,93 | 5.317,99 | 442,05 | 17,68 | 1,92 | 5.779,64 |
| 86 | Novembro-2022 | 60.988,94 | 5.354,87 | 406,59 | 16,26 | 1,92 | 5.779,64 |
| 87 | Dezembro-2022 | 55.634,07 | 5.391,99 | 370,89 | 14,84 | 1,92 | 5.779,64 |
| 88 | Janeiro-2023 | 50.242,08 | 5.429,37 | 334,95 | 13,40 | 1,92 | 5.779,64 |
| 89 | Fevereiro-2023 | 44.812,71 | 5.467,02 | 298,75 | 11,95 | 1,92 | 5.779,64 |
| 90 | Março-2023 | 39.345,69 | 5.504,93 | 262,30 | 10,49 | 1,92 | 5.779,64 |
| 91 | Abril-2023 | 33.840,76 | 5.543,09 | 225,61 | 9,02 | 1,92 | 5.779,64 |
| 92 | Maior-2023 | 28.297,67 | 5.581,52 | 188,65 | 7,55 | 1,92 | 5.779,64 |
| 93 | Junho-2023 | 22.716,15 | 5.620,22 | 151,44 | 6,06 | 1,92 | 5.779,64 |
| 94 | Julho-2023 | 17.095,93 | 5.659,19 | 113,97 | 4,56 | 1,92 | 5.779,64 |
| 95 | Agosto-2023 | 11.436,74 | 5.698,43 | 76,24 | 3,05 | 1,92 | 5.779,64 |
| 96 | Setembro-2023 | 5.738,31 | 5.738,31 | 38,26 | 1,53 | 1,92 | 5.779,64 |