



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

**ISEL**



## **Análise da influência da manutenção nos consumos energéticos de um complexo de piscinas**

**BRUNO FILIPE ALMEIDA PARREIRA**

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica

Orientadores:

Nuno Paulo Ferreira Henriques

Filipe Martins Rodrigues

Júri:

Presidente: Vitor Manuel Rodrigues Anes

Vogais: José Augusto da Silva Sobral

Filipe Martins Rodrigues

**Dezembro de 2022**





**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

**ISEL**

## **Análise da influência da manutenção nos consumos energéticos de um complexo de piscinas**

**BRUNO FILIPE ALMEIDA PARREIRA**

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Nuno Paulo Ferreira Henriques

Filipe Martins Rodrigues

Júri:

Presidente: Vitor Manuel Rodrigues Anes

Vogais: José Augusto da Silva Sobral

Filipe Martins Rodrigues

**Dezembro de 2022**

**Página deixada intencionalmente em branco**

## **Agradecimentos**

A realização deste trabalho final de mestrado que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e ao apoio de algumas pessoas, às quais não poderia deixar de prestar todo o meu reconhecimento e gratidão.

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, Especialista Nuno Paulo Ferreira Henriques e Doutor Filipe Martins Rodrigues. pelos conselhos e críticas, pelo tempo despendido nas leituras e todo o *feedback* necessário para a conclusão deste trabalho, o qual não seria possível sem a sua ajuda.

Agradecer à Junta de Freguesia de Marvila pelas explicações, fornecimento de dados e o esclarecimento de dúvidas que surgiram ao longo da realização deste trabalho, bem como a disponibilidade prestada.

Aos meus pais, família e amigos pelo apoio incondicional que me deram ao longo do curso de Engenharia Mecânica, pois sem eles não teria sido possível chegar onde cheguei.

A todos, muito obrigado.

**Página deixada intencionalmente em branco**

## **Lista de Siglas**

AQS – Águas Quentes Sanitárias

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BACnet - Building Automation and Control Networks

BIM – Building Information. Modeling

CPC – Coletores Concentradores Parabólicos

GDL – Geometric Description Language

GTC – Sistemas de Gestão Técnica Centralizada

I4.0 – Indústria 4.0

IoT – Internet of Things

LBNL – Lawrence Berkeley National Laboratory

M2M - Machine to Machine

MES – Manufacturing Execution Systems

ML – Machine Learning

OT – Ordem de Trabalho

PCM – Plano de Controlo de Manutenção

PMP – Plano de Manutenção Preventiva

PMVF – Piscina Municipal Vale do Fundão

RFID – Radio-Frequency Identification

SAHS - Sandometal Air Handling Software

SGE – Sistemas de Gestão de Edifícios

UPS - Uninterruptible Power Supply

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo

**Página deixada intencionalmente em branco**

## **Resumo**

Numa altura em que o mundo e em particular a Europa atravessam uma crise energética, as metas ambientais são desvalorizadas e adiadas pelos principais atores da economia mundial, os impactos ambientais resultantes desta alteração comprometem a sobrevivência das atuais e futuras gerações.

A manutenção e redução dos consumos energéticos são fundamentais para a diminuição de custos tanto energéticos como de produção e redução dos impactos ambientais com origem na geração de energia. Recorrendo à manutenção preventiva, será possível prolongar a vida útil e melhorar a eficiência de uma infraestrutura ou equipamento. Sendo assim, é imperativo que os edifícios se encontrem equipados com ferramentas capazes de executar uma gestão e manutenção da infraestrutura desde o seu planeamento até à fase de uso da mesma. O recurso designado de gestão da manutenção preventiva possibilita a construção dos históricos de manutenção, monitorização de consumos e custos, controlo de custos com as atividades de manutenção do edifício e da criação de relatórios e análises de indicadores de manutenção.

De forma que esta gestão da manutenção seja possível foram criadas metodologias capazes de executar este tipo de gestão, como é o caso do *Building Information Modeling*, aumentando assim o catálogo de ferramentas capazes de executar tarefas de grande importância na análise quantitativa, para a melhor funcionalidade de um edifício.

O presente trabalho final de mestrado propõe uma metodologia para análise de um sistema de gestão de manutenção, na qual se apontam vantagens com a aplicação de ferramentas tecnológicas desenvolvidas no âmbito do conceito da Indústria 4.0 e como desvantagem a não existência de métricas desenvolvidas para os complexos de piscinas. Será igualmente feita uma análise aos diversos equipamentos energéticos (unidade de tratamento de ar, caldeiras, coletores solares), relativamente aos consumos, bem como um novo dimensionamento de equipamentos melhorando a eficiência e reduzindo a energia necessária. Após o novo dimensionamento, recorrendo às ferramentas da Indústria 4.0, serão aplicados instrumentos de monitorização e automatização recorrendo a equipamentos de automação de aplicação a edifícios, bem como a implementação de uma plataforma digital de controlo de manutenção preventiva e corretiva.

**Palavras-chave:** Manutenção, PCM, Eficiência energética, BIM; Indústria 4.0;

## **Abstract**

At a time when the world and particularly Europe are going through an energy crisis, environmental goals are devalued and postponed by the main actors of the world economy, the environmental impacts resulting from this change compromise the survival of current and future generations.

The maintenance and reduction of energy consumption are fundamental for the reduction of both energy and production costs and the reduction of environmental impacts from energy generation. By using preventive maintenance, it will be possible to extend the useful life and improve the efficiency of an infrastructure or equipment. Therefore, it is imperative that buildings are equipped with tools capable of managing and maintaining the infrastructure from its planning to its use phase. The resource called preventive maintenance management allows the construction of maintenance histories, monitoring consumption and costs, controlling costs with the building's maintenance activities and the creation of reports and analysis of maintenance indicators.

For this maintenance management to be possible, methodologies capable of performing this type of management were created, as is the case of Building Information Modeling, thus increasing the catalog of tools capable of performing tasks of great importance in quantitative analysis, for the best functionality of a building.

The present master's final work proposes a methodology for the analysis of a maintenance management system, in which advantages are pointed out with the application of technological tools developed in the scope of the Industry 4.0 concept and as a disadvantage the non-existence of metrics developed for swimming pool complexes. An analysis of the several energy equipments (air treatment unit, boilers, solar collectors) will also be done, regarding consumption, as well as a new dimensioning of equipments improving efficiency and reducing the energy needed. After the new sizing, using the tools of Industry 4.0, monitoring and automation tools will be applied using automation equipment for buildings, as well as the implementation of a digital platform to control preventive and corrective maintenance.

**Keywords:** Maintenance, PCM, Energy; Efficiency, BIM; Industry 4.0;

## Índice

Agradecimentos .....	i
Lista de Siglas.....	iii
Resumo .....	v
Abstract.....	vi
Índice .....	vii
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas .....	xi
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos .....	1
1.3. Estrutura do documento .....	1
2. Estado da arte .....	3
2.1. Indústria 4.0.....	3
2.2. <i>Building Information Modelling</i> .....	12
2.3. Manutenção .....	19
3. Componentes de uma piscina .....	29
3.1. Bombas Circuladoras .....	29
3.2. Permutadores.....	30
3.3. Coletores Solares Térmicos.....	32
3.4. Caldeira .....	34
3.5. Unidade de tratamento de ar.....	36
3.6. Águas Quentes Sanitárias.....	38
3.7. Resumo do capítulo.....	39
4. Caso de estudo PMVF.....	40
4.1. Descrição do Complexo de Piscinas Municipal Vale do Fundão.....	40
4.2. Análise energética .....	42

4.3.	Modelação da PMVF .....	49
4.4.	Dimensionamento de componentes para PMVF .....	54
4.5.	Melhoria da instalação .....	61
4.6.	Implementação de controlo de manutenção .....	66
4.7.	Análise de custos .....	68
4.8.	Contribuição do sistema de monitorização na otimização energética .....	72
4.9.	Resumo do capítulo .....	73
5.	Conclusões .....	75
	Referências bibliográficas .....	76
	ANEXOS .....	81
	ANEXO A – PLANTA DA PMVF .....	82
	ANEXO B – CONSUMOS ELÉCTRICOS NO PERIODO DE 2019 A 2020 .....	83
	ANEXO C – CONSUMOS TÉRMICOS NO PERIODO DE 2019 A 2020 .....	84
	ANEXO D – CONSUMOS DE ÁGUA NO PERIODO DE 2019 A 2020 .....	85
	ANEXO E – TRANSFERÊNCIAS DE CALOR .....	86
	ANEXO F – DIMENSIONAMENTO DA UTA .....	89

## Índice de Figuras

Figura 1 - Tarefas de gestão e planeamento da produção classificadas com base nas sequências temporais da sua realização (adaptado) [1] .....	4
Figura 2 - Evoluções Industriais [5] .....	5
Figura 3 - Análise preditiva em blocos de um edifício principal [10].....	8
Figura 4 -Esquema de funcionamento módulos de fabricantes (adaptado) [12] .....	9
Figura 5 -Sistema BACnet [12] .....	10
Figura 6 – Menu inicial do programa moduWeb Vision [12] .....	11
Figura 7 - Ciclo de Vida do BIM [17].....	12
Figura 8 - Conexão entre o BIM e construção de baixa energia, (Imagem adaptada) [16] .....	13
Figura 9 - Domínio sustentável e contradomínio estrutural (imagem adaptada) [21] .....	16
Figura 10 -Exemplo do programa Energyplus [29].....	18
Figura 11 - Menu inicial do programa Revit .....	19
Figura 12 – Diagrama dos modelos de manutenção [33] .....	21
Figura 13 - Abordagem processual para o planeamento da manutenção prescritiva. (Imagem Adaptada)[38].....	24
Figura 14 - Tempos de Manutenção (adaptado) [41] .....	26
Figura 15 - Menu inicial de acesso à aplicação de manutenção [42] .....	28
Figura 16 - Bomba Circuladora de água.....	29
Figura 17 - Degradação de uma bomba circuladora.....	30
Figura 18 - Permutador de placas (Piscina municipal Vale do Fundão) .....	31
Figura 19 - Incrustações num permutador (Piscina de Almada) .....	32
Figura 20 - Coletores solares presentes na PMVF.....	34
Figura 21 - Caldeira presente na piscina Vale do Fundão .....	35
Figura 22 - UTA presente na piscina Vale do Fundão .....	38
Figura 23 – Depósitos de AQS presentes na piscina Vale do Fundão.....	39
Figura 24 - Piscina Municipal Vale do Fundão [48] .....	40
Figura 25 – Planta do piso 0 da PMVF [49].....	41

Figura 26 - Consumos anuais de eletricidade dos anos 2019 e 2020 .....	42
Figura 27 - Consumos mensais de eletricidade ao longo de 2019 e 2020.....	43
Figura 28 - Consumos anuais de gás natural dos anos 2019 e 2020.....	44
Figura 29 - Consumos mensais de gás natural ao longo de 2019 e 2020 .....	45
Figura 30 - Conversão de gás natural para energia térmica.....	46
Figura 31 - Consumos anuais de água ao longo de 2019 e 2020.....	46
Figura 32 – Consumos mensais de água ao longo de 2019 e 2020 .....	47
Figura 33 - Modelação da PMVF em Revit .....	49
Figura 34 - Modelação da estrutura PMVF em Revit.....	50
Figura 35 - Corte da PMVF em Revit .....	51
Figura 36 - Exemplo de organização de ativos.....	51
Figura 37 - Exemplo de criação de ativos .....	52
Figura 38 - Exemplo de pedido de intervenção .....	52
Figura 39 - Exemplo de ordem de trabalho .....	53
Figura 40 - Exemplo planeamento manutenções preventivas .....	53
Figura 41 - Foco principal da análise energética .....	54
Figura 42 – Área de estudo para o cálculo de coletores solares .....	55
Figura 43 - Menu inicial do Programa SolTerm.....	56
Figura 44 - Características colocadas no programa SolTerm.....	57
Figura 45 - Resultados obtidos no programa Solterm .....	58
Figura 46 - Comparação energética da PMVF com e sem coletores.....	59
Figura 47 - Custos de aquisição de coletores solares .....	59
Figura 48 – UTA dimensionada em SAHS .....	60
Figura 49 - Exemplo do serviço de web de um fabricante de referência.....	66
Figura 50 - Mecanismos de transferência de calor [54] .....	86

## **Índice de Tabelas**

Tabela 1 - Técnicas BIM do ciclo de vida, pós construção [19] .....	14
Tabela 2 - Áreas de espaços na PMVF .....	41
Tabela 3 - Dados de análise energética .....	48
Tabela 4 - Dados de análise energética .....	48
Tabela 5 - Características da UTA dimensionada .....	60
Tabela 6 - Modelo selecionado da caldeira .....	61
Tabela 7 – Módulo de automação selecionado .....	62
Tabela 8 - Sensor de temperatura e humidade .....	63
Tabela 9 – Sistema modu680-AS .....	64
Tabela 10 - Sistema Ey-WS 500 (Servidor de web) .....	65
Tabela 11 - Comparação energética de coletores solares .....	69
Tabela 12 - Potência total da UTA dimensionada .....	70
Tabela 13 - Custo unitário de equipamentos SAUTER .....	71
Tabela 14 - Comparação energética elétrica da PMVF .....	71
Tabela 15 - Comparação energética térmica da PMVF .....	72

**Página deixada intencionalmente em branco**

# **1. Introdução**

## **1.1. Enquadramento**

Em 2021, na conferência das Nações Unidas sobre mudança do clima (COP26), os líderes mundiais chegaram a acordo sobre novos objetivos em matéria de luta contra as alterações climáticas. Sendo uma questão que exige que todos os países do mundo trabalhem em conjunto para a finalização das regras sobre os aspetos operacionais do Acordo de Paris (Regras de Katowice).

Neste trabalho pretende-se realizar uma melhoria, tanto a nível energético bem como estrutural através da implementação de ferramentas de monitorização e automatização na piscina municipal Vale do Fundão em Lisboa. Desta forma, para que a realização deste trabalho fosse possível, foi estabelecido o contacto entre a Junta de Freguesia de Marvila, procedendo-se à recolha de dados (Ex: faturas energéticas, consumos, peças desenhadas, entre outros). Após a aquisição de dados, realizou-se um estudo de consumos energéticos, procedeu-se a um novo dimensionamento de equipamentos, tendo sido implementado posteriormente novas ferramentas para uma melhor gestão de manutenção, recorrendo às ferramentas tecnológicas alavancadas pela Indústria 4.0 (I4.0).

## **1.2. Objetivos**

Esta dissertação tem como principais objetivos avaliação, otimização e redução de consumos energéticos de um complexo de piscinas, bem como uma melhoria do funcionamento nos seus equipamentos, através da implementação de uma manutenção preditiva, utilizando ferramentas da I4.0, bem como a implementação de sistemas de monitorização e automatização da piscina.

## **1.3. Estrutura do documento**

O presente trabalho está subdividido em cinco capítulos, dos quais o presente constitui a introdução do tema em estudo, descrevendo os objetivos e metodologia:

No Capítulo 2, no estado da arte, será feita uma introdução aos princípios teóricos gerais que se consideram importantes para a compreensão do trabalho realizado.

O Capítulo 3, apresenta uma introdução teórica a conceitos mais específicos que serão frequentemente abordados ao longo do trabalho, nomeadamente, componentes do sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), mecanismos de ventilação, bombas de água e tubagem.

O Capítulo 4, aborda um caso de estudo prático onde será feita a descrição do edifício e as características principais do mesmo relativas ao sistema de climatização, consumos energéticos, comparação entre os equipamentos presentes e os equipamentos calculados, bem como a implementação de um sistema de monitorização e automatização utilizando as ferramentas da I4.0.

Finalmente, no Capítulo 5, será feita uma síntese relativa ao trabalho final de mestrado, identificando os resultados que se obteve neste caso de estudo, bem como a apresentação de uma melhoria no trabalho proposto.

## 2. Estado da arte

Neste capítulo é apresentado o estado da arte das tecnologias referentes à I4.0 e *Building Information Modeling* (BIM), bem como os diversos tipos de manutenção e o uso de ferramentas de manutenção preditiva.

### 2.1. Indústria 4.0

A I4.0, também conhecida como a "Quarta Revolução Industrial", está atualmente a transformar a nossa sociedade. Como consequência, os setores primários, secundários e terciários estão sujeitos a alterações. Nesse contexto, a I4.0 está a transformar os modelos de negócios das empresas de manufatura, sendo reconhecida pelas mesmas como uma oportunidade para desenvolver a competitividade nas suas operações e aumentar a eficiência organizacional [1].

As novas tecnologias podem suportar flexibilidade, eficiência e produtividade na produção via comunicação, informação e inteligência. As tecnologias da I4.0 incluem a fabricação aditiva, inteligência artificial análise de dados e *cloud*, proporcionando uma inovação e crescimento de competitividade, bem como, melhorar a sustentabilidade do sistema industrial atual [2].

As tecnologias da I4.0 são relativamente novas nos países em desenvolvimento, subdesenvolvidos e nas pequenas e médias empresas, pelo que uma aceitação mais ampla requer uma compreensão e desenvolvimentos mais aprofundados [3].

A manutenção industrial é definida de acordo com a Associação Portuguesa de Certificação, norma NP 4492, "as atividades relacionadas com a manutenção têm um peso significativo no orçamento das organizações. A otimização dos custos e a disponibilidade dos equipamentos leva cada vez mais as organizações a procurarem um equilíbrio entre os constrangimentos orçamentais e a qualidade do serviço prestado pelo equipamento." A gestão dos processos de manutenção deve garantir a mudança de uma orientação funcional para uma de processos. Para esse fim, as tarefas de gestão de manutenção são: planeamento, controlo, análise e execução [1]. Através da Figura 1, será possível observar a estratégia utilizada para gerir as diversas tarefas.

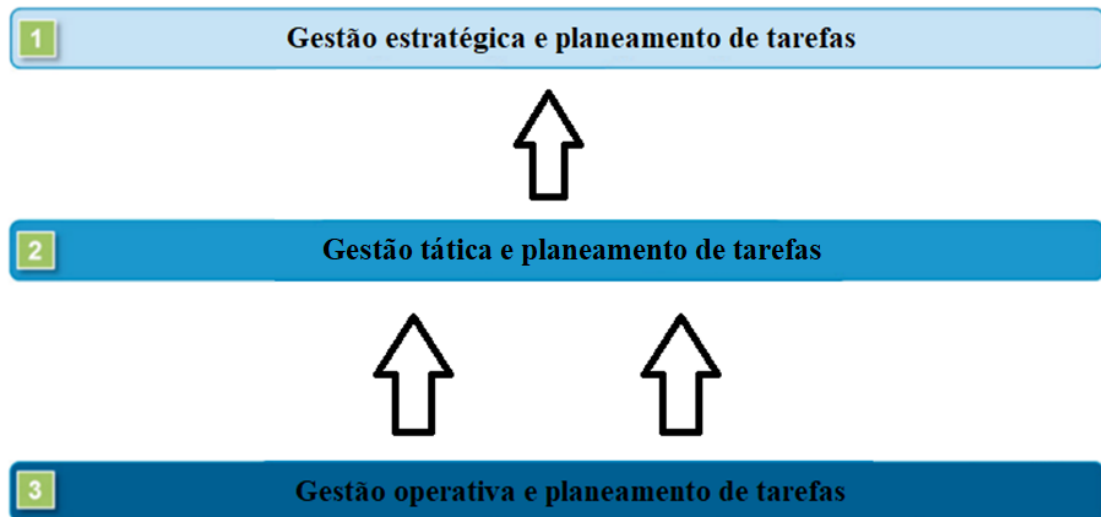


Figura 1 - Tarefas de gestão e planeamento da produção classificadas com base nas sequências temporais da sua realização (adaptado) [1]

Para que seja possível realizar a transição para uma I4.0 e consequentemente uma transformação digital, são decisivos os seguintes pontos chave [1]:

- Dados digitais;
- Automação;
- Conectividade;
- Acesso digital.

### 2.1.1. Conceito

O conceito da I4.0 teve origem num projeto estratégico de alta tecnologia criado e desenvolvido pelo governo alemão, cujo objetivo era a promoção da informatização da indústria. Falar em I4.0 significa focar as empresas na total digitalização dos ativos físicos dotando a indústria com ferramentas que lhe vão permitir trabalhar de uma forma mais independente e inteligente, permitindo a sua integração em ecossistemas digitais com os vários parceiros da cadeia de valor [4]. Surge assim, a possibilidade de as máquinas comunicarem umas com as outras, num sistema chamado *machine to machine* (M2M), que permite através da informação disponibilizada (*big data*) decidir o modo de produção.

O desenvolvimento da indústria pode ser identificado através das seguintes fases de evolução (Figura 2):

- A primeira revolução industrial começou no século XVIII através do uso de energia a vapor e mecanização da produção;

- A segunda revolução industrial começou no século XIX através da descoberta de eletricidade e produção de linhas de montagem;
- A terceira revolução industrial começou nos anos 70 do século XX através de automação parcial, usando controlos e computadores programáveis por memória;
- Atualmente, está a ser implementada a quarta revolução industrial, caracterizada pela aplicação de tecnologias de informação e comunicação à indústria, sendo apelidada de I4.0.

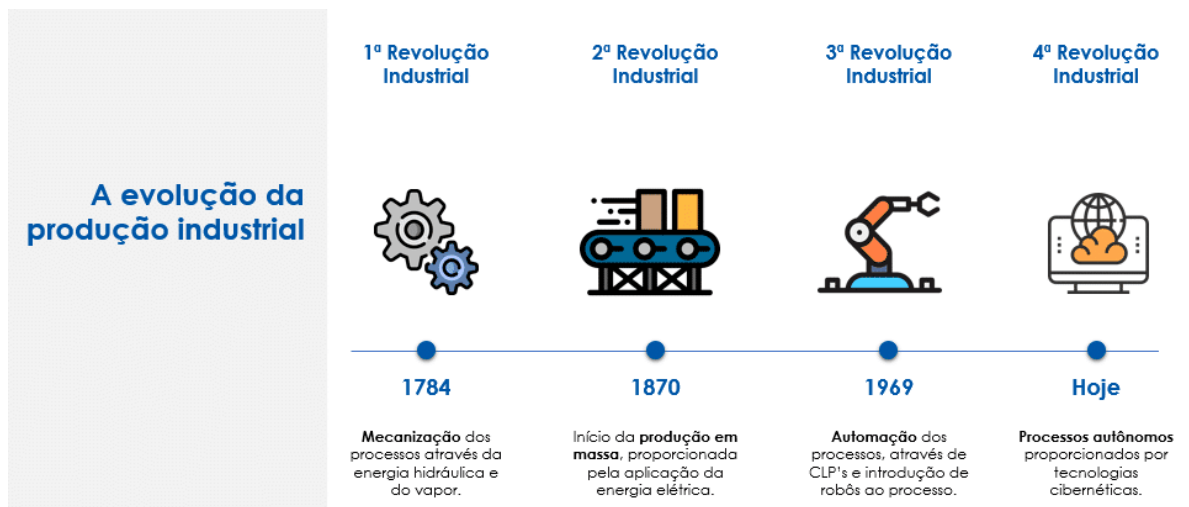


Figura 2 - Evoluções Industriais [5]

### 2.1.2. Princípios

A I4.0 destaca-se pela total digitalização dos ativos físicos e na sua integração em ecossistemas digitais. Desta forma, foram criados sistemas de produção inteligentes que significam a junção de tecnologias físicas e digitais, bem como a integração de todas as etapas do desenvolvimento de um produto, contribuindo de uma forma positiva para o aumento da produtividade e eficiência. Este tipo de processo assenta nos seguintes princípios básicos [6]:

- Digitalização e automatização de todo o processo, permitindo melhorias no aproveitamento dos recursos humanos e materiais;
- Tratamento de dados em tempo real identificando todas as etapas do processo quando estas acontecem, garantindo assim o controlo da qualidade e uma maior assertividade na tomada de decisões;

- Monitorização e rastreabilidade de todos os produtos e processos *track-and-trace* que permitam melhorar o desempenho de inventários, tornando a rede de produção mais eficiente;
- Tomada de decisões realizadas por sistemas ciber-físicos, na maioria dos sensores *Manufacturing Execution Systems* (MES) que atuam em função das necessidades, possibilitando uma produção em tempo real, a obtenção de melhores rendimentos na utilização de máquinas e reduções nos tempos de produção;
- Fornecimento de informações sobre o seu ciclo de trabalho permitindo manutenções preventivas de forma a otimizar os períodos de manutenção, além das máquinas receberem comandos;
- Produção de acordo com a procura que permite utilizar apenas os recursos necessários para a realização de cada tarefa, garantindo a otimização na produção e a economia de energia;
- Maior disponibilidade para a customização dos produtos, adaptáveis às necessidades dos clientes.

### 2.1.3. Ferramentas

A I4.0 atraiu confiança internacional entre produtores focados em tecnologia. O desenvolvimento da I4.0 está agora num caminho sem retornos. Esta situação será um desafio competitivo para empresas interessadas na sobrevivência a longo prazo com desempenho adequado.

Vários termos são considerados como simplificadores de tecnologias da I4.0, incluindo [7]:

- a) A tecnologia que fornece conectividade entre máquinas, sensores, dispositivos móveis e torna os dados mais acessíveis;
- b) Um ambiente para armazenar grandes dados não estruturados, estruturados e semiestruturados de várias fontes, com o objetivo de fornecer informações rápidas e precisas na tomada de decisões;
- c) Computação em *cloud*, sendo este um armazenamento de dados de acesso remoto e rápido;
- d) Sistemas físicos virtuais, os quais consistem num sistema em tempo real combinado por abordagens computacionais e estatísticas para extrair dados de sistemas físicos com o objetivo de indicar a melhor decisão;
- e) Fabricação aditiva, sendo esta uma tecnologia que compreende o depósito de um material, camada sobre camada;
- f) Realidade aumentada, permitindo que o ser humano interaja com objetos virtuais;

g) Inteligência artificial, a qual representa e gere o conhecimento para atingir a meta proposta;

O conceito de modelo de negócio aqui gera uma compreensão de como as organizações podem usar a I4.0 para fornecer ofertas de valor adequadas e modelos de preços aos seus clientes. O objetivo é mostrar se e como a busca da I4.0 reflete em inovações no modelo de negócio de fabricação, ou seja, uma criação de valor, captura de valor e ofertas de valor. Além disso, como os investigadores apontam, a necessidade de analisar as implicações sociais da I4.0 mais notavelmente, a *internet*, a qual pode permitir a criação de redes virtuais para apoiar a fábrica inteligente na I4.0 [8].

#### **2.1.4. *Machine learning* aplicada à manutenção**

A aprendizagem automática, também conhecida na nomenclatura completa anglo-saxónica por *Machine Learning* (ML), consiste em extrair conhecimento dos dados. Ou seja, consiste num campo de pesquisa na intersecção estatística, inteligência artificial e em dados informáticos sendo igualmente conhecido como análise preditiva ou aprendizagem estatística. A aplicação de métodos de ML nos últimos anos tornou-se omnipresente na vida quotidiana, como por exemplo a utilização em sites e dispositivos modernos, os quais possuem algoritmos de ML na sua essência [9].

Quando se trata de manutenção preditiva com ML, incluímos principalmente a deteção automática de anomalias. O passo seguinte é identificar automaticamente dados e eventos de anomalias, encontrar correlações, e fazer recomendações de precaução o que, em última análise, poupa muito tempo e custos. A grande vantagem da ML é que pode ajustar-se dinamicamente a novos dados e compreender o que acontece em tempo real, detetando e alertando o utilizador para problemas graves.

Recorrendo à Figura 3 [10], é possível observar um procedimento funcional de análise preditiva, baseado em técnicas de ML, para prever falhas futuras de máquinas. O objetivo, consiste em:

- a) Construir um modelo de previsão, com base nos dados históricos, por meio de algoritmos de ML;
- b) Aplicar um modelo em tempo real de novos fluxos de dados recebidos e assim identificar possíveis falhas.

Uma arquitetura de dois níveis explora a computação de ponta. Para abordar a fase (a) foi proposta a *cloud*, a qual explora recursos ilimitados, enquanto a fase (b), requer menos recursos de computação, é executada no limite, devido a recursos limitados e ao aumento da capacidade de resposta. O bloco de dados inteligentes obtém recursos estáticos relevantes dos dados brutos, suportando o objetivo de manutenção preditiva. Dados inteligentes representam as principais

características dos dados brutos, bem como informações de contexto sobre como os dados foram obtidos e as condições operacionais do equipamento do qual foram adquiridos.

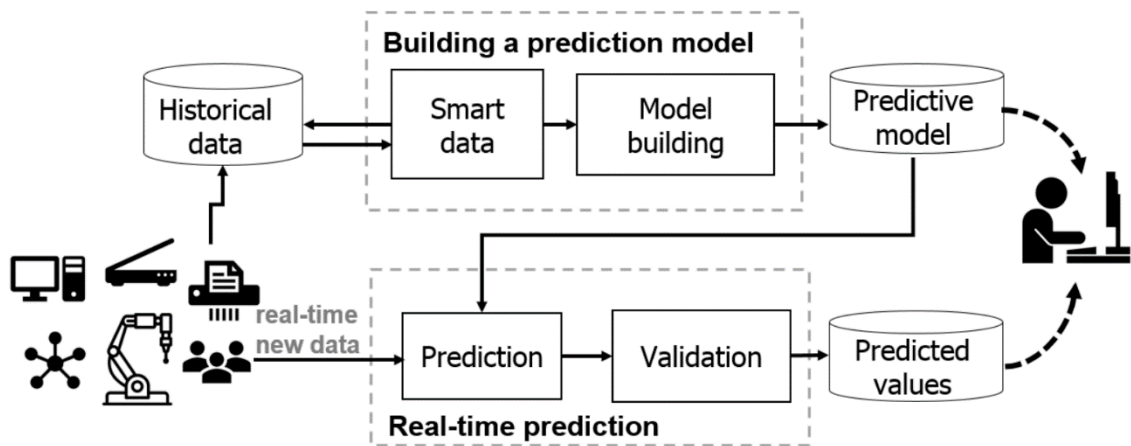


Figura 3 - Análise preditiva em blocos de um edifício principal [10]

### 2.1.5. Gestão de edifícios

O conceito de rede de controlo foi adotado em Sistemas de Gestão de Edifícios (SGE) por mais de 20 anos, permitindo uma melhor coordenação de diferentes sistemas de edifícios, serviços e conveniência de gestão. Num SGE integrado, existem vários tipos de dispositivos de controlo de diferentes fabricantes. A comunicação entre esses dispositivos é essencial para a integração. Interoperabilidade, a capacidade de conectar vários SGE de diversos fabricantes, está entre as questões mais importantes para construir essa comunicação [11].

Na Figura 4, pode-se observar o esquema de funcionamento dos equipamentos de um fabricante de referência e a sua ordem de funcionamento entre todos os componentes.

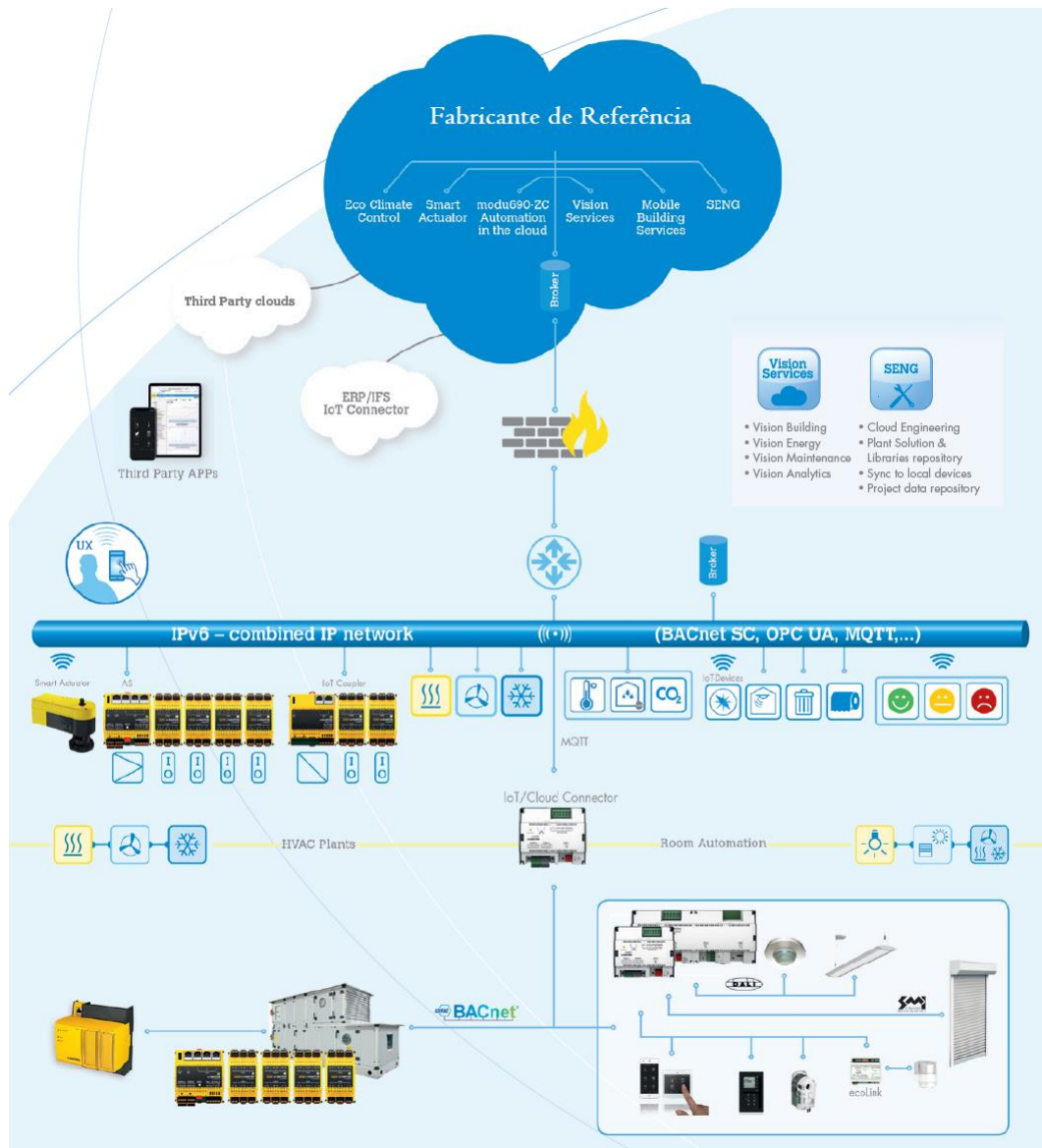


Figura 4 -Esquema de funcionamento módulos de fabricantes (adaptado) [12]

Analisando a Figura 4 podemos observar uma junção dos sistemas tradicionais com a IoT (*Internet of Things*) e a nuvem (*Cloud*), permitindo uma comunicação entre todos os componentes, reunindo o aquecimento, ventilação e ar condicionado num único sistema. A análise dos dados de funcionamento e utilização na nuvem permite uma otimização contínua e constitui a base para um funcionamento sustentável e económico.

### 2.1.5.1. Sistema Automático de Gestão de Edifícios

O objetivo principal de um SGE voltados para o futuro é o poder dos sistemas técnicos. Na era da digitalização e da IoT, o processamento rápido e confiável de grandes quantidades de dados está-se a tornar cada vez mais importante. A tecnologia de um edifício eficiente requer uma comunicação em tempo real com uma variedade de dispositivos em rede. A densidade crescente de produção, escritório e espaço residencial requer dispositivos cada vez menores [13].

A solução de SGE deverá ser uma ferramenta modular e de multiplataforma, baseada no protocolo de comunicação BACnet/IP aberto via *Ethernet* e quaisquer redes existentes. A ferramenta deverá permitir uma troca completa de dados para funções complexas de gestão de edifícios, incluindo ar condicionado com precisão, funções de alarme e proteção contra incêndio, bem como automação de ambiente conveniente, estando todos os componentes integrados num único sistema [13]. A título de exemplo o módulo EY-modulo 5 do fabricante suíço, Sauter.

#### BACnet

BACnet significa *Building Automation Control network*. O BACnet é um protocolo de comunicação de dados desenvolvido pela ASHRAE. O BACnet é conhecido como "padrão ANSI / ASHRAE 135-2016" e também como o padrão internacional "ISO 16484-5". Em que o objetivo é uniformizar a comunicação entre dispositivos de automação de diferentes fabricantes, permitindo que os dados sejam partilhados e os equipamentos partilhados em conjunto com facilidade com os diversos sistemas de energia [13]. A Figura 5 ilustra a uniformização de informação partilhada entre os diversos dispositivos.

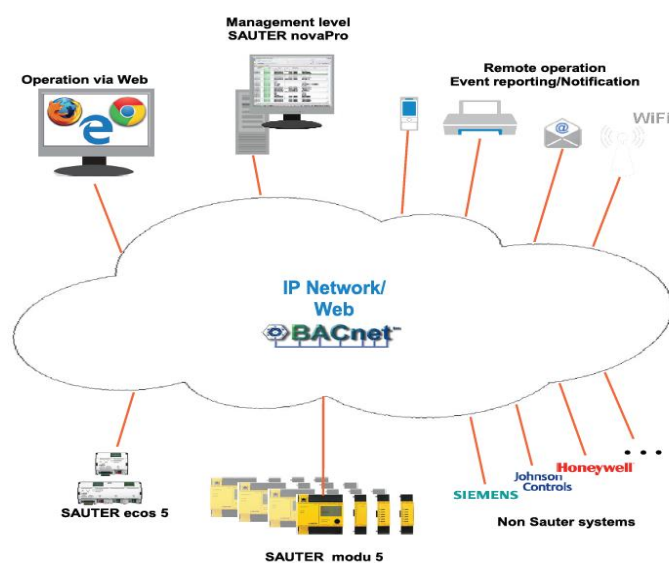


Figura 5 -Sistema BACnet [12]

## Operação e monitorização

A operação e monitorização intuitiva do SGE a partir de qualquer computador ou dispositivo de rede utilizando um navegador de internet deverá ser digitalizada via web (Figura 6), a título de exemplo, à semelhança da solução moduWeb Vision proposta pelo fabricante suíço, Sauter. Este acumula dados de registos dos dispositivos conectados e exibe em diagramas e tabela, sendo também possível operar facilmente as programações BACnet dos sistemas de automação através da rede em apenas um lugar.

O acesso às peças desenhadas e sistemas de equipamentos individuais pode ser controlado via administração do utilizador. De forma a ser possível comunicar com os sistemas de automação, o sistema de operação e monitorização utiliza o padrão Protocolo BACnet / IP, o que significa que os sistemas de automação podem ser combinados num único sistema, bem como de outros fabricantes [12].

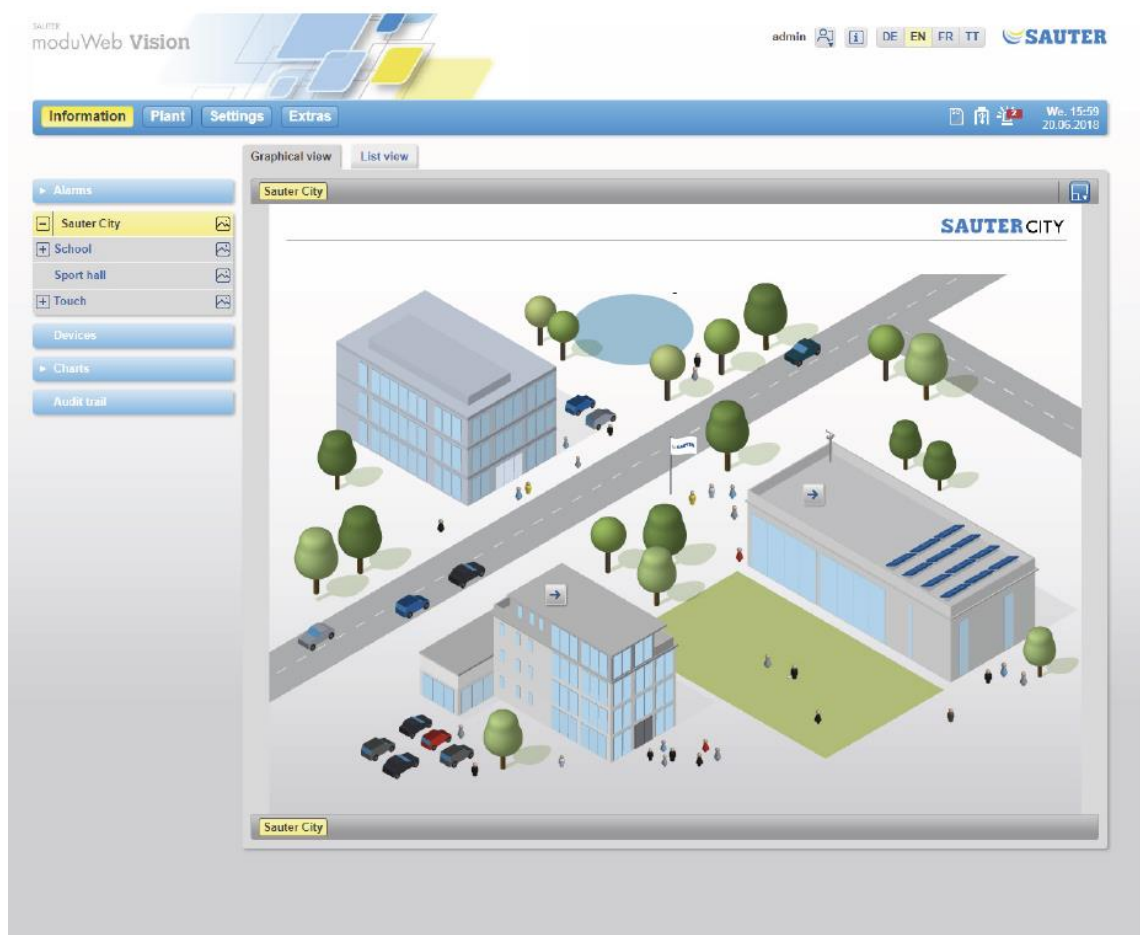


Figura 6 – Menu inicial do programa moduWeb Vision [12]

## 2.2. Building Information Modelling

O conceito BIM assenta, essencialmente, numa metodologia de partilha da informação entre todos os intervenientes, durante as fases do ciclo de vida de um edifício. A Figura 7 identifica as fases, nomeadamente o projeto, construção, manutenção e demolição [14].

O BIM, é um processo inteligente baseado num modelo 3D que fornece aos profissionais, (arquitetura, engenharia, construção, investidores, etc) as informações e ferramentas para planear, projetar, construir e gerir com mais eficiência as infraestruturas [15] mantendo informações produzidas durante o ciclo de vida do projeto relativas à manutenção e aplicadas a vários campos. Utilizando o sistema baseado em BIM, uma das vantagens é a determinação da quantidade de energia de um edifício em construção que se pode economizar, através do qual, a meta de economia de energia pode ser definida e que alternativas podem ser adotadas em vários projetos e instalações. Se a eficiência energética poder ser estimada na fase inicial da construção de um edifício e o projeto de suporte de energia for realizado adequadamente, então aumentará a eficiência económica. Desta forma, adaptando o BIM à tecnologia, seria possível fazer melhor uso de uma variedade de informações produzidas no campo da engenharia e diversos serviços [16].



Figura 7 - Ciclo de Vida do BIM [17]

Através da Figura 8, será possível observar os diferentes métodos de projetar infraestruturas com eficiência energética concentrada na fase inicial do projeto do edifício. Um estudo efetuado por Yoon *et al* [16], consiste numa etapa de maior influência nas condições ambientais e no desempenho energético, com base no conteúdo da análise de cada tecnologia de componente e no processo de construção existente. Provando que o BIM também pode gerar e manter informações produzidas durante todo o ciclo de vida de um edifício projeto desde a sua conceção à manutenção podendo ser aplicado a vários campos.

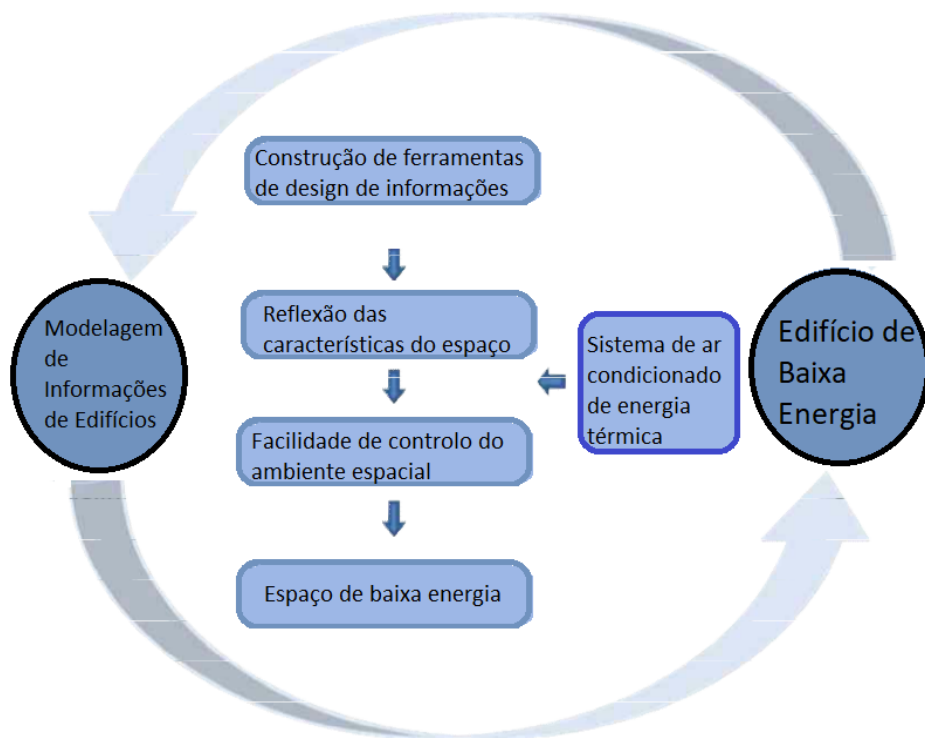


Figura 8 - Conexão entre o BIM e construção de baixa energia, (Imagem adaptada) [16]

Uma das fases mais importantes num projeto consiste na fase de aquisição, sendo esta o processo de conceção e construção. Devido à natureza colaborativa, os participantes são capazes de trabalhar em unísono para projetar, construir e entregar um ativo. O processo de conceção e construção têm sido o foco principal para a implementação do BIM [18].

Outra forma de melhorar a eficiência energética, consiste na utilização de edifícios de baixo consumo de energia os quais podem ser realizados com projetos que fazem um melhor uso do

ambiente e da natureza circundantes e utilização forte de novas energias renováveis, como calor solar e energia eólica com vista na economia de energia e proteção do meio ambiente [16].

Hoseinia *et al* [19] comprovaram que atualmente, o BIM é uma ferramenta utilizada na vida útil de um edifício, no entanto, enfrenta algumas limitações (Tabela 1). Com base nessas limitações, as direções futuras sugeridas para pesquisas em tecnologias específicas incluem:

- a) A capacidade de aquisição de dados por meio de *scan* 3D baseada em BIM foi validada pelas pesquisas atuais quando as tecnologias de processamento de dados em *cloud* de pontos ainda precisam ser atualizadas;
- b) Um edifício inteligente atual só pode fazer sentido no controlo remoto para aparelhos, enquanto estes necessitam de se auto-programar no futuro;
- c) As tecnologias *cloud* BIM estão agora a ser aplicadas como um armazenamento de dados móvel e devem ser desenvolvidas de uma maneira mais detalhada em determinada visão profissional;

Tabela 1 - Técnicas BIM do ciclo de vida, pós construção [19]

Aspect	Achievement	Approach	Limitation
Scanning	Automate the process of as-built 3D laser scanned data	Scan-to-BIM Scan-vs-BIM	Need to be confirmed with more complex scenarios
Quality Inspection	Dimensional and surface quality assessment of precast concrete elements	3D laser scanning BIM	Limited to the single type of element, single type of scanner, the measurement noise of the sensor
As-built 3D reconstruction	Automate the process of as-built 3D reconstruction of civil infrastructure	Computer vision-based algorithms	Occlusion, accessibility, visibility, missing data, moving objects, harsh jobsite conditions, camera calibration
Structural Simulation	Convert a historic BIM into a finite element model for structural simulation	Cloud-to-BIM-to-FEM	Can be used only for modern and regular buildings with predefined object libraries
Monitoring	Monitor the environmental impacts of construction in VR	Green BIM	The lack of computer tools and the complications of the BIM models
Building energy visualization system	Visualize the process of low energy building design	BIM-GIS Web-based Visualization System	Limited in user access control and the difference in standards and data description, data format conversion
Low-carbon building (LCB) measures assessment	Select LCB measures	PROMETHEE Fuzzy LCB measures BIM	N/A
Facility Management	Improve building management and performance	7D BIM RFID	N/A
LEED certification	Integrate BIM with LEED system	BIM LEED system	This method is limited in the LEED instead of the general framework of sustainability

Por um lado, as tecnologias BIM devem ser integradas em apenas uma plataforma para manter a continuidade dos fluxos de trabalho. As abordagens de troca de informações devem ser investigadas continuamente, com um certo protocolo ou padrões. Por outro lado, a pesquisa e o desenvolvimento orientados, para a disciplina podem melhorar a eficiência e a eficácia da estrutura de desempenho, sendo necessário focar na otimização destes aplicativos.

Um estudo apresentado por Eleftheriadis *et al* [20], explora as dimensões de engenharia de processos de tomada de decisão comuns dentro de sistemas de BIM incluindo métodos de otimização, construção e segurança, código de restrições e limitações de conformidade, os quais demonstram que o BIM pode oferecer os benefícios adicionais evitando potenciais conflitos de ambos os índices de desempenho energético eficiente e de engenharia. Assim, integrando o BIM, é considerado como uma questão urgente atuar nos padrões de sustentabilidade e proteger o ambiente [21]. Ampliando a sustentabilidade ambiental ao longo do ciclo de vida do edifício contribuindo para o crescimento económico de um país.

### **2.2.1. Partilha de informação**

De modo que seja possível projetar um edifício sustentável, são necessários métodos que forneçam processos com informações sobre o produto e que permitam a comparação de opções de projeto com facilidade ou com barreiras razoáveis extras de trabalho. Hakkinen *et al* [22] comprovaram que é possível integrar as ferramentas BIM, com soluções que ligam ferramentas de *software* separados via troca de arquivos, adicionar funcionalidades ao software BIM existente utilizando formatos paramétricos tais como *Geometric Description Language* (GDL), concluindo que ferramentas BIM são úteis, não só para o projeto, mas também para troca de informações. No entanto, para permitir que essas suposições se tornem uma realidade, a questão da interoperabilidade deve ser resolvida [22]. Também é possível recorrer ao uso de redes sociais para alinharem os objetivos e processos de uma implementação e assim analisar a difusão do BIM através dos papéis desempenhados pelas partes interessadas da indústria [23].

Outros estudos efetuados por Lu *et al* [24], consistiram em facilitar a partilha de informações e vincular informações dispersas. No entanto, estes estudos não conseguiram utilizar na totalidade a informação digital nos documentos de projeto, passando automaticamente informações relacionadas com a qualidade para a etapa de construção e considerando a inter-relação entre os três fatores principais na gestão da qualidade: produto, organização e processo. Porque os pedidos de alteração e calendários de inspeção podem sofrer alterações contínuas ao longo do processo de construção, o plano de controlo de qualidade deve ser ajustado com base em dados espaciais e temporais. A

natureza complexa desses fatores indica que um modelo 4D (modelo 3D mais o tempo), seria vantajoso para avaliação da qualidade de um edifício.

Gao *et al* [25], identificaram um aumento do uso das tecnologias de informação neste campo e a sua utilização será uma questão permanente. O BIM fornece uma plataforma única por várias fontes de dados necessários, melhorando o trabalho de inspeção de qualidade [26].

### 2.2.2. Desempenho do ciclo de energia de um edifício

Existe um procedimento de tomada de decisão para abordar o desempenho do ciclo de energia e sustentabilidade das estruturas de um edifício em tempo real. Atualmente, a maioria das avaliações de ciclo são utilizadas para fins de classificação.

Procedimentos robustos de decisão podem possuir riscos associados, enquanto a energia e estratégias de sustentabilidade podem ser mais eficazes com o avanço dos projetos [21]. Ampliando a sustentabilidade ambiental ao longo do ciclo de vida da infraestrutura contribuindo para o crescimento económico de um país [20].

Observando a Figura 9, numa fase inicial em que seja abordado o desempenho de energia e sustentabilidade do ciclo de vida das estruturas de edifícios em tempo real, uma grande parte das avaliações do ciclo de vida, são utilizadas para fins de classificação retrospectivamente, embora raramente abordem a vida inteira de um edifício devido à falta de dados contínuos. Além disso, as relações entre as fases de energia incorporada e operacional não são especificadas.

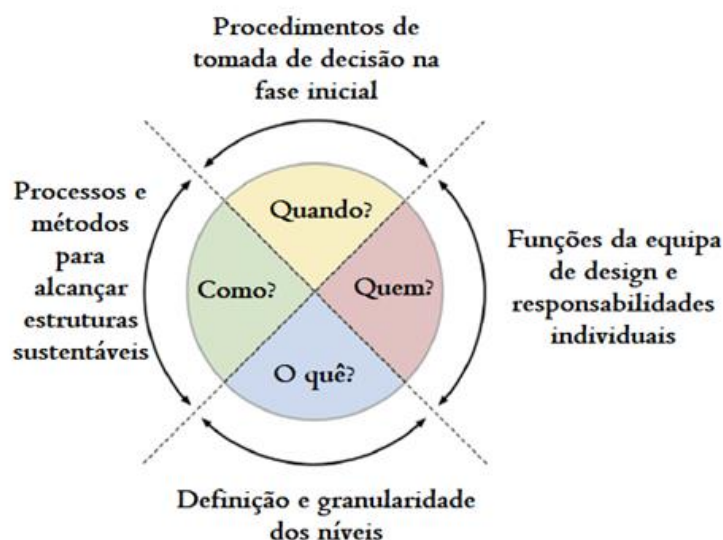


Figura 9 - Domínio sustentável e contradomínio estrutural (imagem adaptada) [21]

De forma a obter-se um maior grau de agregação entre estes conceitos e estabelecer novos padrões de decisão no sector, as estruturas consolidadas que mapeiam o domínio estrutural com o domínio de eficiência energética precisariam de abordar quatro campos de prática interconectados (Figura 9).

### 2.2.3. Ferramentas BIM

Para a simulação dinâmica de edifícios e modelação energética dos edifícios, existem várias ferramentas informáticas BIM, dos quais se destacam: *Trnsys*, *OpenModelica*, *EnergyPlus* e *Revit*.

Uma ferramenta a destacar será o software *EnergyPlus*, tendo sido desenvolvido através da fusão dos programas DOE2 e BLAST pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL), em sociedade com outros laboratórios. Esta foi uma iniciativa do Departamento de Energia Norte Americano, para estimular o desenvolvimento de um código computacional que fosse capaz de calcular não só a carga térmica de um edifício, mas também que conseguisse prever o consumo de energia de um sistema de climatização [27].

#### **Energy Plus**

O *EnergyPlus* (Figura 10) é um programa de simulação de energia nos edifícios, que engenheiros, arquitetos e investigadores usam na modelação do consumo energético no aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação, bem como o uso de água nos edifícios. Alguns dos recursos e capacidades *EnergyPlus* incluem [28]:

- Solução simultânea e integrada em que a resposta do edifício e os seus sistemas primário e secundário estão acoplados;
- Intervalos de tempo definidos pelo utilizador;
- Ficheiros de entrada e saída que incluem condições ambientais horárias ou sub-horárias e os relatórios padrões reajustáveis pelo utilizador, de modo a poder analisar apenas os dados energéticos essenciais;
- As soluções são baseadas nos balanços energéticos de cada zona a considerar na simulação, o que permite determinar simultaneamente os efeitos radial e convectivo na superfície interior e exterior, em cada intervalo de tempo;
- Condução de calor transiente através dos elementos de cada zona térmica tais como paredes, tetos, pisos, etc., utilizando funções de transferência, modelos de conforto térmico, baseado na atividade, temperatura de bolbo seco, humidade;

- Possui uma biblioteca versátil com diversos modelos comerciais de janelas, controlo da luz do dia, assim como determina a iluminação interior, etc.

Além disto, o *Energy Plus* integra vários módulos que trabalham em simultâneo para determinar a energia requerida para aquecer ou arrefecer um determinado edifício utilizando uma variedade de sistemas associados em diferentes condições ambientais e operacionais.

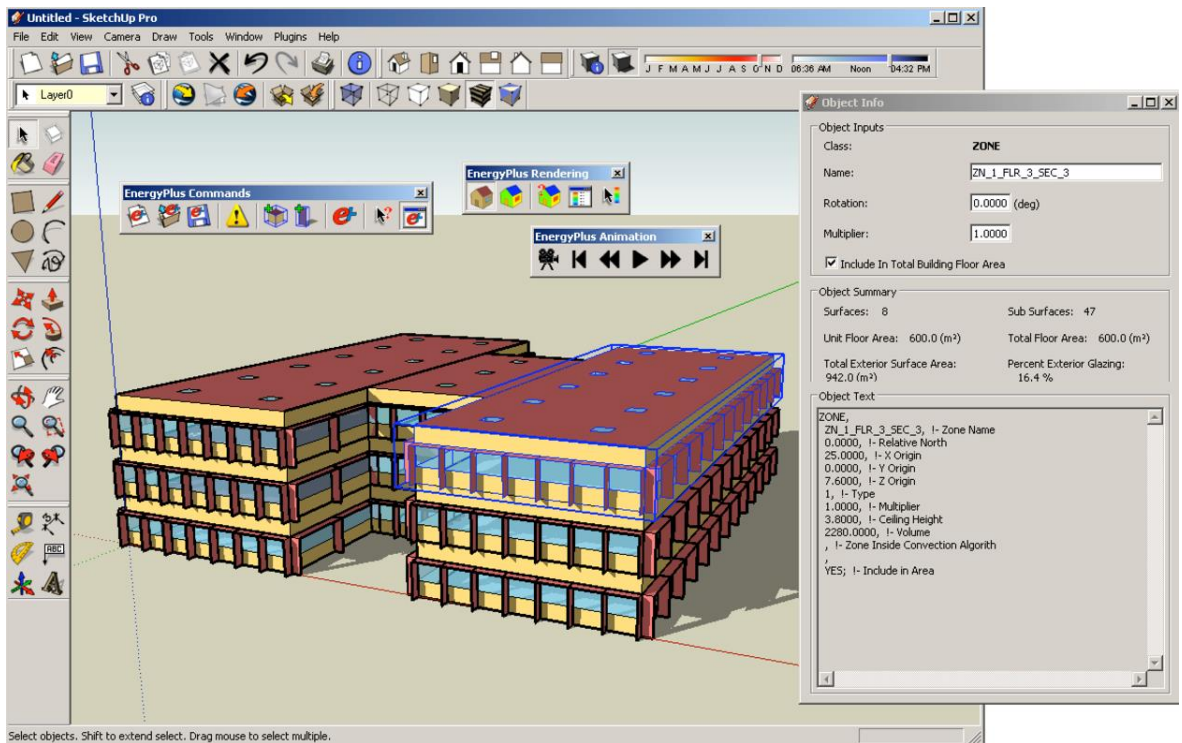


Figura 10 -Exemplo do programa Energyplus [29]

## Revit

O *Revit* da *Autodesk* (Figura 11), consiste numa plataforma de criação e documentação de projetos que permite criar projetos 3D pormenorizados baseados em modelos adequados para BIM. O programa transporta todas as áreas da arquitetura, engenharia e construção para um ambiente de modelação unificado, o que dá origem a projetos mais eficientes e rentáveis.

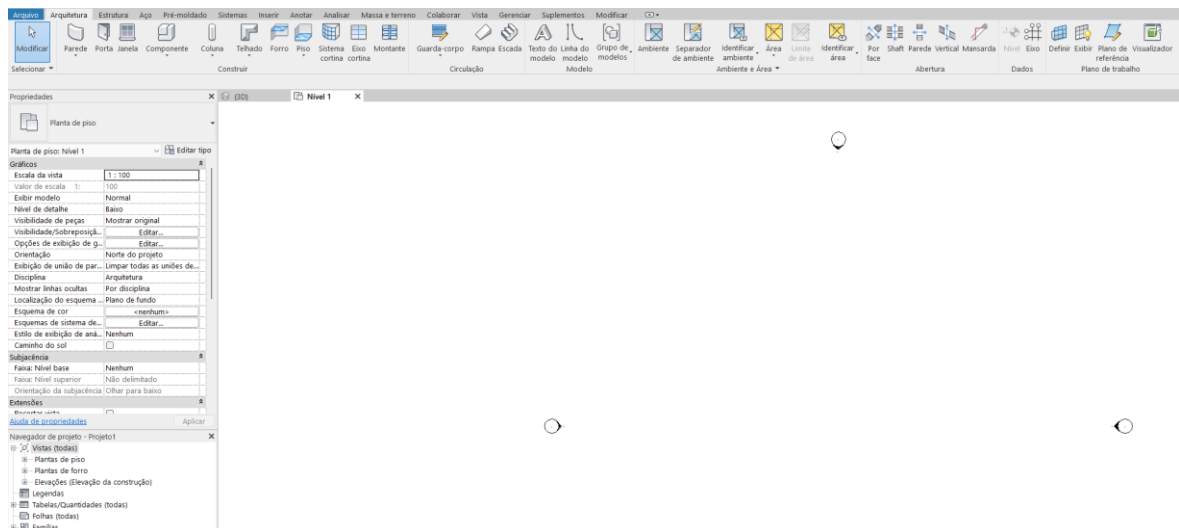


Figura 11 - Menu inicial do programa Revit

### 2.3. Manutenção

Todos os equipamentos veem as suas condições normais de operacionalidade degradadas com o tempo, tanto devido ao seu funcionamento como a causas imprevistas, é a missão da manutenção repor estas condições nos níveis corretos.

A manutenção apresenta-se hoje como um dos fatores principais que influenciam a produtividade e competitividade das empresas. Inicialmente era um simples departamento autónomo integrado numa empresa, com um papel meramente reativo, conceito que prevaleceu até final da década de 40. A partir do começo dos anos 50 iniciou-se o verdadeiro desenvolvimento da manutenção decorrente da uniformização da produção e nas quais as paragens por avarias traziam custos elevados. A importância da manutenção no interior da empresa foi aumentando e as relações com os restantes departamentos tornaram-se mais próximos. Passou a ter um papel mais proactivo, a sua ação já não se limita à fase de operação do equipamento, mas começa a participar ao longo do seu ciclo de vida, na fase de projeto e especificação, aquisição (como missão de aconselhamento), instalação, arranque e no abate ou desativação. Tendo como plano económico o de otimizar o equipamento de maneira a reduzir ao mínimo a seguinte relação [30]:

$$\frac{\text{Despesas de Manutenção} + \text{Custos Paragens Acidentais} + C. ambientais + C. Energético}{\text{Lucro Dado pelo Equipamento}} \quad (2.1)$$

Podendo-se dizer, que uma boa manutenção é assegurar todas estas operações por um custo global mínimo.

### 2.3.1. Plano de Controlo de Manutenção

Segundo a norma NP 4492, a manutenção identifica e estabelece princípios gerais para o planeamento da vida útil, bem como uma estrutura sistemática para executar o planeamento da vida útil de uma obra ou construção planeada ao longo de um ciclo de vida. O ciclo de vida incorpora a iniciação, definição de projeto, *design*, construção, operação, manutenção, reforma, substituição, desconstrução, reciclagem ou reutilização do ativo (ou partes dele), incluindo os seus componentes, sistemas e serviços de construção. Sendo a NP 4492 é aplicável ao planeamento da vida útil em edifícios individuais [31].

Desta forma, para que a quantidade e necessidade das ações de manutenção seja minimizada na fase de utilização, deverão ser escolhidos durante a fase de estudos e projetos, os materiais e soluções construtivas adequadas ao tipo de utilização e zona onde o edifício se insere. Devem também ser realizados nesta fase a previsão do comportamento do edifício em serviço e os manuais de manutenção. Ainda assim, de todas as fases do ciclo de vida de um empreendimento, a fase de operação/utilização é a que deverá ter mais significado. Atualmente a manutenção já começa a ser considerada importante apesar de muitos ainda a julgarem apenas como uma atividade produtora de custos.

Um sistema para a implementação de uma manutenção eficaz, contribui positivamente para a diminuição da degradação da infraestrutura, aumentando assim a sua vida útil. O gestor de edifícios fica então com a responsabilidade de tomar as medidas necessárias de forma a manter o edifício num nível de desempenho adequado. Este conjunto de medidas designadas de políticas de manutenção, pode ser posteriormente dividido em duas estratégias, sendo a manutenção integrada a combinação das manutenções preventiva e corretiva, como se pode observar na Figura 12 [32].

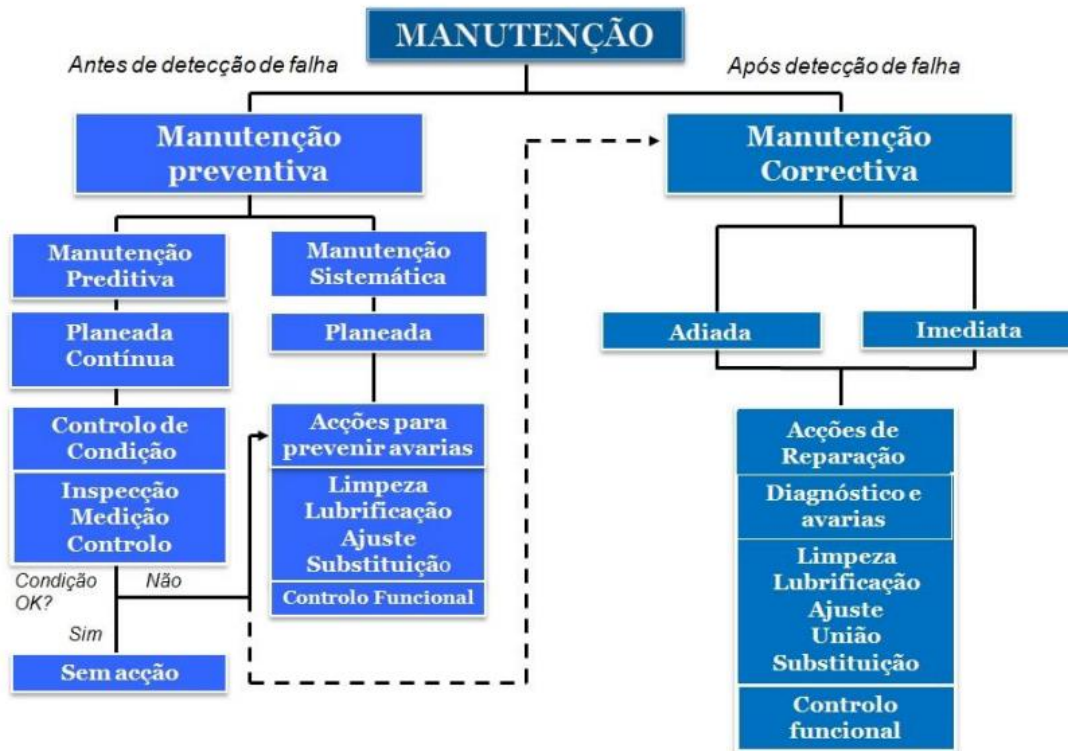


Figura 12 – Diagrama dos modelos de manutenção [33]

### 2.3.2. Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva foi a primeira estratégia de manutenção a ser adotada pelo meio profissional, esta pode ser definida pelo ciclo “esperar ocorrência de falha e reparação”. Constitui a forma mais cara de manutenção quando encarada do ponto de vista global da manutenção do sistema.

Este tipo manutenção é impossível de eliminar completamente, considerando a imprevisibilidade de certos eventos, no entanto existem ações que podem reduzir estes eventos, tais como, pessoal previamente treinado para atuar com rapidez e competência em todos os casos de falhas previsíveis [34].

### 2.3.3. Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é uma manutenção sistemática e planeada, baseada nos históricos de quebras em funcionamento, ou das revisões periódicas realizadas. A ideia principal é reduzir, evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos de tempos definidos, que geralmente são estabelecidos em manuais técnicos. A Manutenção preventiva estabelece datas periódicas com a finalidade de permitir a troca de componentes com desgaste por novos, assegurando assim o perfeito funcionamento do equipamento por um período predeterminado [34].

Para uma manutenção preventiva bem planeada e esquematizada em que toda a informação se encontre sintetizada e de fácil utilização e compreensão admitem-se os seguintes fatores a ter em conta para uma manutenção preventiva bem planeada e esquematizada [35]:

- Vida útil de cada elemento;
- Níveis mínimos de qualidade/exigência;
- Anomalias relevantes;
- Causas prováveis;
- Análise de registos históricos;
- Escolha das operações de manutenção;
- Caracterização dos mecanismos de degradação;
- Comparação com o comportamento em outros edifícios;
- Recomendações técnicas;
- Custos de operação.

#### **2.3.4. Manutenção Preditiva**

O conceito de manutenção preditiva está inserido na modalidade da manutenção há aproximadamente oito décadas, porém como outras modalidades da manutenção, marcou-se como uma importante ferramenta de produtividade, a partir dos anos 70, sendo que a sua evolução se destaca nas duas décadas mais recentes. Dentro do conceito de manutenção preditiva não se encontra um programa completo de manutenção, no entanto, esta adiciona uma colaboração valiosa, a qual será imprescindível em qualquer programa de gestão de manutenção, sendo que a proposta da manutenção preditiva consiste num conjunto de atividades de acompanhamento das variáveis ou parâmetros que indicam o desempenho dos equipamentos, de modo sistemático, visando a definir a necessidade ou não de intervenção, permitindo também garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, recorrendo à utilização de meios de monitorização centralizados ou de amostragem para reduzir a um mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva [36].

Utilizando manutenção preditiva, a solução ideal para as falhas e defeitos das máquinas e equipamentos, consiste na intervenção da mesma para promover a manutenção eficaz, no momento adequado. Tal momento é estabelecido mediante o estudo e inspeções cuidadosas dos vários elementos que intervêm no processo de operação, visando a deteção de uma falha. A utilização desta técnica de manutenção preditiva é a grande quebra de paradigma nos tipos de manutenção, tendo os seguintes benefícios[37]:

- Previsão de falhas com antecedência suficiente para que os equipamentos sejam desativados em segurança;
- Redução de riscos de acidentes e interrupções do sistema produtivo;
- Redução dos prazos;
- Custos de manutenção pelo conhecimento antecipado das falhas a serem reparadas;
- Melhoria nas condições de operação dos equipamentos no sentido de obter menor desgaste;
- Maior rendimento e produtividade.

Desta forma, é possível afirmar que quando o grau de degradação se aproxima ou atinge um limite previamente estabelecido, será então tomada a decisão de intervenção. O qual permite uma preparação prévia do serviço, além de outras decisões alternativas relacionadas com a produção.

### **2.3.5. Manutenção Prescritiva**

O planeamento da manutenção prescritiva é um simplificador essencial da produção inteligente e altamente flexível nos processos [38].

O conceito de manutenção prescritiva é recente e nasceu com a quarta revolução industrial, devido às novas possibilidades oferecidas pelos últimos avanços tecnológicos. A sua implementação, em geral, está associada à ISO 55000, sendo esta o modelo de referência da gestão de ativos nas organizações. O objetivo mantém-se, diminuir o número de falhas ocorridas e, conseqüentemente, reduzir a manutenção corretiva. Na prática, o funcionamento gira em torno de uma ideia bastante simples: com base na análise do que está a ocorrer na indústria, a manutenção prescritiva oferece recomendações para evitar que falhas aconteçam. Assim, a manutenção prescritiva, relaciona-se diretamente com o princípio de fiabilidade, visando a identificar se um equipamento irá manter-se operacional ou não. Por isso, há uma grande movimentação na I4.0 para apoiar a implementação deste conceito nas empresas. Entretanto, é preciso ter o cuidado de não confundir com outros processos que já são amplamente adotados [39].

A Figura 13 ilustra o planeamento de manutenção prescritiva consiste em quatro elementos principais:

1. Aquisição e pré-processamento de dados;
2. Análise e Simulação de Dados;

3. Modelo de reacção;
4. Sistema de Suporte à Decisão de Manutenção Prescritiva.

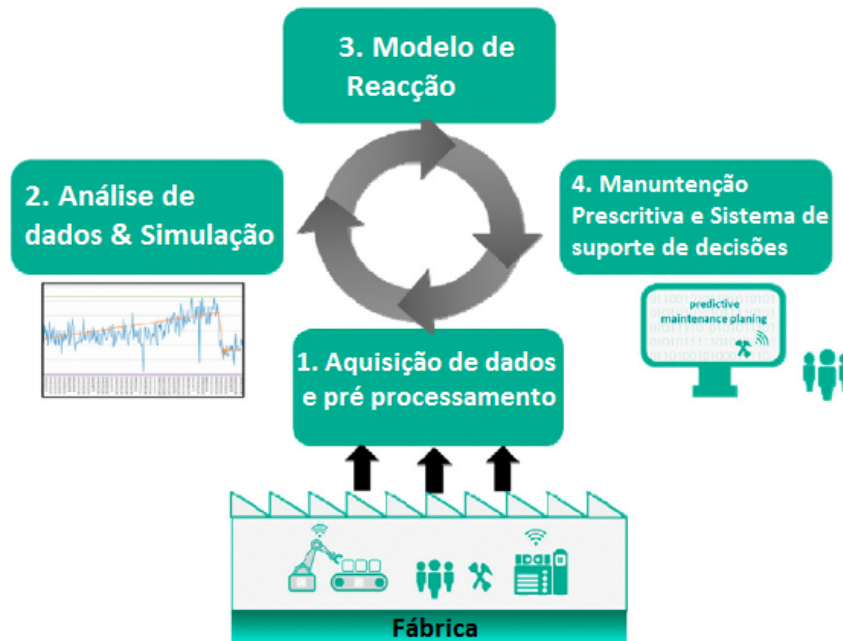


Figura 13 - Abordagem processual para o planeamento da manutenção prescritiva. (Imagem Adaptada)[38]

No primeiro elemento, os dados relevantes da manutenção são capturados, classificados e estruturados. A análise de dados posterior identifica correlações nos dados pré-estruturados. Um conjunto de regras é definido e parametrizado no terceiro elemento, que prevê falhas das máquinas com base nas condições e revela desvios de qualidade em tempo real. Finalmente, o quarto elemento prevê falhas no sistema e sugere medidas de manutenção prescritivas com base nessa lógica. Mas a decisão final, se as atividades de manutenção sugeridas devem ser executadas ou rejeitadas, é exercida pelo operador. Portanto, a abordagem desenvolvida visa um sistema de suporte à decisão que permita aos operadores tomar a decisão final [38].

### 2.3.6. Níveis de manutenção

Os níveis de manutenção são definidos através do grau de complexidade do trabalho a efetuar e do correspondente nível técnico do executante ou da equipa técnica que o irá efetuar.

As normas AFNOR estabelecem 5 níveis de Manutenção [30]:

- **1º Nível** – Afições simples previstas pelo construtor sem desmontagem do equipamento ou substituição de elementos acessíveis com toda a segurança.

Tarefa executada pelo operador da máquina.

- **2º Nível** – Reparações através de substituição de elementos *standards* previstos para este efeito ou operações menores de manutenção preventiva.

Tarefa normalmente executada por técnico habilitado ou em algumas situações pelo operador da máquina.

- **3º Nível** – Identificação e diagnóstico das avarias, reparação por substituição de componentes funcionais reparações mecânicas menores.

Tarefa executada por técnico especializado no local ou por equipa de manutenção.

- **4º Nível** – Trabalhos importantes de manutenção corretiva ou preventiva.

Trabalhos executados por equipa de manutenção.

- **5º Nível** – Trabalhos de renovação, de construção ou reparações importantes numa oficina central ou por subcontratação.

Trabalho executado por equipa completa de manutenção polivalente.

A definição dos níveis, nomeadamente no que respeita ao executante, poderá variar de empresa para empresa. Qualquer conjunto de operações preventivas integram-se necessariamente num destes níveis, mesmo as manutenções corretivas que possam ter lugar durante o período de trabalho da máquina.

### **2.3.7. Tempos de Manutenção**

Pode-se afirmar que, para uma boa gestão da manutenção será necessário definir e controlar bem os momentos de paragem e funcionamento dos equipamentos. Esta noção de tempo é fundamental em manutenção e aparece por vezes sob a forma de unidades de utilização, chamados tempos indiretos, tais como quilómetros percorridos, quantidades produzidas ou ciclos de funcionamento. A Figura 14 ilustra diversos tipos de tempos de operacionalidade existentes [40].

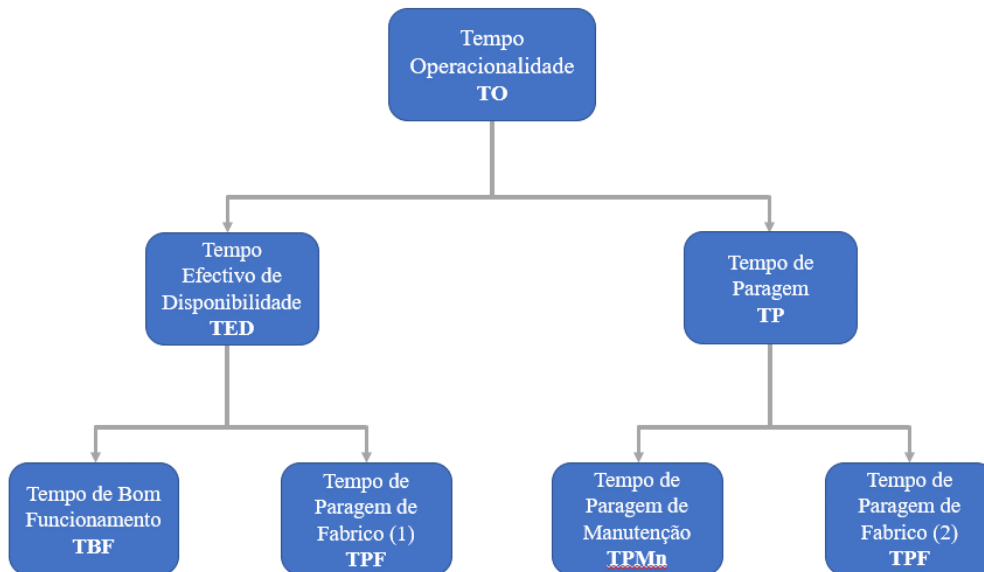


Figura 14 - Tempos de Manutenção (adaptado) [41]

- **Tempo de operacionalidade (TO)** – O utilizador exige que o bem esteja em condições de executar uma função exigida;
- **Tempo efetivo de disponibilidade (TED)** – O bem está apto a desempenhar a sua função;
- **Tempo de bom funcionamento (TBF)** – O bem cumpre a sua missão;
- **Tempo de paragem (TP)** – O bem não está apto a cumprir a sua função;
- **Tempo de paragem de fabrico (TPF)** – O bem está apto, mas não é solicitado (1) ou é impedido de executar a função devido a causas externas (2);
- **Tempo de paragem de manutenção (TPMn)** – O bem está parado devido a avaria ou manutenção corretiva;

$$TO = \sum TBF + \sum TPM + \sum TPF \quad (2.2)$$

Este conjunto de valores permite-nos calcular o Índice de Disponibilidade (ID), definido como a capacidade de um equipamento para assegurar a função nas condições requeridas:

$$ID = \frac{TO - \sum TP}{TO} \quad (2.3)$$

### 2.3.8. Ferramentas da manutenção

É de fundamental importância a gestão da manutenção preventiva num edifício, visto que permite aumentar consideravelmente a vida útil dos equipamentos, reduzindo assim os custos das

manutenções corretiva. Recorrendo às ferramentas da I4.0 será possível facilitar o consideravelmente processo desta gestão bem como o histórico de todas as intervenções e ocorrências no equipamento que possam surgir.

Hoje existem ferramentas de manutenção apoiadas em plataformas e aplicações digitais, tendo como missão disponibilizar uma solução inovadora que permita otimizar a gestão de ativos físicos nos edifícios. Bem como a organização de todas as tarefas de manutenção preventiva, corretiva e preditiva: as intervenções periódicas nos equipamentos, as correções sempre que existem avarias e a leitura de indicadores que permitem antecipar avarias [42].

Recorrendo a ferramentas da manutenção pode-se melhorar a manutenção dos equipamentos no edifício, através das seguintes situações [42]:

- **Manutenção Preventiva**

- Criação de um plano de manutenção que pode ser acedido por todos os colaboradores e prestadores de serviço envolvidos
  - Plano criado em ambiente gráfico intuitivo;
  - Possibilidade de criar Múltiplos Planos;
  - Definição de indicadores de execução;
  - Definição da flexibilidade do plano de manutenção;
  - Gestão de tolerâncias;

- **Manutenção Corretiva**

- Gestão de pedidos e monitorização de todas as operações de manutenção corretiva, notificando os técnicos e acompanhar o processo, desde o início até ao fim da intervenção, controlando melhor os custos e o impacto na intervenção

- **Manutenção Preditiva**

- Antecipação de problemas com a ajuda de ML
- Identificação e apresentação de soluções para possíveis erros, prevenindo o agravamento

Na Figura 15 pode-se observar o menu de acesso de uma ferramenta de manutenção:



*Figura 15 - Menu inicial de acesso à aplicação de manutenção [42]*

### **2.3.9. Resumo do capítulo**

No segundo capítulo foram abordados alguns conceitos da I4.0, do BIM e da manutenção de forma a introduzir novas noções para a melhor compreensão do trabalho realizado.

### 3. Componentes de uma piscina

No terceiro capítulo será feita uma breve explicação da transferência de calor nos edifícios, dos diversos tipos de equipamentos presentes na piscina, bem como alguns tipos de degradações que podem ocorrer nos equipamentos presentes numa piscina.

#### 3.1. Bombas Circuladoras

Existem dois tipos principais bombas circuladoras, bombas circuladoras de rotor imerso e as bombas circuladoras de rotor seco, podendo ser utilizados em sistemas de aquecimento ou arrefecimento central, aquecimento de águas sanitárias, sistemas com caldeiras, bombas de calor, sistemas solares, entre outros. Estas devem ser sempre instaladas com o eixo principal na posição horizontal, garantindo-se assim, que os rolamentos do motor sejam adequadamente lubrificados e refrigerados, favorecendo-se, conseqüentemente, o aumento do seu ciclo de vida. As bombas de rotor imerso são simples, estanques e o preço de compra é relativamente baixo comparativamente às bombas de rotor seco, no entanto, têm um tempo de vida curto e uma eficiência energética baixa. Para além disso, as bombas de rotor imerso são sensíveis a resíduos no líquido da bomba e não conseguem trabalhar em meios ambientes agressivos.

Para um bom funcionamento do sistema é importante evitar o fenómeno da cavitação, tratando-se de um fenómeno hidráulico associado à formação de bolhas de vapor ou ar no líquido, levando à degradação de alguns dos componentes das bombas circuladoras. Estas bolhas formam-se quando a pressão estática local do líquido em movimento diminui até atingir o valor igual ou inferior ao da pressão de vapor desse mesmo líquido, a uma determinada temperatura.

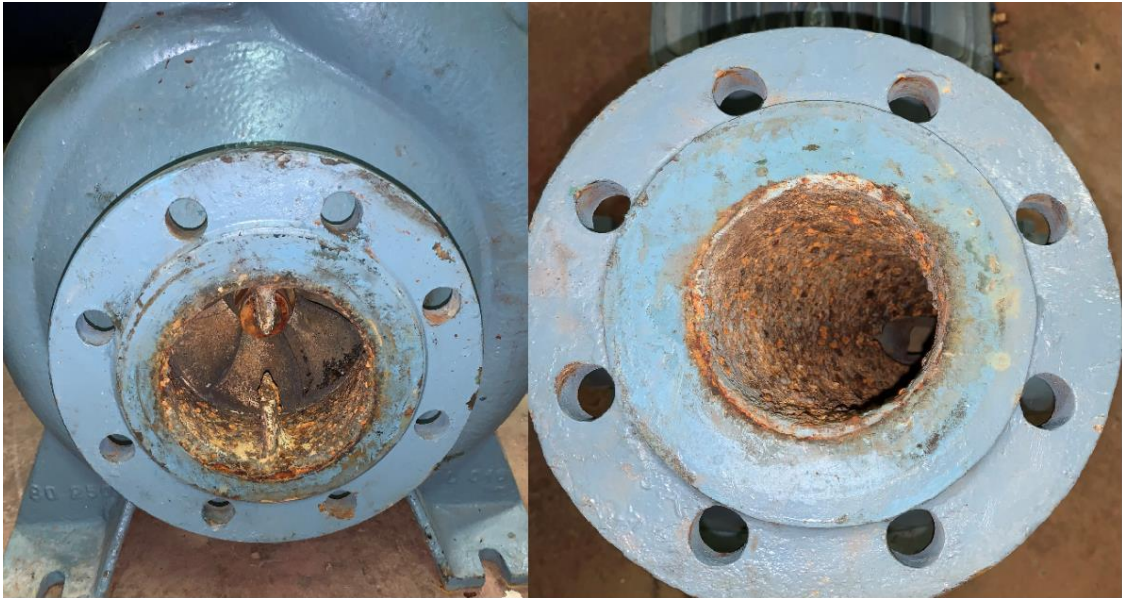
Na Figura 16, pode-se observar uma bomba circuladora da piscina municipal de Almada.



*Figura 16 - Bomba Circuladora de água*

### 3.1.1. Degradação da bomba circuladoras

Na Figura 17, pode-se observar a degradação de uma bomba circuladora devido ao uso inadequado e a não correta manutenção do equipamento, levando à necessidade de uma manutenção corretiva e/ou substituição do equipamento.



*Figura 17 - Degradação de uma bomba circuladora*

A degradação observada, ocorreu devido à não utilização da bomba, ou seja, não havendo circulação de água, esta ficou sujeita à atmosfera, degradando-se ao longo do tempo. Desta forma, para um correto uso das bombas circuladoras, estas devem manter-se em funcionamento, ou em circuitos alternados.

### 3.2. Permutadores

Os permutadores de placas são constituídos por placas de transferência de calor que separam os dois fluídos que permutam calor. As placas são dotadas de nervuras ou relevo de modo a guiar o escoamento do fluído e promover a sua mistura. O relevo das placas permite também obter alguma rigidez.

Nos permutadores de placas, o fluído é distribuído nos canais formados entre as placas por orifícios situados nos cantos das placas permitindo a formação de uma conduta de distribuição ou recolha do caudal de fluído. Estas condutas são formadas pelos orifícios existentes em todas as placas, sendo o escoamento do fluído condicionado pelas vedações que são montadas entre as placas que condicionam a distribuição do fluído entre pares de placas alternados. As placas podem ser

apertadas entre placas terminais por tirantes permitindo uma abertura para limpeza entre as placas com facilidade [43].

Quando o número de placas é menor as placas podem ser soldadas formando então uma unidade mais compacta, mas que não pode ser limpa. Em qualquer dos casos para além das placas térmicas (entre canais com fluídos) existem sempre duas placas do mesmo tipo nas extremidades e no exterior destas duas, outras placas que permitem formar uma estrutura.

A Figura 18 apresenta o permutador de placas da piscina de 25 m presente na PMVF.



*Figura 18 - Permutador de placas (Piscina municipal Vale do Fundão)*

### **3.2.1. Degradação de permutadores**

Tal como nas bombas circuladoras, os permutadores de placas também sofrem degradação devido ao uso incorreto do equipamento, neste caso o permutador de placas sofreu corrosão devido ao calcário presente na água formando-se incrustações no interior do permutador. Na Figura 19, pode-se observar as incrustações que se formaram no permutador ao longo do tempo, afetando o caudal da água.



*Figura 19 - Incrustações num permutador (Piscina de Almada)*

Após uma análise a um permutador danificado, pode-se observar as incrustações e comparando com o permutador presente na piscina municipal Vale do Fundão (PMVF), pode-se afirmar que o permutador presente na PMVF não apresenta quaisquer tipos incrustações, estando totalmente funcional (Figura 18).

### **3.3. Coletores Solares Térmicos**

Para o aquecimento de água os sistemas solares térmicos são talvez a aplicação mais comum e vulgar da energia solar. A popularidade dos sistemas solares térmicos reside sobretudo na sua relativa simplicidade e no facto de estes sistemas serem viáveis na generalidade dos casos.

De uma forma genérica, um sistema solar térmico é constituído por um coletor ou campo de coletores, um sistema de transferência de energia e um depósito de armazenamento. Destes componentes, o mais importante é o coletor solar, que absorve a radiação solar, convertendo-a em

calor. Este calor é transferido pelo fluido de transferência de calor (normalmente água ou uma mistura de água com anticongelante) que passa no coletor para o depósito ou aplicação. Este calor pode então ser usado diretamente ou armazenado num depósito.

Para o aquecimento de água a baixas temperaturas (inferior a 100°C), no que diz respeito à captação de energia proveniente da radiação solar, existem dois sistemas possíveis [44]:

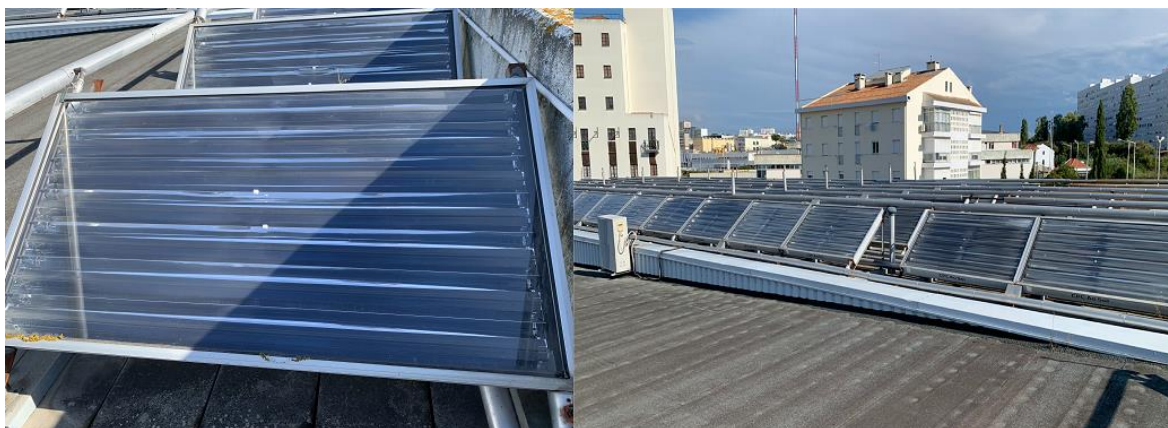
- Circulação natural ou termossifão;
- Circulação forçada;

Os sistemas solares térmicos também podem ser classificados como diretos ou indiretos. Nos sistemas diretos, a água potável é aquecida diretamente no coletor e segue para o depósito de armazenamento, sendo esta água consumida pelo utilizador. Nos sistemas indiretos, a água potável é aquecida indiretamente por um fluido de transferência de calor. Depois de aquecido, este fluido vai transferir o calor para a água potável através de um permutador de calor que pode estar no interior ou exterior do depósito de armazenamento. Neste tipo de instalações, o fluido de transferência de calor e a água de consumo nunca se misturam.

### **3.3.1. Coletores concentradores parabólicos (CPC)**

O desenvolvimento da ótica permitiu muito recentemente a descoberta de um novo tipo de concentradores (chamados CPC ou *Winston*) que combinam as propriedades dos coletores planos, podendo ser montados em estruturas fixas, com um elevado ângulo de visão permitindo uma a captação da radiação difusa, com a capacidade de produzirem temperaturas mais elevadas (>70°C) que as convencionais do tipo de lentes (Figura 20).

A diferença fundamental entre estes coletores e os planos é a geometria da superfície de absorção, que no caso dos CPC a superfície absorvente é constituída por uma grelha de alhetas em forma de acento circunflexo, colocadas por cima de uma superfície refletora. A captação solar realiza-se nas duas faces das alhetas já que o sol incide na parte superior das alhetas e os raios que são refletidos acabam por incidir na parte inferior das alhetas, aumentando assim ainda mais a temperatura do fluido e diminuindo as perdas térmicas [45].



*Figura 20 - Coletores solares presentes na PMVF*

### **3.4. Caldeira**

A caldeira é um permutador de calor que trabalha com uma pressão superior à pressão atmosférica, pode ou não produzir vapor, a partir da energia térmica fornecida por uma fonte qualquer. É constituída por diversos equipamentos integrados, para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível e maior segurança [46].

Esta definição abrange todos os tipos de caldeiras, sejam as que vaporizam água, mercúrio ou outros fluídos e que utilizam qualquer tipo de energia, incluindo a elétrica. Quase sempre, a fonte para a produção de calor é um combustível especificamente utilizado para esta finalidade, mas podem ser aproveitados, também, outros calores residuais de processos industriais, gases escapes de motores diesel ou de turbinas a gás.

Atualmente o combustível mais usual nas caldeiras é o combustível gasoso, sendo bastante mais vantajoso em termos de condução e menores emissões poluentes. Comparativamente com as caldeiras que queimam fuelóleo, as caldeiras a gás têm menores custos de investimento que se devem essencialmente a:

- Menor custo na aquisição de uma caldeira a gás, pois é menos complexo do que um equipamento equivalente para um a fuelóleo;
- Inexistência de equipamentos auxiliares necessários com o fuelóleo (armazenamento, aquecimento, bombagem e filtração);
- Menores restrições regulamentares.

Nas caldeiras a gás, também os custos de manutenção são mais reduzidos quando comparados com os das caldeiras a fuelóleo, devido principalmente a:

- Menores custos de manutenção nos queimadores a gás;

- Menores custos de manutenção das próprias caldeiras devido à combustão do gás ser um processo bastante limpo;
- Inexistência de custos de manutenção com os equipamentos auxiliares evitados.

Na Figura 21 pode-se observar as duas caldeiras a gás presentes na PMVF.



*Figura 21 - Caldeira presente na piscina Vale do Fundão*

O aquecimento das águas das piscinas é efetuado pelas duas caldeiras, presentes na Figura 21, estando localizados numa zona técnica do piso 0. Para a distribuição da água quente na piscina, existe uma rede de bombas, válvulas e permutadores de calor.

Assim sendo a água, após ser aquecida nas caldeiras, será então distribuída por diferentes circuitos que são alimentadas pelas seguintes bombas:

- Bomba das piscinas;
- Bomba da UTA;
- Bomba das águas quentes sanitárias.

A bomba que fornece águas quentes para as piscinas, separa-se em dois ramais de modo a fornecer água quente para a piscina de 25 m e para a piscina de aprendizagem. Em cada um dos ramais, existe um permutador de calor. Quando a água quente passa pelo permutador de calor, vai fornecer água quente a cada uma das piscinas, mantendo a água a uma temperatura constante.

### **3.5. Unidade de tratamento de ar**

Uma unidade de tratamento de ar (UTA) é um dispositivo usado para condicionamento, seja este arrefecimento ou aquecimento e circulação de ar. Normalmente, uma UTA consiste numa grande caixa metálica que contém um ventilador mecânico, elementos de aquecimento e arrefecimento, elementos de filtração, atenuadores de ruído e grelhas de admissão e saída. Existem vários tipos de UTA, compactas, modulares, residenciais, de baixo perfil (normalmente instalada em tetos falsos), mas todas cumprem a mesma função [47].

Normalmente, as unidades de tratamento de ar estão ligadas às condutas de AVAC, que tanto distribuem o ar condicionado pelo edifício como fazem extração do ar de volta às unidades de tratamento de ar. Contudo, em alguns casos, uma UTA poderá insuflar e extrair o ar para o espaço a ventilar, diretamente sem passar por condutas.

Tipicamente a UTA emprega um ventilador centrífugo, acionado por um motor elétrico de corrente alternada, para movimentar o ar. O ventilador pode operar a uma única velocidade, a várias velocidades pré-estabelecidas ou poderá conter um variador de velocidade, permitindo um maior controlo e uma maior variedade de caudais. O caudal de ar também pode ser controlado através do uso de grelhas reguláveis. Em unidades industriais, poderá existir múltiplos ventiladores, normalmente colocados na conduta de extração e outro na conduta de insuflação.

Os ventiladores podem produzir vibrações substanciais e ruídos, que se propagam para o resto do edifício através das condutas. De modo a evitar este fenómeno, normalmente são incorporados isoladores de vibrações nas condutas posteriores e anteriores à UTA, bem como na ligação entre o compartimento do ventilador e o resto da UTA. Normalmente são construídos em borracha ou outros materiais flexíveis.

A UTA com dimensões reduzidas pode incluir um aquecedor a combustível ou um evaporador de refrigeração colocado diretamente no fluxo de ar e também podem ser utilizadas resistências elétricas ou bombas de calor. Em grandes unidades utilizam-se serpentinas para troca de calor, que fazem circular água, vapor ou ar quente para aquecimento ou água fria para arrefecimento. As serpentinas são tipicamente compostas por tubos de cobre e por alhetas de cobre ou alumínio de forma a facilitar a permuta. As serpentinas para arrefecimento empregam tabuleiros para recolha e drenagem dos condensados.

A filtração do ar é um elemento que está sempre presente, de forma a ser fornecido ar limpo e sem partículas ao interior de um edifício. A filtração pode ser efetuada através de filtros electrostáticos, filtros de partículas de alta eficiência, ou de filtros que conjugam várias técnicas, onde também podem ser empregues tratamentos por ionização ou por ação ultravioleta. Os filtros são tipicamente instalados junto à entrada de ar na UTA, de forma a manter todos os seus restantes

componentes limpos. Geralmente são instalados aos pares, com um pré-filtro para filtrar as partículas grossas e um filtro rígido para filtrar as partículas mais finas. São instalados nesta disposição pois os filtros de partículas grossas são de substituição mais económica e destinam-se a proteger os filtros rígidos, mais sensíveis e dispendiosos.

Em climas mais frios, a humedificação do ar é frequentemente necessária, onde o aquecimento contínuo torna o ar mais seco, o que resulta numa qualidade do ar interior desconfortável e no aumento de electricidade estática. Numa UTA podem ser utilizados vários tipos de humidificadores entre eles os evaporativos, vaporizadores, pulverizadores, ultra-sónicos, ou de meio molhado. Em grandes unidades é comum a utilização de vaporizadores, que utiliza o vapor de uma caldeira libertando diretamente no ar.

Além da introdução de ar novo e extração do ar no interior de um edifício, a maioria das UTA podem reaproveitar parte do ar retirado do interior do edifício, fazendo-o recircular. Em climas temperados, pode ser realizada uma mistura adequada de ar fresco exterior com ar recirculado mais quente vindo do interior com o fim de colocar o ar de insuflação a uma temperatura adequada. É então usado um módulo de mistura, equipado com grelhas que controlam a razão da mistura entre o ar novo e o ar recirculado.

É também necessário um sistema de controlo de AVAC para regular todos os parâmetros do funcionamento de uma UTA, como o caudal de ar, a temperatura do ar de insuflação, a temperatura do ar misturado, a humidade e a qualidade do ar. Um sistema destes pode ser tão simples como um termostato de desligar/ligar ou tão complexo como um sistema informático de gestão técnica centralizada de um edifício. Para este tipo de controlo é típico encontrar sensores de temperatura, de humidade, interruptores, atuadores, motores e controladores.



*Figura 22 - UTA presente na piscina Vale do Fundão*

### **3.6. Águas Quentes Sanitárias**

As águas quentes sanitárias (AQS) são as águas de consumo doméstico que se pretendem a uma temperatura superior à que é fornecida pela rede de abastecimento público, podendo ser produzidas, esquentador, uma caldeira ou um sistema constituído por uma caldeira acoplada a um acumulador.

No caso de aquecimento de águas instantâneas: a água fria entra diretamente na caldeira onde é aquecida de uma forma instantânea à medida que vai circulando pelo permutador de calor do aparelho. Desta forma, garante-se um fornecimento de AQS sem tempos de espera.

No caso de aquecimento de águas por acumulação, a água fria da rede de distribuição pública entra no acumulador onde é aquecida através do seu permutador e serpentina. No interior da serpentina, circula água que é aquecida em circuito fechado pela caldeira. Desta forma garante-se o fornecimento simultâneo de AQS em vários pontos das torneiras, dependendo da capacidade do acumulador e da potência da caldeira. Na Figura 23 pode-se observar o AQS presente na PMVF.



*Figura 23 – Depósitos de AQS presentes na piscina Vale do Fundão*

### **3.7. Resumo do capítulo**

No capítulo 3 foi realizado um levantamento dos diversos equipamentos presentes na PMVF e demonstrado alguns tipos de degradação em caso de utilização imprópria, bem como uma breve descrição dos mesmos.

#### 4. Caso de estudo PMVF

No capítulo 4, recorrendo à Piscina Municipal Vale do Fundão aplicando os conceitos mencionados nos anteriormente será feita uma análise aos consumos energéticos, dimensionamento de novos equipamentos melhorando o seu consumo e por fim a realização de uma melhoria na instalação recorrendo a ferramentas da I4.0.

##### 4.1. Descrição do Complexo de Piscinas Municipal Vale do Fundão

O Complexo de Piscinas municipal Vale do Fundão, localizada na zona de Lisboa, trata-se de uma infraestrutura desportiva, equipada por um tanque de competição de 25,0 x 12,5 m com 6 pistas possuindo uma profundidade variável entre 1,2 m a 1,6 m e uma piscina de aprendizagem com 12,5 x 8m, possuindo uma profundidade variável entre 1,05 m e 1,20 m com 3 pistas, preparada e equipada para a prática de natação de lazer, formação e competição.

A gestão, administração e manutenção da piscina está a cargo da Junta de Freguesia de Marvila, situado no concelho de Lisboa, tendo sido inaugurada a 13 de julho de 2012. Encontra-se aberta ao público todos os dias da semana. De 2<sup>a</sup> a 6<sup>a</sup> feira, a piscina possui um horário de funcionamento entre as 7h45 e as 22h00, aos sábados entre 8h15 até às 18h15 e aos domingos possui um horário das 9h00 às 13h00.

Na Figura 24 pode-se observar o aspeto exterior da piscina municipal Vale do Fundão.



Figura 24 - Piscina Municipal Vale do Fundão [48]

A planta do complexo da piscina foi fornecida pela Junta de Freguesia de Marvila. Para uma melhor perceção das dimensões das piscinas, relativamente à área total da coberta do edifício, pode-se observar na Figura 25 a planta do piso 0.

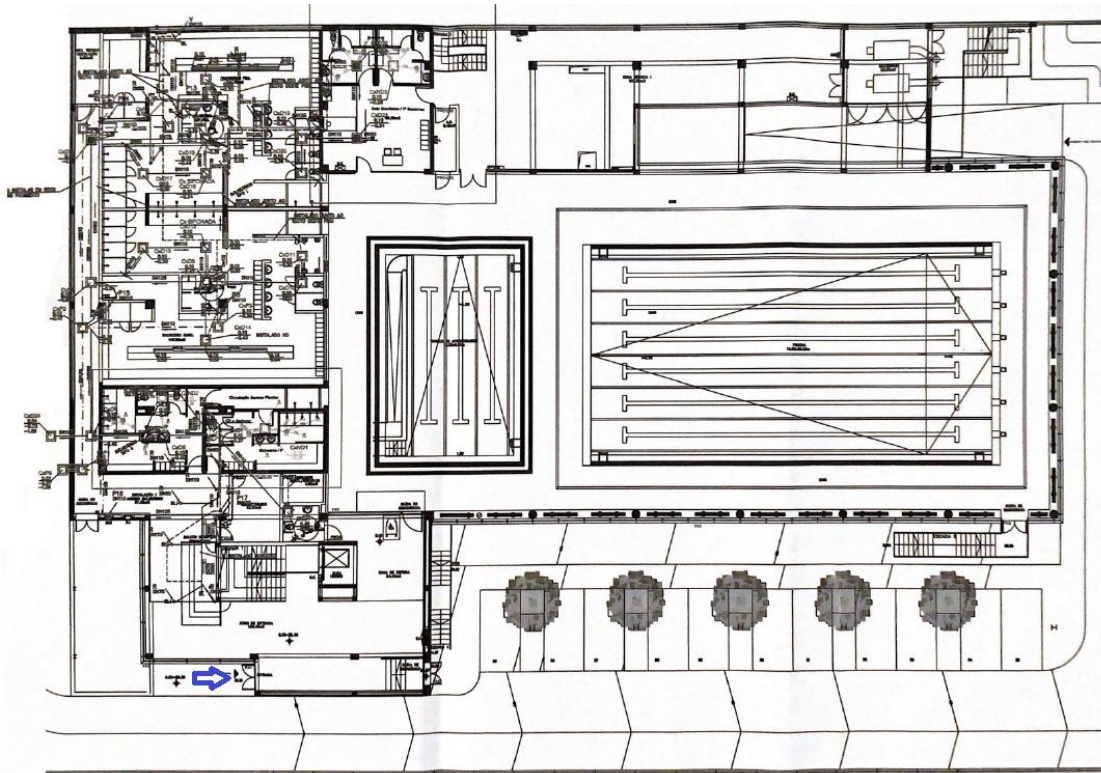


Figura 25 – Planta do piso 0 da PMVF [49]

A entrada no complexo é efetuada através porta indicada pela seta azul estando ligada à receção. Na receção, seguimos em frente para os balneários, levando para a piscina que se visualiza no centro da imagem, sendo a primeira o tanque de aprendizagem e no lado direito a piscina de 25 m.

A piscina encontra-se provida com os seguintes espaços (Tabela 2):

Tabela 2 - Áreas de espaços na PMVF

Espaços da Piscina	Área (m <sup>2</sup> )
Átrio da Piscina	124,10
Zona de Espera	34,10
Circulação 1 - Acesso Balneários	57,80
Balneário Feminino 1	37,00
Balneário Masculino 1	37,00
Balneário Feminino 2	147,00
Balneário Masculino 2	147,00
Sala Primeiros socorros	58,20
Área Técnica	6,80
Sala Arrumos	3,40
Zona Técnica	157,30
Sala de caldeiras	23,50
Zona de piscinas	1074,1

## 4.2. Análise energética

O modelo de análise energética proposto tem como objetivo a melhoria energética na PMVF, recorrendo à análise dos equipamentos presentes e a comparação entre os valores presentes em cada equipamento, através dos valores energéticos obtidos no ano de 2019 e 2020.

### 4.2.1. Desempenho Energético numa piscina

Para a execução de uma simulação energética é necessário o conhecimento de alguns dados iniciais, tais como: configuração geometria, incluindo o *layout* e a configuração dos espaços (superfícies e volumes), agrupamento de espaços em zonas termicamente homogéneas, localização e orientação do edifício, elementos construtivos incluindo as suas propriedades térmicas, tipo de uso, incluindo o uso funcional.

#### 4.2.1.1. Recursos consumidos

Os dados de consumos de eletricidade, gás natural e água foram fornecidos pela Junta de Freguesia de Marvila, tendo sido tratados posteriormente numa folha de cálculo.

Solicitou-se o pedido dos consumos de eletricidade, bem como os consumos de água e gás natural, referente aos anos de 2019 e 2020. No ano de 2020, pode-se observar uma descida elevada nos consumos energéticos visto que o confinamento começou em março devido ao Covid-19.

### 4.2.2. Consumo de eletricidade

Na Figura 26, pode-se observar o gráfico dos consumos anuais de eletricidade ao longo de 2019 e 2020.

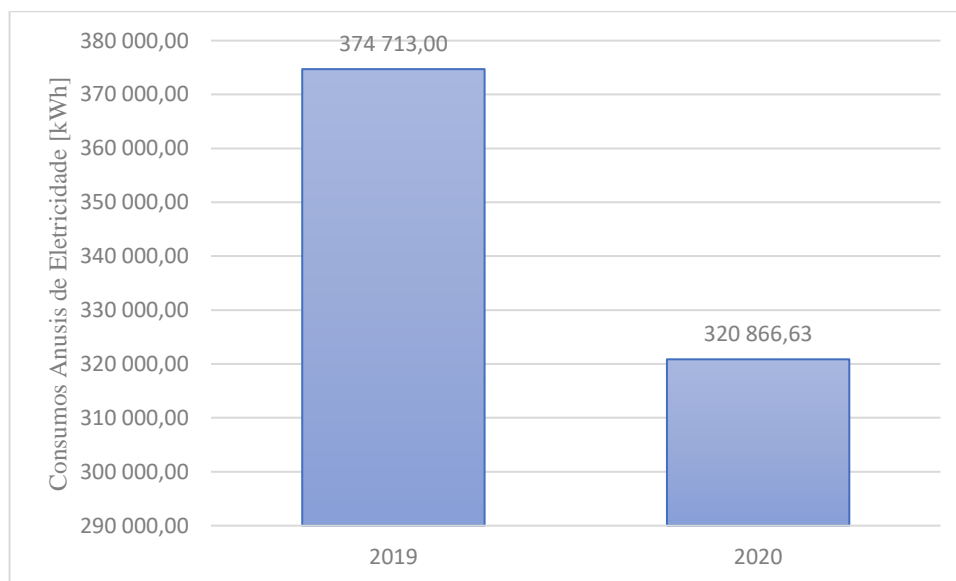


Figura 26 - Consumos anuais de eletricidade dos anos 2019 e 2020

O gráfico anterior apresenta um decréscimo, de 2019 para 2020, relativamente ao consumo de eletricidade. Esta diminuição é um indicador de que a pandemia causou uma redução no número de utentes e funcionários na piscina, visto que a piscina foi obrigada a encerrar devido à implementação do estado de emergência. De forma, a visualizar melhor quais os meses que contribuíram para esta mudança, foi construído um gráfico com a evolução do consumo mensal de eletricidade ao longo de dois anos, representado na Figura 27.

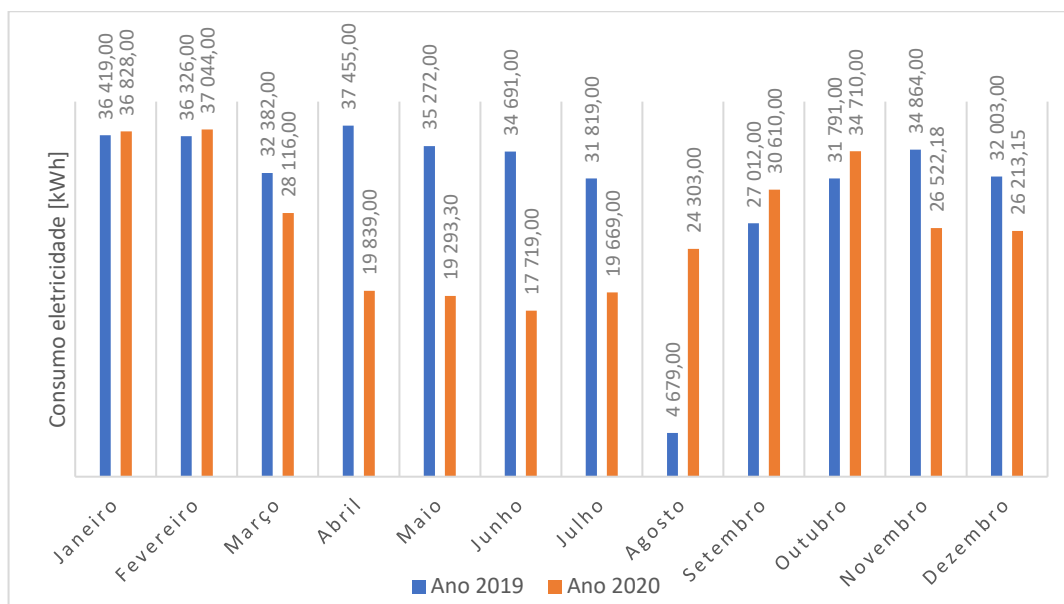


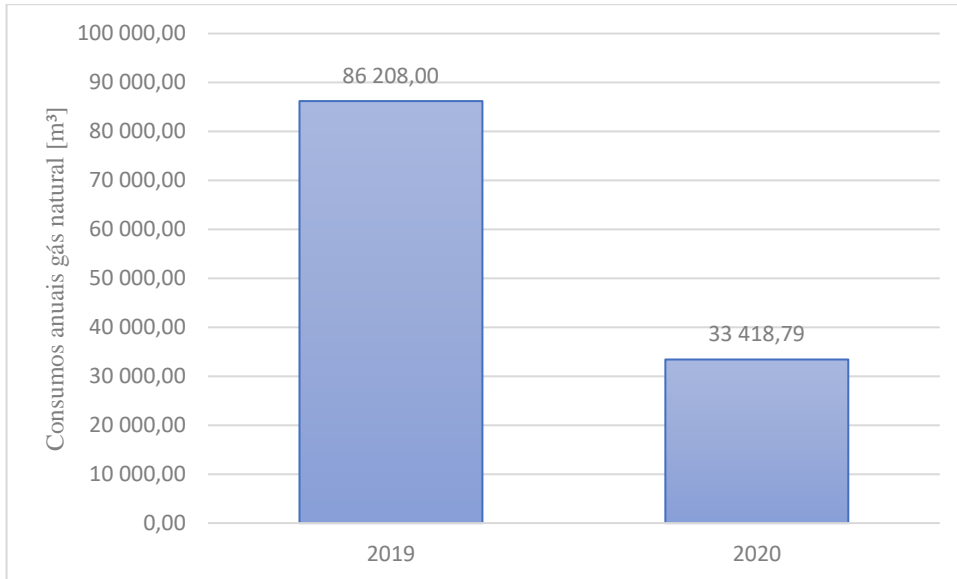
Figura 27 - Consumos mensais de eletricidade ao longo de 2019 e 2020

Pode-se observar o gráfico Figura 27 que existe uma quebra dos consumos de eletricidade no mês de agosto de 2019, comparando com o mês de agosto de 2020. Considerando o ano de 2019 como um ano constante, onde a piscina se encontra encerrada no mês de agosto. Durante todo o ano de 2019 o complexo consumiu um total de 374 713 kWh de eletricidade.

No ano de 2020 os consumos de eletricidade apresentam um valor reduzido, mas constante, tendo em conta que a piscina se encontrou fechada. Durante todo o ano de 2020 o complexo consumiu um total de 320 867 kWh de eletricidade.

### 4.2.3. Consumos de gás natural

Na Figura 28, pode-se observar o gráfico dos consumos anuais de gás natural ao longo de 2019 e 2020.



*Figura 28 - Consumos anuais de gás natural dos anos 2019 e 2020*

O gráfico da Figura 28 continua a demonstrar um decréscimo bastante significativo entre os anos de 2019 para 2020, relativamente ao consumo de gás natural, devido ao encerramento da piscina mencionado anteriormente. Para se perceber melhor quais os meses que mais contribuíram para esta mudança, foi construído um gráfico com a evolução do consumo mensal de gás natural durante os dois anos em análise, representado na Figura 29.

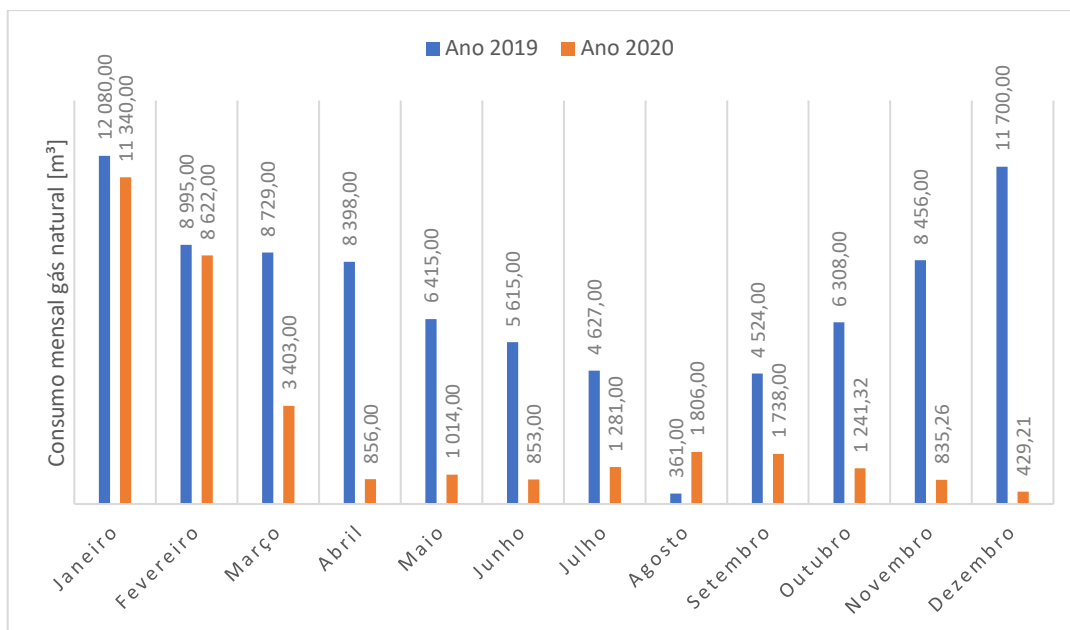


Figura 29 - Consumos mensais de gás natural ao longo de 2019 e 2020

Pode-se observar no gráfico da Figura 29 uma quebra, seguida de um aumento dos consumos de gás natural ao longo de 2019, pode-se associar esta situação à ausência de utentes no período das férias. Durante todo o ano de 2019 o complexo consumiu um total de 86 208 m³ de gás natural.

No ano de 2020, os consumos de gás natural apresentam um valor bastante reduzido, tendo em conta que a piscina se encontrou fechada. Durante todo o ano de 2020 o complexo consumiu um total de 33 418,79 m³ de gás natural.

#### 4.2.3.1. Contabilização de consumos das energias térmicas

Tendo a informação relativa aos consumos gás natural de 2019 e 2020, será agora interessante verificar qual o impacto no consumo energético térmico da instalação. Para realizarmos esta análise comparativa foi necessário converter, em primeiro lugar, o consumo de gás natural, conhecido em m³, para as mesmas unidades da eletricidade (kWh). Isso consegue-se de uma forma aproximada recorrendo à Equação 4.1, onde a massa volúmica do gás natural ( $\rho_{GN}$ ) e o respetivo poder calorífico inferior ( $PCI_{GN}$ ) são, segundo o Despacho n.º 17313/2008, 0,8404 kg/m³ e 45,1 MJ/kg, respetivamente. A forma mais correta de contabilização seria utilizando o poder calorífico superior em vez do poder calorífico inferior, mas isso requeria saber-se outras componentes como o fator de correção por temperatura e o fator de correção por pressão.

$$Gn [kWh] = GN [m^3] \times \rho_{GN} \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \times PCI_{GN} \left[ \frac{MJ}{kg} \right] \times \frac{10^3 kJ}{1 MJ} \times \frac{1 kWh}{3600 kJ} \quad (4.1)$$

Na Figura 30 pode-se observar, a evolução do consumo de energia térmica referente a 2019 e 2020.

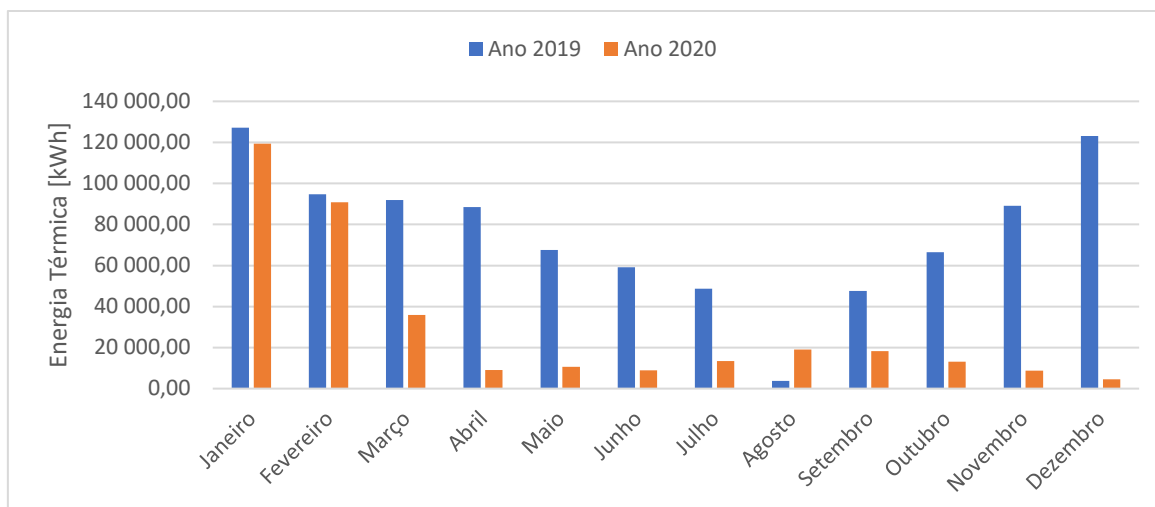


Figura 30 - Conversão de gás natural para energia térmica

Observando a figura anterior, o consumo de eletricidade não sofre grandes alterações ao longo do ano de 2019, a não ser em agosto devido a uma menor necessidade de utilização de gás natural. No ano de 2020 pode-se observar uma elevada redução nos consumos de energia térmica devido ao confinamento implementado em Portugal.

#### 4.2.4. Consumos de Água

Na Figura 31, pode-se observar um gráfico dos consumos de água ao longo de 2019 e 2020.

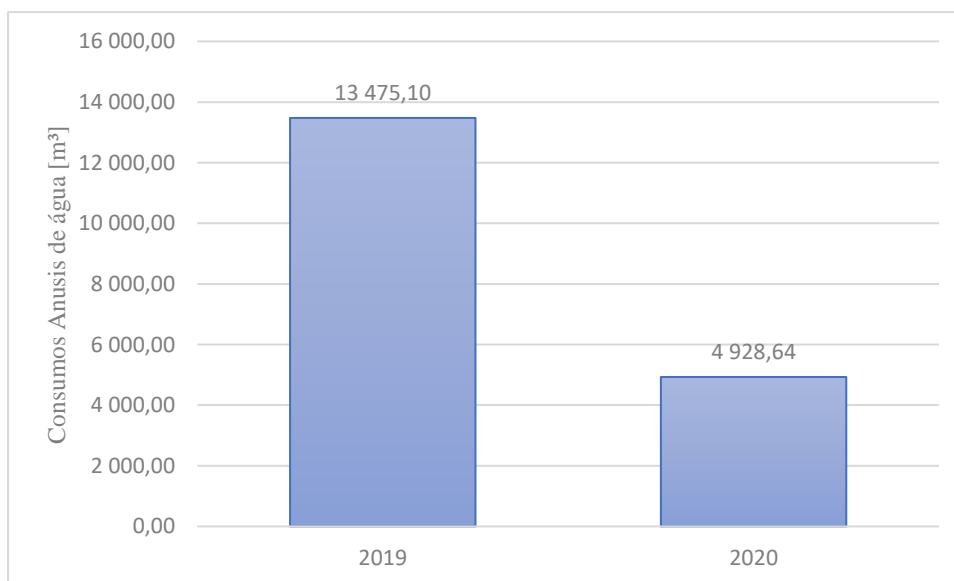


Figura 31 - Consumos anuais de água ao longo de 2019 e 2020

O gráfico anterior demonstra um decréscimo bastante significativo, de 2019 para 2020, relativamente ao consumo de água, idêntico aos consumos de eletricidade e gás natural, representando uma diminuição acentuada, sendo mais um indicador de que a pandemia causou uma elevada redução no número de utentes na piscina. Para se perceber melhor quais os meses que mais contribuíram para esta mudança, foi construído um gráfico com a evolução do consumo mensal de água durante os dois anos em análise, representado na Figura 32.

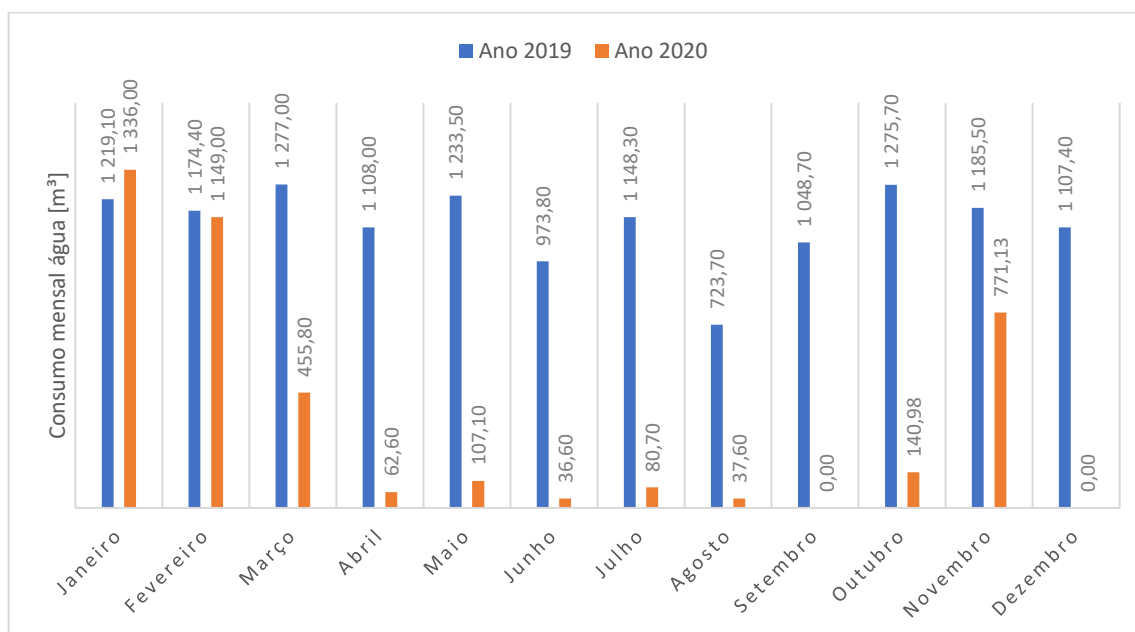


Figura 32 – Consumos mensais de água ao longo de 2019 e 2020

Observando o gráfico anterior pode-se verificar que não existem grandes variações de consumos relativamente aos consumos de água independentemente do número de utentes ao longo de 2019. Durante todo o ano de 2019 o complexo consumiu um total de 13 475 m<sup>3</sup> de água.

No ano de 2020, os consumos água apresentam um valor bastante reduzido, visto que a piscina esteve encerrada. Durante todo o ano de 2020 o complexo consumiu um total de 4 929 m<sup>3</sup>.

#### 4.2.5. Análise Consumos Energéticos Elétricos

De forma a ser possível calcular os consumos energéticos diários da PMVF, tendo em conta que não foi possível obter dados específicos de cada equipamento, visto que a piscina não possuía os consumos específicos de cada equipamento, possuindo apenas os consumos gerais de eletricidade, gás e água, recorreu-se à análise de quatro piscinas:

- Piscina 1 – Piscina Municipal Luís Lopes da Conceição [50].
- Piscina 2 – Piscina de estabelecimento de ensino privado [51].
- Piscina 3 – Piscina Kirkkonummi [52].
- Piscina 4 – Piscina Rui Abreu [53].

Retirou-se a potência energética diária de cada conjunto de equipamentos, tendo-se posteriormente feito a média das quatro piscinas, obtendo-se os seguintes resultados (Tabela 3):

*Tabela 3 - Dados de análise energética*

Equipamentos	Piscinas Modelos				Piscina Vale Fundão	Potencia. Energética(kWh) - Diária
	1	2	3	4		
UTA	59,13%	50,30%	26,85%	52,54%	47,2%	451,14
Bombas	28,47%	34,20%	29,75%	47,46%	35,0%	334,23
Ultravioleta		12,50%			3,1%	29,87
Iluminação	12,39%	2,90%	10,53%		6,5%	61,70
Outros Equipamentos		0,10%	32,88%		8,2%	78,80
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	<b>955,73</b>

Com base na tabela anterior, calculou-se uma média de consumo diário de 955,73 kWh de energia elétrica despendida na PMVF.

#### **4.2.6. Análise Consumos Energéticos Térmicos**

Para o cálculo dos consumos energéticos térmicos da PMVF, recorreu-se ao ANEXO C, consumos térmicos no período de 2019, visto que o ano de 2019 possui os valores de consumos mais habituais, retirando-se uma média diária de energia térmica despendida de 2 440 kWh para os consumos da PMVF.

Tendo em conta que a piscina também não possuía a informação de consumos energético térmicos de cada equipamento, procedeu-se à utilização do mesmo método mencionado anteriormente para o cálculo da energia elétrica, recorrendo à média de três piscinas (Piscina 1 não possuía esta informação), obtendo assim a energia térmica dos equipamentos presentes na Tabela 4.

Desta forma, retira-se uma média diária de energia térmica despendida de 2 440 kWh para os consumos da PMVF.

*Tabela 4 - Dados de análise energética*

Equipamentos	Piscinas Modelos				Piscina Vale Fundão	Potencia Energética(kWh) - Diária
	1	2	3	4	Média	
Caldeira		85,42%	46,12%	86,98%	72,8%	1777,26
AQS		14,58%	53,88%	13,02%	27,2%	662,60
Total		100,00%	100,00%	100,00%	100,0%	<b>2439,86</b>

Após a análise dos consumos de eletricidade, gás e água, pode-se concluir que a PMVF sofreu um grande impacto devido à pandemia, tendo reduzido os consumos do ano de 2019 para 2020. Mais especificamente ocorreu uma redução de 14% nos consumos de eletricidade, uma redução de 57% nos consumos de gás natural e por fim uma redução de 63% nos consumos de água.

### 4.3. Modelação da PMVF

#### 4.3.1. Revit

Através do programa *Revit*, foi desenvolvido uma simulação na área das piscinas corresponde à PMVF. Esta simulação, realizada em *Autodesk Revit*, tem como objetivo apresentar um modelo BIM 4D, o planeamento virtual e a demonstração da facilidade na extração de documentos do modelo.

Na Figura 33 pode-se observar a PMVF modelada em *Revit*, na qual é possível analisar a estrutura arquitetónica da piscina, a disposição dos tanques de água, bem como a disposição dos coletores solares presentes no topo do edifício.

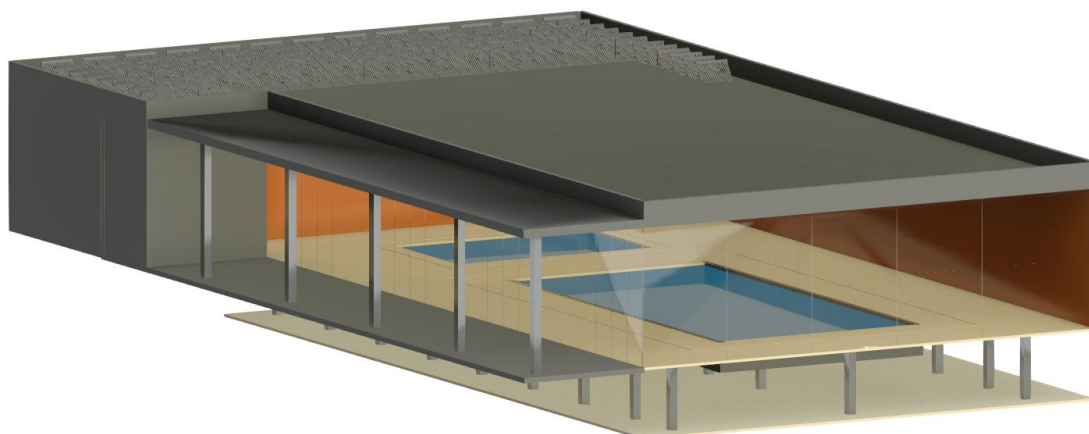


Figura 33 - Modelação da PMVF em Revit

Na Figura 34, é possível observar a modelação estrutura da PMVF apresentando a estrutura em arame da piscina. Quanto ao nível de detalhe, este pode variar, tanto na modelação como na visualização. Um nível de detalhe maior no projeto depende da confecção de um componente mais detalhado, estes detalhes mais complexos podem ser exibidos ou não, o que é possível configurar em cada vista do projeto completo, ou em vistas específicas através de *templates*. Estas propriedades dos componentes são validas para todas as áreas.

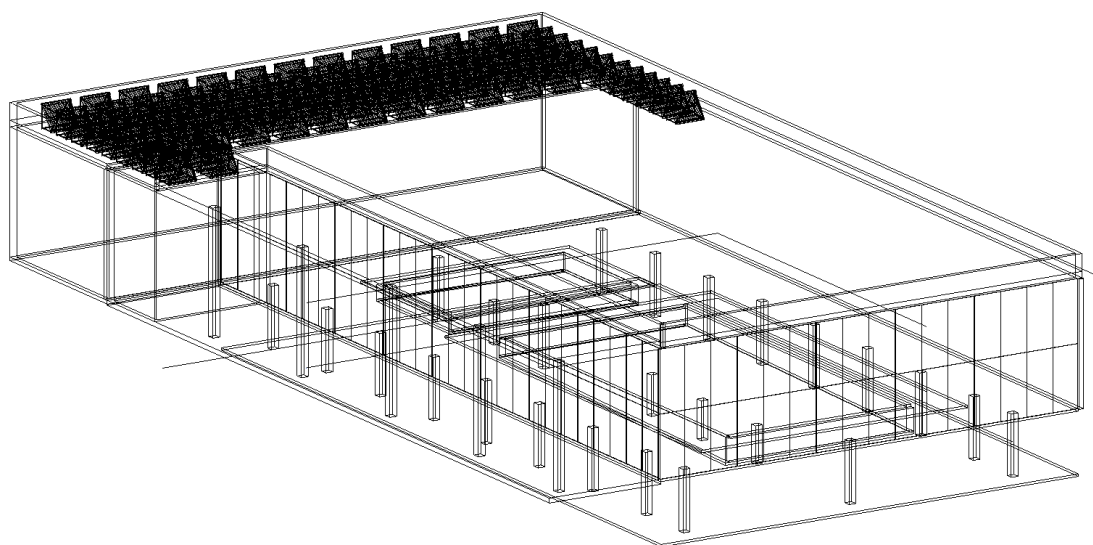


Figura 34 - Modelação da estrutura PMVF em Revit

A modelação do projeto em *Revit*, semelhante ao que acontece em outros programas de modelação BIM, possui diversas vantagens além da simples apresentação 3D. Podemos destacar a capacidade do cálculo de volume (escavação, peças estruturais), identificação automática de sistemas (se todas as tubagens possuïrem um início e um fim), análises luminotécnicas, entre outros.

Em relação a visualização, a capacidade de criar cortes (Figura 35), elevações, vistas e perspectivas 3D de detalhes instantaneamente, análise energética do edifício, a possibilidade de realizar estudos de massa sem a necessidade de se utilizar componentes pré-determinados, e transformar estas massas em qualquer componente desejado, como paredes e telhados com formas não convencionais, a identificação dos componentes, espaços e cotas automaticamente, entre outros.

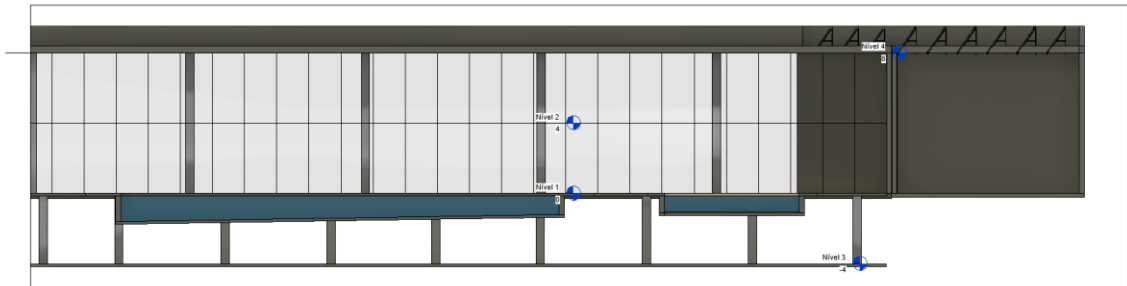


Figura 35 - Corte da PMVF em Revit

### 4.3.2. Gestão da instalação

A gestão de instalações constitui um campo interdisciplinar que se ocupa da coordenação de espaços, infraestruturas, pessoas e organizações, frequentemente associado a funções relacionadas com a gestão da prestação de serviços gerais a instalações.

A proposta para a gestão da PMVF tem como base uma síntese e organização da informação do edifício, bem como um modelo que procura assegurar a conservação do ativo imobiliário. Naturalmente que, com as atuais evoluções tecnológicas, estas ferramentas podem estar informatizadas e disponíveis em programas com recurso à *Internet*. De modo a estarem acessíveis a qualquer hora em qualquer lugar, recorreu-se à ferramenta informática *Nextbitt*, permitindo um melhor controlo das operações.

Neste programa informático, podem-se diferenciar as seguintes atividades:

- **Criação de localizações e ativos:** Permite associar cada equipamento a um local bem como as características, facilitando o acesso à informação necessária na manutenção do equipamento por qualquer prestador de serviços (Figura 36 e Figura 37);

Ativos

ATIVOS MAPA

Ativos de Todas as Localizações

Sector

Código	Descrição	Cód. Ativo Principal	Ativo Principal	Cód. Setor	Cód. Centro Custo	C. Custo	Familia	Sub-Familia
Setor: UPK > LISBOA > AQUALUZ TROIA - AVAC e TIM III								
71200119-CE-CH	Chiller - CH	71200119-CE-001-AT	CENTRO EVENTOS - PISO -1 - A. TÊC.	71200119	000040063618	Service Contrato	EQUIPAMENTOS AVAC	Produção Energia Térmica
71200119-CE-DE1	Depósito Distribuição - DAQS 1	71200119-CE-001-AT	CENTRO EVENTOS - PISO -1 - A. TÊC.	71200119	000040063618	Service Contrato	EQUIPAMENTOS ÁGUA	Rede Água Quente
71200119-CE-DE2	Depósito Distribuição - DAF 2	71200119-CE-001-AT	CENTRO EVENTOS - PISO -1 - A. TÊC.	71200119	000040063618	Service Contrato	EQUIPAMENTOS ÁGUA	Rede Água Quente

Figura 36 - Exemplo de organização de ativos

DADOS GERAIS	ANEXOS	CÓDIGOS ALTERNATIVOS
 Código <input type="text"/> Designação * <input type="text"/>	Equip. Referência <input type="text"/>	Arquivo <input type="text"/>
Fabricante <input type="text"/>	Data de Fabrico <input type="text"/>	Data de Instalação <input type="text"/>
Marca <input type="text"/>	Modelo <input type="text"/>	N° Série <input type="text"/>
N° Património <input type="text"/>	Matricula <input type="text"/>	Data de Fim da Garantia <input type="text"/>
Fornecedor <input type="text"/>	Cliente/F. de Serviços <input type="text"/>	Custo <input type="text"/>
Propriedade <input type="text"/>	<input type="text"/>	Centro de Custo <input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	Local <input type="text"/>

Figura 37 - Exemplo de criação de ativos

- **Pedidos de Intervenção:** pedidos do dia, em atraso, fechados, pendentes ou sem ordem de trabalho (Figura 38);

PEDIDO	CLASSIFICAÇÃO	ANEXOS
Localização * <input type="text"/>	Tipo de Serviço * <input type="text"/>	<input type="text"/>
Ativo <input type="text"/>	Âmbito * <input type="text"/>	<input type="text"/>
Problema ou Necessidade * <input type="text"/>	Grau * <input type="text"/>	<input type="text"/>
Comentário <input type="text"/>	Requisitante * <input type="text"/>	Contacto <input type="text"/>
12px <input type="text"/>	GESTOR SUL	935712145

Figura 38 - Exemplo de pedido de intervenção

- **Informação relativa a cada ordem de trabalho:** localização, estado (ativo ou inativo), descrição, observações, tipo de serviço, subtipo de serviço, âmbito, grau (emergência), o requisitante, contacto telefónico e o respetivo estado da ordem de trabalho (Figura 39).

Figura 39 - Exemplo de ordem de trabalho

- Planeamento manutenções preventivas:** A concretização de um plano de manutenção preventiva é exequível e permite à organização uma melhor calendarização e controlo das atividades, estando estas em formato digital e acessíveis em qualquer momento (Figura 40);

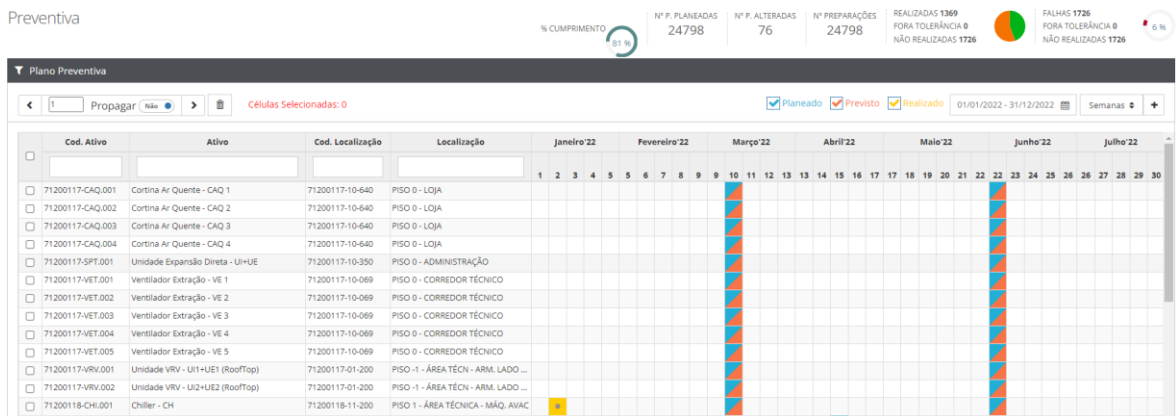


Figura 40 - Exemplo planeamento manutenções preventivas

Para além do planeamento, todos os colaboradores têm acesso ao programa, incluindo os técnicos especializados. Permitindo que o técnico responsável saiba qual o tipo de atividade a realizar para cada elemento, seja uma revisão anual, mensal, trimestral, entre outras, através da utilização da aplicação móvel.

Por conseguinte, a utilização de uma ferramenta de manutenção, neste caso o *Nextbitt*, irá permitir um melhor controlo dos acontecimentos relativos aos equipamentos presentes na instalação da PMVF, bem como um melhor acesso à informação dos processos da instalação.

#### 4.4. Dimensionamento de componentes para PMVF

A análise energética terá por base três equipamentos, a caldeira, os coletores solares e a unidade de tratamento de ar. Estas serão calculadas para a zona balnear sendo esta a área ocupada pelo tanque de aprendizagem e a piscina de 25 m, bem como o espaço onde ambas estão inseridas (Figura 41).

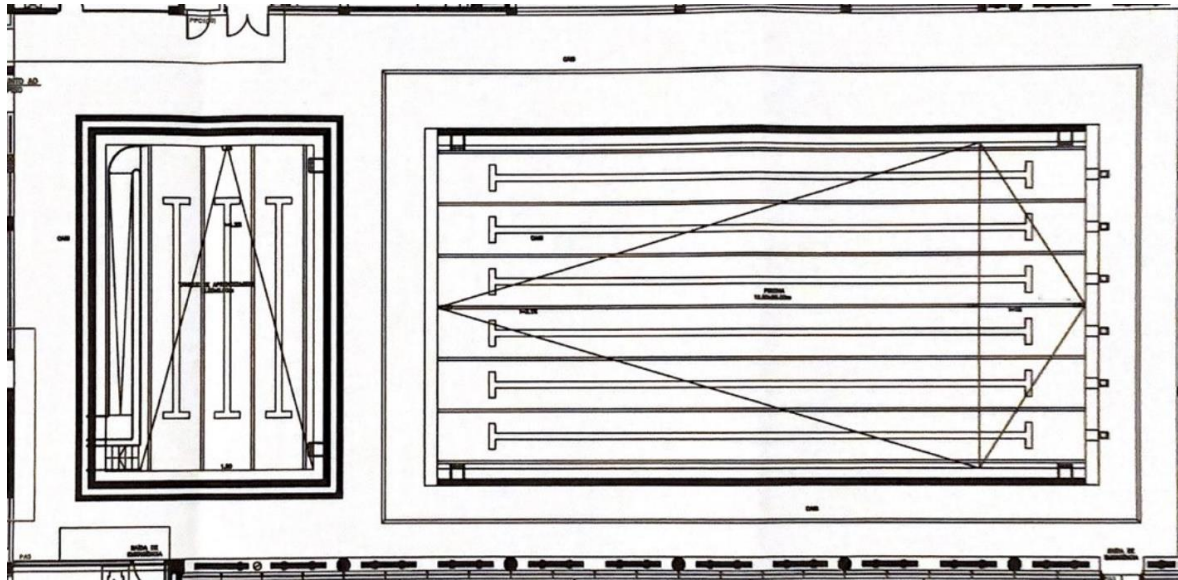


Figura 41 - Foco principal da análise energética

##### 4.4.1. Dimensionamento de coletores solares

A piscina Vale do Fundão apresenta um total de 112 coletores solares, com uma área de 490 m<sup>2</sup>, os quais não se encontram operacionais, pelo que será realizado um novo estudo para a área indicada a amarelo na Figura 42, sendo esta a substituição dos 112 coletores solares presentes na piscina, utilizando o programa *Solterm* (programa de análise de desempenho de sistemas solares) através de uma simulação numérica de balanços energéticos ao longo de um ano de referência, foi especialmente concebido para as condições climáticas e técnicas de Portugal.



Figura 42 – Área de estudo para o cálculo de coletores solares

Na Figura 43, pode-se observar o menu inicial do programa *Solterm*. De forma a procedermos ao cálculo do desempenho térmico dos coletores solares, começou-se por escolher o local, neste caso foi escolhida a zona de Lisboa.

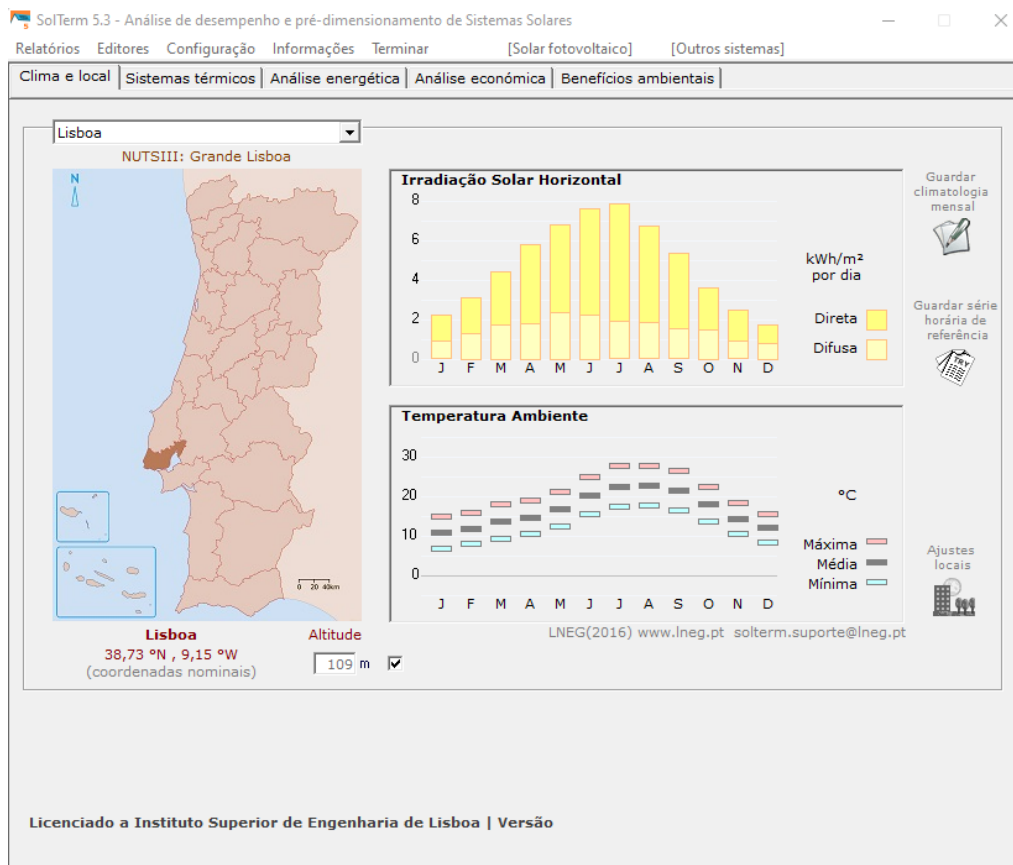


Figura 43 - Menu inicial do Programa SolTerm

Na Figura 44, tendo em conta que a Piscina coberta Pedro Arrupe, a qual possui características idênticas à PMVF, estando presente neste programa, iremos recorrer a este projeto, sendo este um projeto de aquecimento de uma piscina, possuindo um depósito de  $10 \text{ m}^3$ , com o apoio de uma caldeira a gás natural, para a obtenção de uma temperatura ambiente dentro da piscina de  $37^\circ\text{C}$ .

O espaço ocupado pelos coletores solares calculados possui uma área de  $490 \text{ m}^2$ , sendo 273 coletores no topo do edifício com uma inclinação de  $33^\circ$ , da marca Daikin EKS21P, visto que a chapa de características dos coletores presentes na PMVF não apresentam nenhum tipo de informação devido ao desgaste do equipamento.

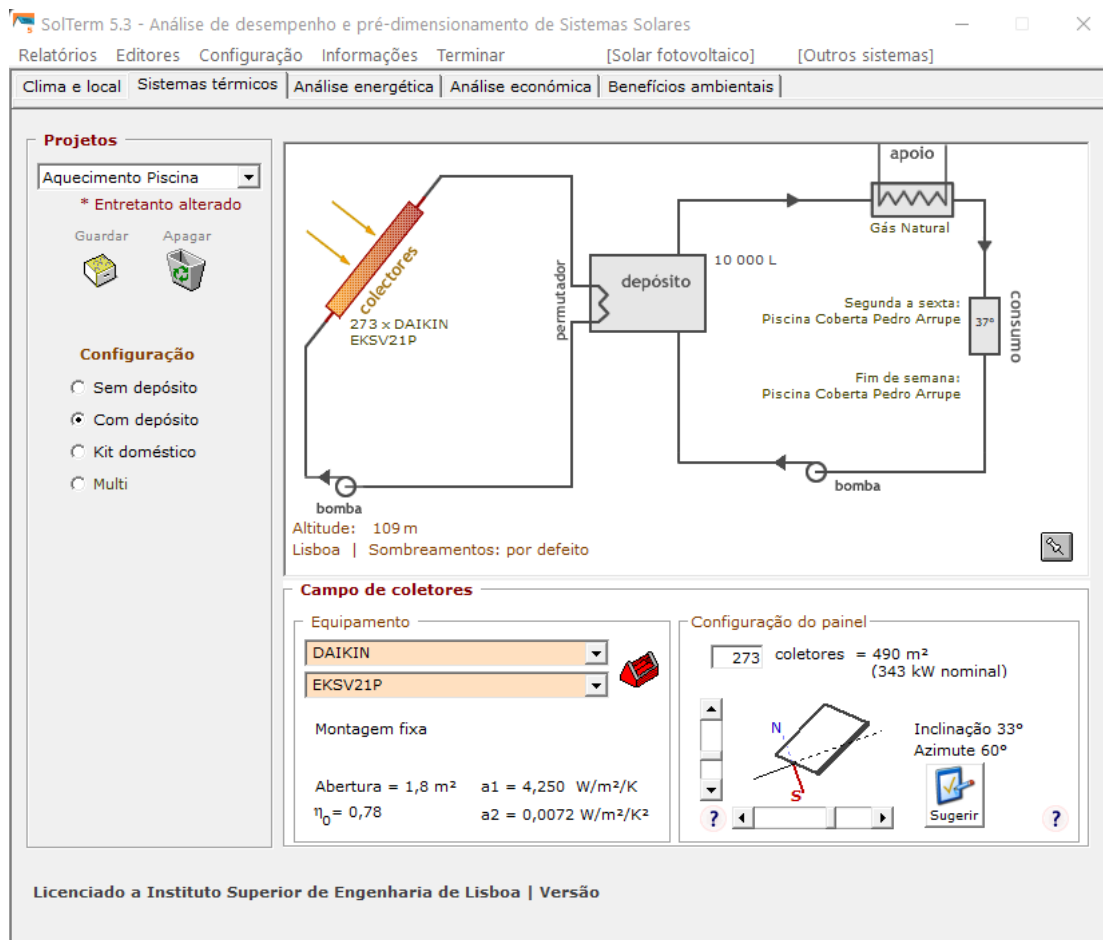


Figura 44 - Características colocadas no programa SolTerm

Após a colocação de dados no programa, procedeu-se ao cálculo da respetiva análise energética, a qual é possível observar na Figura 45.

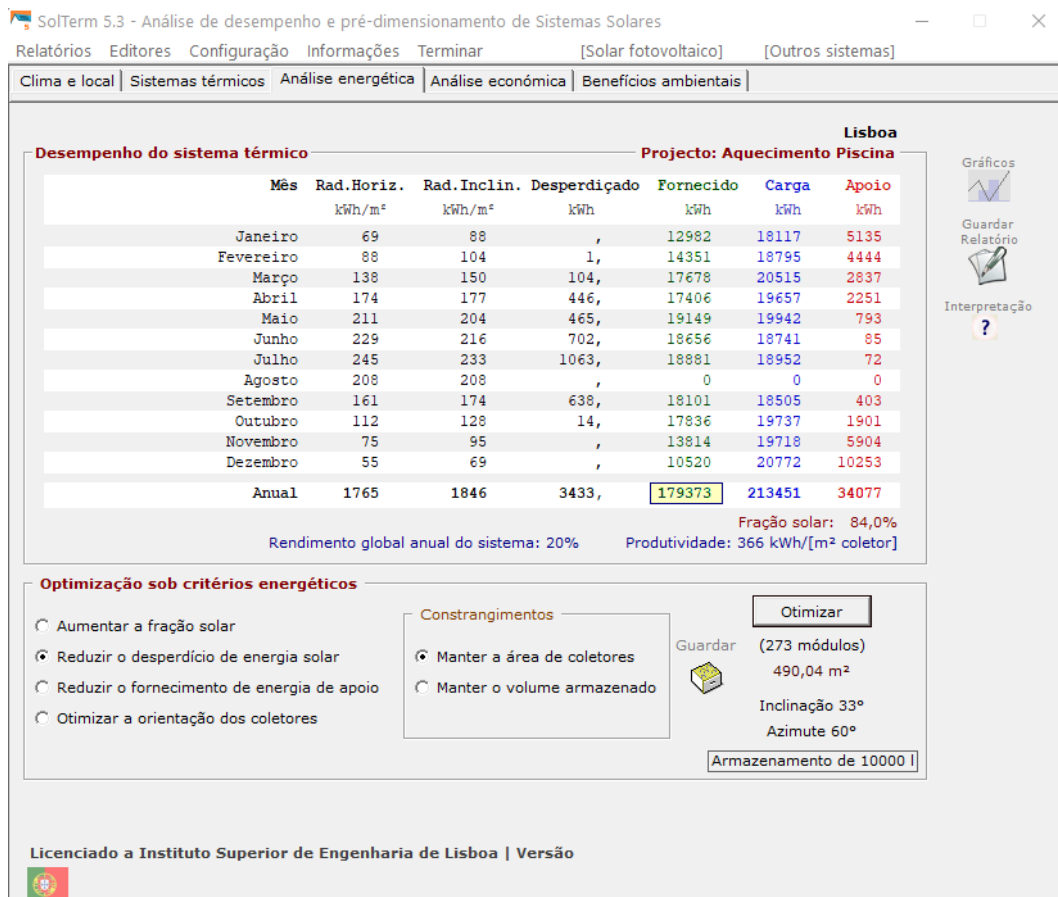


Figura 45 - Resultados obtidos no programa Solterm

Através da Figura 45, pode-se observar que ao longo do ano, os coletores solares forneceram um total de 179 373 kW/h, com um rendimento global anual de 20% e uma produtividade de 366 kWh/m<sup>2</sup> por coletor solar.

A Figura 46 apresenta uma comparação da energia térmica da PMVF sem coletores e a energia fornecida pelos coletores solares.

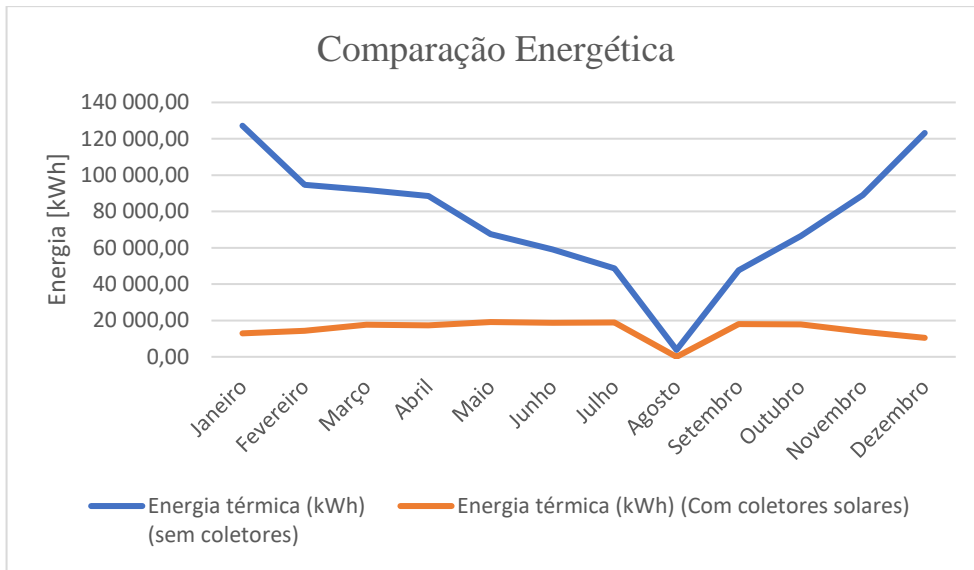


Figura 46 - Comparação energética da PMVF com e sem coletores

Os custos da aquisição de 273 coletores solares será de 245 018 € como é possível observar na Figura 47.



Figura 47 - Custos de aquisição de coletores solares

#### 4.4.2. Dimensionamento da UTA

Recorrendo a um programa de seleção de UTA, nomeadamente, Sandometal Air Handling software (SAHS), de um fabricante nacional Sandometal. Começou-se por se introduzir os dados meteorológicos (condições) tanto para o Verão como para o Inverno. Para a modulação da UTA foram introduzidos os seguintes módulos:

- O filtro na admissão (ODA) antes do ventilador e filtro de saco na insuflação (SUP) após o ventilador, ou seja, à entrada e saída da UTAN;
- O filtro na extração (ETA) à entrada da UTAN;
- O ventilador de extração e de insuflação;
- O recuperador de calor (do tipo fluxos cruzados);
- A bateria de aquecimento e arrefecimento;

- O separador de gotas (será instalado após a bateria de arrefecimento e antes da bateria de aquecimento, para impedir que possíveis gotas criadas pela condensação da bateria afetem a bateria de aquecimento);

Após a análise das necessidades da UTA, utilizando o programa SAHS, considerou-se as seguintes características presentes na Tabela 5:

Tabela 5 - Características da UTA dimensionada

Características técnicas	UTA
Filtro ODA	M5 Plissado 45 mm
Filtro ETA	M5 Plissado 45 mm
Filtro SUP	F7 Bolsas
Recuperador de calor	Placas (Heatex)
Ventilador ETA	Centrifugo de acoplamento direto
Ventilador ETA	Centrifugo de acoplamento direto
Bateria de arrefecimento	P3012
Bateria de aquecimento	P60
Separador de gotas	PSG33
Módulos UTA	7

A Figura 48 ilustra a UTAN dimensionada pelo SAHS com a introdução das características mencionadas anteriormente:

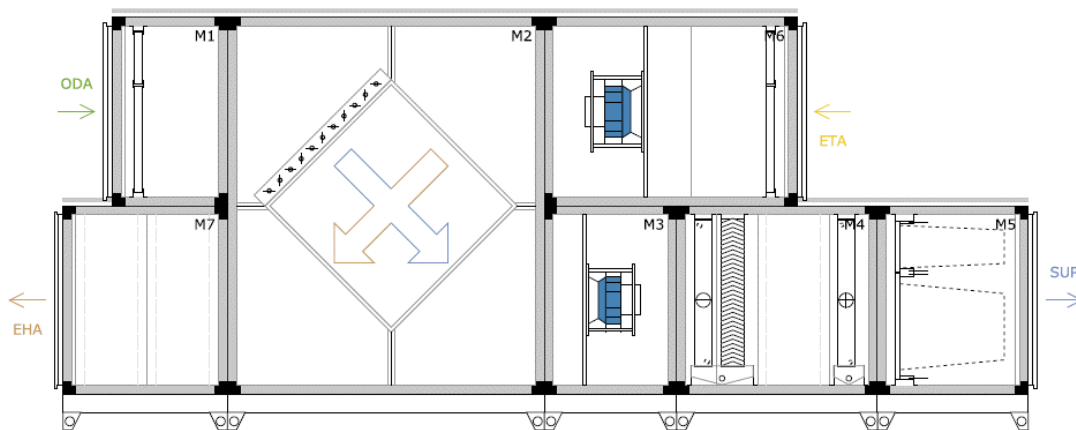


Figura 48 – UTA dimensionada em SAHS

#### 4.4.3. Dimensionamento da caldeira

A produção de água quente é efetuada através de duas caldeiras de queima a gás (caldeira 1 e caldeira 2) realizada numa câmara de combustão pressurizada, equipadas com queimador mecânico, estando destinadas à produção de água quente para valores máximos de temperatura de 95 °C e

pressão máxima de 4,5 bar. Cada caldeira possui válvula de segurança no lado da água com a pressão regulada para 4 bar e fluxostato de segurança no queimador, para desligar a alimentação elétrica se detectado um caudal igual ou inferior ao mínimo admissível, definido em função da potência da caldeira e do diferencial das temperaturas da água de 30 °C.

Para a escolha da caldeira, recorreu-se ao catálogo da marca “Roca” para a substituição da caldeira presente na PMVF, tendo esta sido fabricada no ano de 2005. Desta forma, escolheu-se o modelo CPA 580-BT/2 (Tabela 6) possuindo características idênticas à caldeira presente na piscina.

*Tabela 6 - Modelo selecionado da caldeira*

<b>Características técnicas</b>	<b>Caldeiras 1 e 2</b>
<b>Fabricante</b>	Roca
<b>Modelo</b>	CPA 580 - BT/2. BT/M
<b>Ano de fabrico</b>	2021
<b>Potência nominal (kW)</b>	580
<b>Temperatura máxima</b>	80°C


#### **4.5. Melhoria da instalação**

Após o dimensionamento dos componentes principais da piscina (UTA, caldeira e coletores solares) para uma melhoria na eficiência energética, evitando recorrer a recursos de mão-de-obra adicionais iremos propor a instalação de um sistema de gestão técnica centralizada (GTC) para a monitorização, tratamento de informação e operacionalidade. Esta gestão irá permitir a integração total de todos os equipamentos através de uma gestão remota e uma facilidade no acesso realizando ajustes nos diversos componentes permitindo que os parâmetros definidos no programa sejam sempre o objetivo principal.

##### **4.5.1. Monitorização**

Para a monitorização dos equipamentos presentes na piscina, iremos recorrer ao módulo de automação EY-AS525F001 (Tabela 7), sendo este um módulo de automação com um sistema de gestão de edifícios de última geração de um fabricante de referência e um dos sistemas mais capazes de lidar com todas as funções necessárias dentro da área de automação de edifícios técnicos e de controlo preciso da climatização e regulamentação possuindo diversas funções de alarme.

Tabela 7 – Módulo de automação selecionado

<b>Tipo</b>	EY-AS525F001	
<b>Fonte de alimentação</b>	230 V~, ±10%, 50...60 Hz	
<b>Consumo de energia</b>	≤ 13 VA/5 W	
<b>Corrente de partida</b>	At 230 V~: 8 A(5 ms)	
<b>Nº Máximo de módulos</b>	8	


O módulo de automação EY – Modulo 5 possui as seguintes capacidades:

- Sistema de automação modular;
- Regulação, controlo, monitorização e otimização de sistemas operacionais (ex: em engenharia HVAC);
- 26 entradas / saídas;
- Expansível com até 8 módulos (modu525);
- Comunicação BACnet / IP (EN ISO 16484-5);
- Perfil BACnet B-BC;
- Perfil AMEV AS-B;
- Servidor web integrado;
- Programação / parametrização via PC usando CASE Suite (baseado em IEC 61131-3);
- Bibliotecas de controlo;
- Função hora e calendário
- Controlo preditivo baseado em dados de previsão meteorológica;
- Gravação de dados;
- Pode ser equipado com unidades locais de operação e indicação, localizadas a até 10 m de distância;
- Saída de sinal ativo pulsado.

#### 4.5.2. Sensor de temperatura e humidade

De forma a conseguirmos calcular a variação da temperatura e humidade na área da piscina, iremos recorrer a quatro sensores EGH120F041 (Tabela 8), sendo este um transdutor de ambiente, humidade relativa e temperatura que permite detetar estas variações transformando a informação recebida em sinais elétricos, transmitindo para o controlador de monitorização de EY-AS525F001.

*Tabela 8 - Sensor de temperatura e humidade*

<b>Tipo</b>	EGH 120F041	
<b>Fonte de alimentação</b>	15...24 V= ( $\pm 10\%$ )	
<b>Consumo de energia</b>	Max. 1 W (24 V)	
<b>Humidade Relativa</b>	0...100% HR, sem condensação	
<b>Temperatura Admissível</b>	-20...70 °C	


O sensor de temperatura e humidade EGH 120F041 possui as seguintes características:

- Medição por meio de sensor capacitivo rápido;
- Elemento de medição ativo;
- Adequado para instalação direta em paredes;
- Conversão de valores medidos num sinal analógico contínuo (0 ... 10 V ou 4 ... 20 mA).

### 4.5.3. Sistema de AVAC

Recorrendo ao equipamento modu680-AS (Tabela 9) o qual encontra-se destinado à regulação e controlo de preparação de energia primária de AVAC, bem como aplicações com controlo de sala integrado. Este equipamento possui a capacidade para 24 módulos que podem ser conectados diretamente. O modu680-AS é um sistema otimizada que suporta a funcionalidade central para topologias mais descentralizadas.

Tabela 9 – Sistema modu680-AS

<b>Tipo</b>	EY6AS80F021	
<b>Fonte de alimentação</b>	24 V= ± 10%	
<b>Consumo de energia</b>	≤ 2 W sem carga ≤ 24 W de carga máxima	
<b>Conexão</b>	Terminal tipo mola de 5 pinos	
<b>Controlo BACnet</b>	96 (Ciclos)	


A estação modu680-AS possui as seguintes características:

- Sistema de automação modular, expansível com módulos de E / S e módulos de comunicação;
- Regulação, controlo, monitoramento e otimização de sistemas operacionais em HVAC;
- Comunicação BACnet / IP (EN ISO 16484-5);
- Servidor web integrado para comissionamento local, visualização e operação;
- Administração de usuários para identificação, autenticação e controlo de acesso;
- Interface Bluetooth para comissionamento e manutenção móvel;
- Bibliotecas de controlo;
- Função hora e calendário;
- Controlo preditivo baseado em dados de previsão meteorológica;
- Gravação de dados em média removível (cartão microSD);
- Administração e identificação do usuário (servidor web);
- Saída de sinal vivo pulsado.

#### 4.5.4. Servidor de acesso Web

Tendo em vista uma melhoria na automatização dos equipamentos e uma melhor monitorização, iremos também instalar um sistema que permite a monitorização e a operação do edifício, reconhecendo uma potencial otimização a partir de qualquer ponto de acesso, como por exemplo um computador conectado à *internet*. O sistema será o EY-WS 500 (“Web server for moduWeb Vision and moduWeb500”) permitindo o controlo remoto da instalação (Tabela 10).

Tabela 10 - Sistema Ey-WS 500 (Servidor de web)

<b>Tipo</b>	EY-WS500F005	
<b>Fonte de alimentação</b>	24 V~/=, ±20%, 50...60 Hz	
<b>Consumo de energia</b>	≤ 6.5 VA/5.5 W	
<b>Protocolo de comunicação</b>	BACnet/IP (DIX)	
<b>Conexão de Ethernet</b>	1 × Ficha RJ-45	

O sistema será o EY-WS 500 possuí as seguintes características:

- Regulação, controlo, monitorização e otimização de sistemas operacionais;
- Instalações operadas via internet utilizando um navegador de web padrão;
- Notificação online por e-mail e mensagem de texto;
- Registo de valores históricos e alarmes;
- Funções de horário e calendário (BACnet Schedule Client);
- Visualização sw imagens dinâmicas ou diagramas;
- Comunicação com cliente web via protocolo HTTP padrão.

A Figura 49 apresenta um modelo da página de *web* para a gestão dos equipamentos recorrendo ao sistema de GTC.

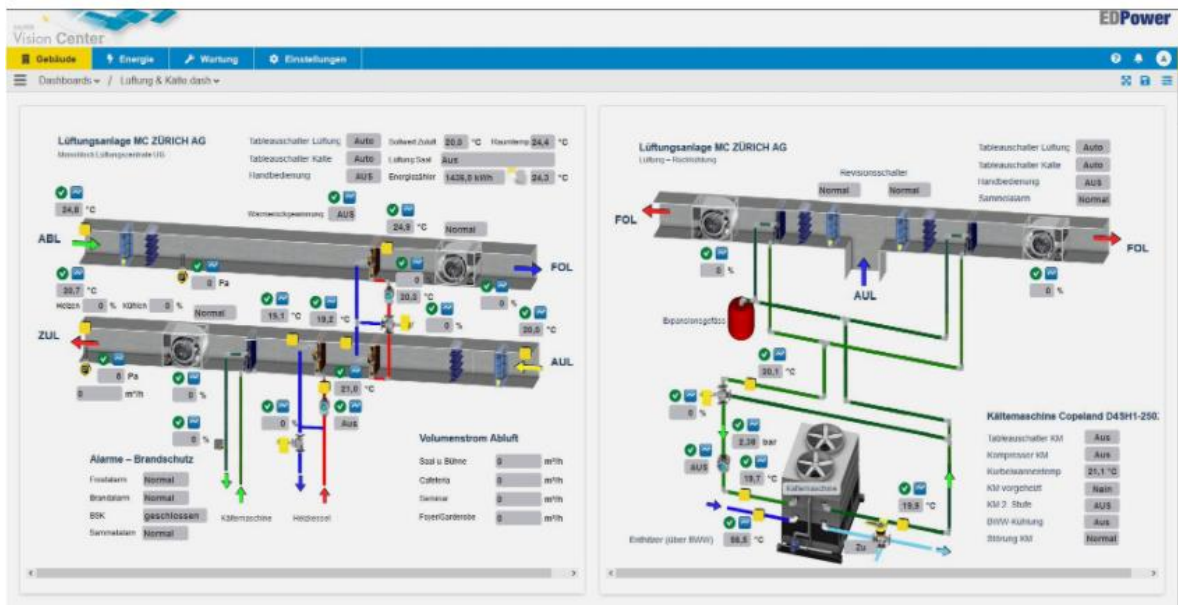


Figura 49 - Exemplo do serviço de web de um fabricante de referência

#### 4.6. Implementação de controlo de manutenção

Conforme mencionado na subsecção 2.3, a manutenção é um fator essencial numa instalação, permitindo um aumento da vida útil dos equipamentos, minimizando adversidades e reduzindo consideravelmente os custos de substituição de novas peças, ou em casos extremos, a substituição completa do equipamento, caso este fique totalmente inoperacional não sendo possível efetuar a reparação, ou seja, uma correção de manutenção corretiva.

Tendo vista que, com este trabalho se pretende uma melhoria energética, uma forma de reduzir estes consumos será através de manutenções preventivas, recorrendo a um plano de manutenção preventiva (PMP). Isto é, o PMP, irá permitir agendar as datas que cada equipamento necessitará de receber uma manutenção preventiva (mensal, semestral ou anual), também irá permitir que o técnico efetue diversos testes aos equipamentos e identificar situações que possam surgir necessitando no futuro uma manutenção corretiva. Para tal iremos recorrer a uma ferramenta da manutenção que permite realizar a gestão da manutenção e armazenar os históricos de cada intervenção.

##### 4.6.1. Plano de Manutenção Preventivo

Um plano de manutenção preventivo é um tipo de programação que define quando e quem deve realizar vistorias nos equipamentos reduzindo custos e aumentar a produtividade do equipamento. Desta forma, as ordens de trabalho (OT) serão lançadas no início de cada mês, através da ferramenta da manutenção, permitindo que o técnico responsável saiba exatamente os equipamentos que necessitam de uma manutenção corretiva.

## **4.6.2. Manutenções preventivas nos equipamentos**

### **4.6.2.1. Unidade de tratamento de ar**

A revisão da UTA consiste nas seguintes tarefas:

- Registrar queda de pressão dos pré filtros;
- Registrar queda de pressão dos filtros de insuflação;
- Registrar queda de pressão dos filtros de retorno;
- Substituição dos filtros de ar, caso necessário;
- Testar pressostatos de filtro colmatado e de funcionamento e afinar se necessário;
- Testar funcionamento das válvulas modelantes;
- Verificar estado e tensão das correias de transmissão, ajustar caso necessário;
- Verificação do alinhamento das polias de transmissão;
- Purgar serpentinas;
- Verificar na GTC temperatura de insuflação;
- Verificar na GTC temperatura de retorno;
- Registrar horas de funcionamento dos ventiladores;
- Registrar consumo do ventilador de insuflação;
- Registrar consumo do ventilador de retorno;
- Limpeza da unidade;
- Limpeza das grelhas e registos de insuflação e extração;
- Verificação de eventuais fugas de água, estado das tubagens e isolamento térmico;
- Verificar desobstrução da tubagem de esgoto, limpar e testar o sifão;
- Limpar tabuleiro de condensados e inspecionar o seu estado;
- Verificar eventuais corrosões e tratar caso necessário;
- Verificar apoios suportes e fixações;
- Manobrar válvulas, limpar e lubrificar;
- Verificar apertos Electricos no motor e quadro Electricos;
- Verificar estado de funcionamento do variador, limpeza se necessário;
- Limpar e desinfetar baterias;
- Limpar filtro de água (se existente).

#### **4.6.2.2. Bombas circuladoras**

A revisão das bombas circuladoras consiste nas seguintes tarefas:

- Verificar Funcionamento, Pressão, Ruídos e Vibrações
- Registrar pressão de aspiração;
- Registrar pressão de descarga;
- Registrar consumo do equipamento;
- Verificar uniões da tubagem;
- Verificar eficiência de empanques/retentores e juntas;
- Verificar estado e fixação das guardas de proteção ;
- Verificar estado e correto funcionamento de manómetros e pressostatos;
- Verificar estado dos rolamentos, identificando ruído e vibrações;
- Manusear Válvulas e Verificar o seu Estado;
- Limpar bomba, motor, ventiladores e drenos;
- Verificar estado e apertos dos parafusos de fixações e apoios;
- Verificar estado das juntas antivibráticas;
- Limpeza de filtros de água;
- Verificar funcionamento dos aparelhos de comando e proteção do circuito elétrico;
- Verificar e apertos elétricos no motor e quadro elétrico;
- Retoques de pintura caso necessário.

#### **4.6.3. Controlo de manutenções corretivas**

Após feita a manutenção preventiva do equipamento, caso este apresente não conformidades, o técnico poderá através da aplicação de manutenção de referência, identificar o componente do equipamento que se encontra em avaria (através de uma foto ou comentário) facilitando o processo de identificação do problema bem como a criação de um histórico das intervenções que o equipamento já sofreu.

#### **4.7. Análise de custos**

Seguido da implementação das melhorias da instalação, será feita uma análise conjunta dos equipamentos e sistemas implementados, de forma a ser possível verificar uma redução de custos na PMVF.

#### 4.7.1. Coletores Solares

No ANEXO C, retiramos que no ano de 2019 (ano assumido como padrão) a PMVF consumiu um total de 86 208 m<sup>3</sup> de gás natural, sendo um total de 907 628 kWh de energia térmica, com um custo total de 56 948,48 €.

Na Tabela 11, observa-se a comparação entre os consumos energéticos da piscina PMVF sem os coletores solares, bem como a energia fornecida pelos mesmo, caso sejam implementados na piscina.

Tabela 11 - Comparação energética de coletores solares

<b>Comparação energética - Ano 2019 e implementação dos coletores solares</b>				
<b>Mês</b>	<b>Energia térmica (kWh) (sem coletores)</b>	<b>Energia térmica (kWh) (fornecida pelos coletores solares)</b>	<b>Energia térmica (kWh) (com coletores solares)</b>	<b>Valor mensal necessário (€)</b>
<b>Janeiro</b>	127 182,40	12 982,00	<b>114 200,40</b>	7 001,53 €
<b>Fevereiro</b>	94 702,46	14 351,00	<b>80 351,46</b>	5 101,41 €
<b>Março</b>	91 901,92	17 678,00	<b>74 223,92</b>	4 621,82 €
<b>Abril</b>	88 417,04	17 406,00	<b>71 011,04</b>	4 470,59 €
<b>Mai</b>	67 539,33	19 149,00	<b>48 390,33</b>	3 130,17 €
<b>Junho</b>	59 116,65	18 656,00	<b>40 460,65</b>	2 656,44 €
<b>Julho</b>	48 714,65	18 881,00	<b>29 833,65</b>	2 004,67 €
<b>Agosto</b>	3 800,73	0,00	<b>3 800,73</b>	665,17 €
<b>Setembro</b>	47 630,23	18 101,00	<b>29 529,23</b>	1 987,90 €
<b>Outubro</b>	66 412,80	17 836,00	<b>48 576,80</b>	2 962,33 €
<b>Novembro</b>	89 027,68	13 814,00	<b>75 213,68</b>	4 446,26 €
<b>Dezembro</b>	123 181,63	10 520,00	<b>112 661,63</b>	6 531,58 €
<b>Total</b>	907 627,52	179 373,00	<b>728 254,52</b>	45 579,86 €
<b>Média mensal</b>	75 635,63	14 947,83	<b>60 687,79</b>	3 798,32 €
<b>Média Diária</b>	<b>2 521,19</b>	<b>498,26</b>	<b>2 022,93</b>	126,61 €

Redução de consumos de energia térmica	19,8%
--	-------

Através da Tabela 11, é possível observar uma redução de 19,8% da energia térmica necessária para as necessidades da piscina, ou seja, o novo consumo mensal será de 60 687,79 kWh de energia térmica apresentando um custo de 3 798,32 €, em lugar de um consumo de 75 635,63 kWh com um custo de 4 745,71€ (ANEXO C) (a energia térmica possui um custo de 0,2 €/kWh).

#### 4.7.2. Unidade de tratamento de ar

A UTA dimensionada para PMVF possui uma potência total de 22,24 kW no verão e 57,08 kW no inverno, sendo possível observar na Tabela 12.

Tabela 12 - Potência total da UTA dimensionada

<b>Potência da UTA</b>		
Descrição	Verão	Inverno
<b>Linha de Insuflação</b>		
Recuperador de calor	4,322	10,246
Motor ventilador	0,647	
Bateria arrefecimento	7,1	
Bateria de aquecimento	9,7	
<b>Linha de extração</b>		
Motor	0,468	
Potência Total (kWh)	22,24	28,16

Tendo em conta que a piscina se encontra em funcionamento durante 14h, por dia, teremos então uma energia elétrica despendida para o funcionamento da UTA de 311,32 kWh na época de verão e 394,25 kWh na época de inverno (média de 352,79 kWh). Sendo estes valores menores quando comparados com o valor do consumo diário da UTA, presente na Tabela 3, de 451,14 kWh.

#### 4.7.3. Caldeira

Considerando que a caldeira dimensionada anteriormente é um modelo mais recente que a caldeira presente na PMVF, será então considerado um consumo igual ao calculado para a piscina de 1777,26 kWh (Tabela 4).

#### 4.7.4. Sistema GTC

Para implementação de um sistema GTC com base nos equipamentos selecionados anteriormente será necessário um investimento de 6 490,87 € (excluindo assessoria técnica bem como acessórios adicionais), como é possível observar na Tabela 13.

Tabela 13 - Custo unitário de equipamentos SAUTER

Descrição	Referencia	Un.	Custo Equipamento (€)	Custo Mão de Obra (€)
Módulo de automação	EY - AS525F001	1	3 325,60 €	1 995,36 €
Regulação e controlo de AVAC	EY6AS80F021	1	2 121,36 €	1 272,82 €
Sonda de temperatura e humidade	EGH120F041	4	293,87 €	176,32 €
Servidor de acesso Web	EY-WS500F005	1	750,04 €	450,02 €
		<b>Total</b>	<b>6 490,87 €</b>	<b>3 894,52 €</b>

<b>Total</b>	<b>10 385,39 €</b>
--------------	--------------------

#### 4.7.5. Comparação de custos

Após o cálculo dos consumos, custos dos equipamentos e o respetivo consumo energético, será realizada uma comparação entre os equipamentos presentes na piscina e os dimensionados.

##### 4.7.5.1. Energia elétrica

A Tabela 14 apresenta a comparação entre os consumos de energia elétrica da PMVF e a implementação de novos equipamentos na piscina.

Tabela 14 - Comparação energética elétrica da PMVF

Equipamentos	Piscina Vale Fundão	Potência Energética(kWh) - Diária	Piscina Dimensionada Potência Energética(kWh) - Diária	Redução	Novo custo total (diário)
	Média				
UTA	47,2%	451,14	352,79	-98,35	44,68 €
Bombas	35,0%	334,23	334,23	0,00	42,33 €
Ultravioleta	3,1%	29,87	29,87	0,00	3,78 €
Iluminação	6,5%	61,70	61,70	0,00	7,81 €
Outros Equipamentos	8,2%	78,80	78,80	0,00	9,98 €
<b>Total</b>	<b>100,00%</b>	<b>955,73</b>	<b>857,38</b>	<b>-98,35</b>	<b>108,60 €</b>
<b>Total Anual</b>		<b>348 842,10</b>	<b>312 944,02</b>	<b>-35 898,08</b>	<b>39 637,30 €</b>

Desta forma, pode-se observar uma redução de 98,35 kWh de consumo de energia elétrica diária. Ou seja, uma poupança total de 35 898,08 kWh anualmente.

#### 4.7.5.2. Energia térmica

A Tabela 14 apresenta a comparação entre os consumos de energia térmica da PMVF e a energia fornecida pela implementação dos coletores solares dimensionados anteriormente.

Tabela 15 - Comparação energética térmica da PMVF

Equipamentos	Piscina Vale Fundão	Potência Energética(kWh) - Diária	Piscina Dimensionada Potência Energética(kWh) - Diária	Redução	Novo custo total (diário)
	Média				
Caldeira	72,8%	1777,26	1473,56	-303,71	291,22 €
AQS	27,2%	662,60	549,37	-113,23	108,57 €
<b>Total</b>	100,00%	<b>2439,86</b>	<b>2022,93</b>	<b>-416,93</b>	<b>399,79 €</b>
<b>Total Anual</b>		<b>890 548,51</b>	<b>738 368,15</b>	<b>-152 180,36</b>	<b>145 922,54 €</b>

Desta forma, pode-se observar uma redução de 416,93 kWh de consumo de energia térmica diária. Ou seja, uma poupança total de 152 180,36 kWh anualmente.

#### 4.8. Contribuição do sistema de monitorização na otimização energética

Recorrendo à integração de todos os sistemas de um edifício através de uma gestão centralizada de sistemas, esta irá proporcionar uma abordagem mais inteligente à gestão da instalação, controlo de energia no edifício. Por meio da inteligência artificial, o sistema é capaz de avaliar, diagnosticar e sugerir a melhor solução.

A introdução de um sistema de monitorização de edifícios não pode, por si só, aumentar a precisão do controlo nos edifícios, mas deve tornar os sistemas de controlo mais baratos, fáceis de instalar e operar. Isto poderia proporcionar vantagens no controlo e funcionamento de todos os serviços da piscina.

##### 4.8.1. AVAC

A carga AVAC poderia ser temporariamente diminuída alterando os pontos de ajuste do circuito de controlo de forma incremental, em vez de através de uma paragem total equipamento, enquanto os geradores ou o equipamento de alimentação ininterrupta (UPS) poderia ser colocado em serviço.

A base de dados do edifício armazena dados relacionados com a conceção e funcionamento do edifício. Os dados fixos incluem propriedades tais como as características de isolamento das paredes e as dimensões das salas. Os dados dinâmicos são atualizados por sensores no edifício e assumem a

forma de ocupação, temperatura, humidade. Embora o espaço os sensores de temperatura e, em alguns casos, os sensores de luz são comuns num sistema de monitorização a adoção de sensores de ocupação tem ainda de ser amplamente utilizado. Uma característica única da metodologia de controlo integrado é a utilização de dados de ocupação e previsão de ocupação. Os dados de isolamento e volume do edifício são utilizados para modelar as características térmicas da sala para um ótimo controlo do arranque e paragem do AVAC. Em certas alturas do dia, o AVAC e a iluminação podem ser reduzidos em áreas pouco ocupadas do edifício para poupar energia.

#### **4.8.2. Iluminação**

Os níveis de iluminação poderiam ser controlados com precisão e as condições ambientais ajustadas com precisão para satisfazer os requisitos dos ocupantes da piscina. Este sistema seria capaz de reagir rapidamente às condições em mudança, fazer um uso ótimo da energia e controlar a procura máxima de eletricidade. Por exemplo, dado o requisito de reduzir a utilização de eletricidade sob um regime de pico de procura ou de faturação ao dia, a potencial sobreposição de um esquema de controlo de carga elétrica poderia conseguir a redução de carga necessária sem qualquer perturbação significativa dos serviços ou desconforto para os ocupantes. Desta forma, uma fração da carga de iluminação poderia ser reduzida através da redução seletiva dos níveis de iluminação no perímetro assumindo que a luz do dia é suficiente viável.

#### **4.8.3. Piscina**

Os horários de ocupação, programados ou monitorizados pelo sistema de controlo de acesso do edifício, modificariam automaticamente a estratégia de redução de carga das caldeiras, conforme apropriado, regulando a temperatura da água, satisfazendo os requisitos dos ocupantes da piscina.

### **4.9. Resumo do capítulo**

O método tradicional em CAD geralmente impossibilita análises energéticas nas fases iniciais de projeto, sendo estas, tipicamente realizadas depois dos projetos de arquitetura estarem concluídos, o que resulta numa ineficácia no processo de alteração, com consequências económicas e de otimização da sustentabilidade.

Com o desenvolvimento da interoperabilidade entre as ferramentas BIM e os principais programas de simulação e análise energética, será possível importar dados de projetos sem que existam duplicação de processo e trabalhos, minimizando a ocorrência de erro.

Para que se efetuem simulações nas fases iniciais dos projetos é necessário que o modelo contenha dados de informação relativa à forma e localização do edifício, materiais e definição dos sistemas mecânicos e elétricos. Este facto abre uma oportunidade para que a implementação do BIM possa incorporar medidas de otimização energética desde as fases iniciais de projeto, uma vez que o

modelo virtual é um repositório de toda a informação inerente ao edifício. Demonstrando o valor da tomada de decisões na fase inicial do projeto.

As ferramentas BIM possibilitam a otimização de um edifício mais sustentável, através de uma fácil análise dos elementos construtivos, desempenho energético, sustentabilidade, resultando na obtenção de projetos mais rigorosos e eficientes, bem como na redução de perdas de recursos naturais e menor impacto na obra.

Da mesma forma, estas possibilitam a otimização energética através de estudos do correto dimensionamento dos elementos de sombreamento; estudos de sombras e movimentação do sol; análises de predominância e interação de ventos com o edifício promovendo o arrefecimento passivo eficiente dos edifícios por ventilação natural; análises de níveis de luminosidade entre os quais o fator luz dia, promovendo economizar energia utilizada em iluminação artificial; análise e previsão das transferências de energia e de radiação solar relevantes para o comportamento térmico, e de consumo de energia de um edifício.

Nesse sentido, a utilização de metodologias e ferramentas BIM contribuirá para a sustentabilidade através de previsão de consumos de energia e seus respectivos custos de utilização com credibilidade, fiabilidade e consistência de resultados, podendo ainda beneficiar de estimativas rigorosas e completas na fase inicial de conceção, viabilizando tomadas de decisão antecipadas; melhorarias nas análises de custo do ciclo de vida de um edifício, possibilitando ainda a medição e verificação de resultados durante a ocupação do mesmo, o que proporciona uma oportunidade de aprender processos e soluções implementadas que se verifiquem validadas.

## 5. Conclusões

Devido às dificuldades encontradas ao longo do desenvolvimento da dissertação, tais como o aparecimento da pandemia impossibilitando a visita à piscina, falta de informação relativamente aos consumos energéticos de cada equipamento, número de utentes e planos de manutenção, foi necessário realizar aproximações, recorrendo a quatro piscinas modelo, baseando a análise apenas na zona da piscina.

Desenvolveu-se um estudo de consumos energéticos elétricos e térmicos com vista na redução dos mesmos, através do dimensionamento de equipamentos responsáveis pelos principais consumos.

Relativamente a melhorias na instalação através da implementação de ferramentas da I4.0, tais como a implementação de um sistema GTC bem como uma aplicação de uma ferramenta da manutenção, permitiria um melhor controlo da climatização estando esta totalmente automatizada e com possibilidade de acesso remoto caso surgisse algum imprevisto na instalação. Também, seria possível verificar quais os equipamentos que necessitam de uma manutenção preventiva em cada mês ou uma manutenção corretiva em caso de não conformidades, bem como o armazenamento de um histórico de todas as intervenções que surjam em cada equipamento, reduzindo custos desnecessários devido a imprevistos.

Após a implementação dos equipamentos dimensionados, pode-se observar uma redução de 35 898,08 kWh de energia elétrica e uma redução de 152 180,36 kWh de energia térmica, que se traduz numa redução de 15,18% na fatura global da fatura energética.

Em suma, a implementação destas melhorias iria permitir uma melhor monitorização, gestão do edifício através da automatização dos procedimentos e uma redução dos consumos energéticos através dos equipamentos dimensionados.

A poupança de energia pode ser alcançada através da incorporação de um sistema de previsão de ocupação auto-ajustável no controlador de zona e utilizando regras para controlar o ambiente dentro do edifício para o máximo conforto dos ocupantes no mínimo custo.

Como trabalho futuro, seria interessante utilizar indicadores de eficiência energética na análise da eficiência dos sistemas, realizar uma análise económica mais detalhada, onde fossem custos evitados e de manutenção de sistemas.

## Referências bibliográficas

- [1] S. G. García and M. G. García, “Industry 4.0 implications in production and maintenance management: An overview,” *Procedia Manuf*, vol. 41, pp. 415–422, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.09.027.
- [2] C. Bai, P. Dallasega, G. Orzes, and J. Sarkis, “Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective,” *Int J Prod Econ*, vol. 229, p. 107776, 2020, doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107776.
- [3] J. M. Müller, D. Kiel, and K. I. Voigt, “What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 10, no. 1, 2018, doi: 10.3390/su10010247.
- [4] Z. Chen and M. Xing, “Upgrading of textile manufacturing based on Industry 4.0,” no. Icadme, pp. 2143–2146, 2015, doi: 10.2991/icadme-15.2015.400.
- [5] Jhonata, “Indústria 4.0 – Tudo que você precisa saber sobre a Quarta Revolução Industrial.,” *Engeteles*, 2021. <https://engeteles.com.br/industria-4-0/>
- [6] A. B. Correia, P. Deus, and J. R. Baptista, “Indústria 4.0: Construir a empresa digital,” *PricewaterhouseCoopers Portugal*, vol. 1, pp. 1–30, 2016.
- [7] M. A. S. Hippert, O. C. Longo, and A. C. Moreira, “RFID na edificação: proposta de modelo de sistema para organização das informações de manutenção,” *Ambiente Construído*, vol. 19, no. 4, pp. 155–173, 2019, doi: 10.1590/s1678-86212019000400348.
- [8] T. D. Oesterreich and F. Teuteberg, “Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry,” *Comput Ind*, vol. 83, pp. 121–139, 2016, doi: 10.1016/j.compind.2016.09.006.
- [9] J. Cutler and M. Dickenson, *Introduction to Machine Learning with Python*. 2020. doi: 10.1007/978-3-030-36826-5\_10.
- [10] D. Bowden *et al.*, “A cloud-to-edge architecture for predictive analytics,” *CEUR Workshop Proc*, vol. 2322, 2019.
- [11] S. Wang and J. Xie, “Integrating Building Management System and facilities management on the Internet,” *Autom Constr*, vol. 11, no. 6, pp. 707–715, 2002, doi: 10.1016/S0926-5805(02)00011-0.
- [12] Sauter, “Sauter,” 2022. <https://www.sauteriberica.com/pt-pt/>

- [13] K. S. McGrew and R. W. Woodcock, “Technical Manual,” *Woodcock-Johnson ® III Tests of Achievement*, 2001.
- [14] J. C. Lino, M. Azenha, and P. Lourenço, “Integração da metodologia BIM na engenharia de estruturas,” *Encontro Nacional Betão Estrutural -BE2012*, pp. 1–10, 2012.
- [15] Autodesk, “WHAT ARE THE BENEFITS OF BIM,” 2020. <https://www.autodesk.com/solutions/bim/benefits-of-bim>
- [16] S. H. Yoon, N. H. Park, and J. W. Choi, “A BIM-based design method for energy-efficient building,” *NCM 2009 - 5th International Joint Conference on INC, IMS, and IDC*, pp. 376–381, 2009, doi: 10.1109/NCM.2009.406.
- [17] “Ciclo de Vida BIM,” *GM arquitetura engenharia*, 2018. <https://www.gmarquiteturahengenharia.com/single-post/2018/03/10/BIM-E-AS-POLITICAS-PÚBLICAS-DO-BRASIL>
- [18] L. Chen and H. Luo, “A BIM-based construction quality management model and its applications,” *Autom Constr*, vol. 46, pp. 64–73, 2014, doi: 10.1016/j.autcon.2014.05.009.
- [19] A. GhaffarianHoseini *et al.*, “Application of nD BIM Integrated Knowledge-based Building Management System (BIM-IKBMS) for inspecting post-construction energy efficiency,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 72, no. February, pp. 935–949, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.12.061.
- [20] J. K. W. Wong and J. Zhou, “Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review,” *Autom Constr*, vol. 57, pp. 156–165, 2015, doi: 10.1016/j.autcon.2015.06.003.
- [21] S. Eleftheriadis, D. Mumovic, and P. Greening, “Life cycle energy efficiency in building structures: A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, pp. 811–825, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.09.028.
- [22] T. Håkkinen and A. Kiviniemi, “Sustainable Building and BIM,” *World Conference SB08*, pp. 679–686, 2008.
- [23] H. C. J. Linderoth, “Understanding adoption and use of BIM as the creation of actor networks,” *Autom Constr*, vol. 19, no. 1, pp. 66–72, 2010, doi: 10.1016/j.autcon.2009.09.003.
- [24] L. Na and T. Korman, “implementation of BIM in modular construction,” *Construction Research Congress*, pp. 1136–1145, 2010.

- [25] X. Gao and P. Pishdad-Bozorgi, “BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review,” *Advanced Engineering Informatics*, vol. 39, no. August 2018, pp. 227–247, 2019, doi: 10.1016/j.aei.2019.01.005.
- [26] L. C. Wang, “Enhancing construction quality inspection and management using RFID technology,” *Autom Constr*, vol. 17, no. 4, pp. 467–479, 2008, doi: 10.1016/j.autcon.2007.08.005.
- [27] A. P. Melo and R. Lamberts, “EDIFÍCIOS NATURALMENTE VENTILADOS Elaborado por :,” 2013.
- [28] U. S. D. of E. (DOE), “Energyplus,” 2022. <https://energyplus.net/>
- [29] P. G. Ellis and P. a. Torcellini, “Energy Design Plugin : An EnergyPlus Plugin for SketchUp,” *Conference Paper NREL/CP-550-43569*, p. 11, 2008.
- [30] L. A. Andrade Ferreira, *Uma introdução à manutenção*. Porto: Edições Técnicas, 1998.
- [31] “ISO 15686-8:2008(en),” *ISO*, 2011. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15686:-1:ed-2:v1:en>
- [32] D. M. B. Silva, “Implementação da metodologia BIM-FM a uma unidade desportiva - Complexo de piscinas de Campanhã,” p. 124, 2016, doi: 10.5281/zenodo.166758.
- [33] D. E. Polit, C. D. O. Norte, and C. D. O. Porto, “Detecção e Previsão de Falhas em Equipamentos de Produção Industrial Daniel Filipe Ferreira da Silva,” 2013.
- [34] M. M. Villanueva, “A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação,” 2015.
- [35] V. C. e Silva and I. Soares, “A Revisão dos Projectos como Forma de Reduzir os Custos da Construção e os Encargos da Manutenção de Edifícios,” pp. 1347–1354, 2003.
- [36] W. da C. Lima, C. R. C. Lima, and A. A. Salles, “Manutenção Preditiva , o Caminho para a Excelência – Uma Vantagem Competitiva,” *Simpep*, pp. 1–8, 2006.
- [37] M. Otani and W. V. Machado, “a Proposta De Desenvolvimento De Gestão Da Manutenção Industrial Na Busca Da Excelência Ou Classe Mundial,” *Revista Gestão Industrial*, vol. 4, no. 2, pp. 1–16, 2008, doi: 10.3895/s1808-04482008000200001.
- [38] K. Matyas, T. Nemeth, K. Kovacs, and R. Glawar, “A procedural approach for realizing prescriptive maintenance planning in manufacturing industries,” *CIRP Ann Manuf Technol*, vol. 66, no. 1, pp. 461–464, 2017, doi: 10.1016/j.cirp.2017.04.007.
- [39] Sigga, “Manutenção prescritiva: entenda o que é e use o potencial na indústria,” 2018. <https://sigga.com.br/blog/manutencao-prescritiva/>

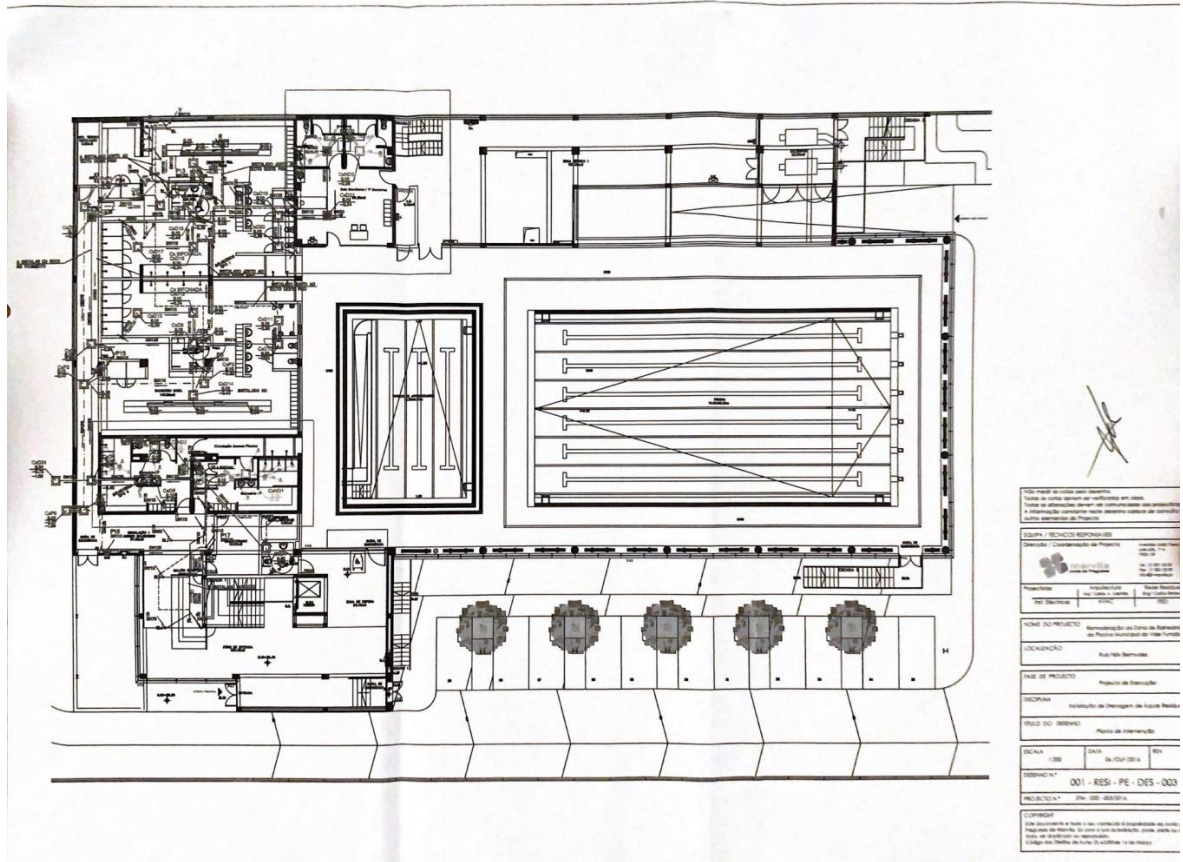
- [40] E. R. Onainor, “Maintenance Méthodes et organisations,” vol. 1, pp. 105–112, 2019.
- [41] F. Monchy, *La Fonction Maintenance*. Paris. ISBN, 1987.
- [42] Nextbitt, “Nextbitt,” 2015. <https://www.nextbitt.com/pt>
- [43] J. Azevedo, “Apontamentos de Permutadores de Calor,” *Equipamentos Térmicos*, pp. 30–53, 2005.
- [44] D. de F. e S. T. da Vulcano, “Solar Térmico: sistemas e sua constituição,” 2020. <https://www.oinstalador.com/Artigos/265418-Solar-Termico-sistemas-e-sua-constituicao.html>
- [45] PER, “Tecnologias: Colectores Solares Térmicos,” 2019. [http://www.energiasrenovaveis.com/DetailConceitos.asp?ID\\_conteudo=41&ID\\_area=8&ID\\_sub\\_area=26](http://www.energiasrenovaveis.com/DetailConceitos.asp?ID_conteudo=41&ID_area=8&ID_sub_area=26)
- [46] J. Nham, “Geradores de Vapor Classificação dos Geradores de Vapor,” 2013. [https://nhambiu.uem.mz/wp-content/uploads/2013/02/GV\\_Aula-3.pdf](https://nhambiu.uem.mz/wp-content/uploads/2013/02/GV_Aula-3.pdf)
- [47] V. Monteiro, “Ventilação na Restauração e Hotelaria,” *ETEP - Edições Técnicas e Profissionais*, 2016.
- [48] Impressum, “Piscina Municipal Vale Fundão.” <https://mapio.net/impressum/> (accessed Jan. 13, 2021).
- [49] Eng. C. S. Arq. Carlos A. Ganhão, “Planta de Intervenção.” 2016.
- [50] Emanuel da Silva Lopes Fernandes, “Eficiência energética em complexos de piscinas interiores: caso da Piscina Municipal Luís Lopes da Conceição,” 2016.
- [51] B. M. A. Guimarães, “Piscinas: consumos energéticos associados e a aplicação de energias renováveis,” p. 185, 2010.
- [52] J. M. Arnold, “Energy consumption and environmental impacts associated with,” no. May, 2013.
- [53] Emanuel da Silva Lopes Fernandes, “Eficiência energética em complexos de piscinas interiores: Complexo de Piscinas Rui Abreu,” 2016.
- [54] R. F. Almeida, “Análise de Indicadores de desempenho energético para edifícios de serviços,” 2015.
- [55] A. S. Bergman, T. L., Incropera, F. P., DeWitt, D. P., & Lavine, *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons. 2011.

- [56] H. X. Zhao and F. Magoulès, “A review on the prediction of building energy consumption,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 6, pp. 3586–3592, 2012, doi: 10.1016/j.rser.2012.02.049.

## **ANEXOS**

<u>ANEXO A – PLANTA DA PMVF</u> .....	82
<u>ANEXO B – CONSUMOS ELÉCTRICOS NO PERIODO DE 2019 A 2020</u> .....	83
<u>ANEXO C – CONSUMOS TÉRMICOS NO PERIODO DE 2019 A 2020</u> .....	84
<u>ANEXO D – CONSUMOS DE ÁGUA NO PERIODO DE 2019 A 2020</u> .....	85
<u>ANEXO E – TRANSFERÊNCIAS DE CALOR</u> .....	86
<u>ANEXO F – DIMENSIONAMENTO DA UTA</u> .....	89

# ANEXO A – PLANTA DA PMVF



Este projeto de obra não constitui garantia de qualidade nem de resultados. Todos os serviços devem ser executados de acordo com as especificações técnicas e as normas vigentes. A responsabilidade cabe ao executor da obra.

<b>EMPRESA / PROJETO RESPONSÁVEL</b> Engenharia Civil - Arquitetura e Urbanismo Rua ... nº ... ...	
Responsável Técnico: Eng. ...	Responsável Legal: Eng. ...
<b>TÍTULO DO PROJETO</b> Associação dos Cães de Rua do Município de Ponta Grossa - 1ª Fase	
<b>LOCALIZAÇÃO</b> Rua ...	
<b>TIPO DE PROJETO</b> Projeto de Execução	
<b>DESCRIÇÃO</b> Instalação de Demarcação de Vagas para Cães de Rua	
<b>TIPO DE PROJETO</b> Projeto de Execução	
<b>ESCALA</b> 1:50	DATA 24/04/2014
<b>DESENHISTA</b> 001 - RESI - PE - DES - 003	
<b>PROJETO</b> PE - 001 - RESI - PE - DES - 003	

**COMENTÁRIOS**  
 Este documento e todo o seu conteúdo é propriedade do autor. Qualquer reprodução, total ou parcial, sem autorização expressa, é proibida. Este projeto não constitui garantia de qualidade nem de resultados.

**ANEXO B – CONSUMOS ELÉCTRICOS NO PERÍODO DE 2019 A 2020**

Mês	Ano 2019		Ano 2020	
	Consumo (kWh)	Custo (€)	Consumo (kWh)	Custo (€)
Janeiro	36 419,00	4 590,69 €	36 828,00	4 856,64 €
Fevereiro	36 326,00	4 666,29 €	37 044,00	4 793,03 €
Março	32 382,00	4 108,56 €	28 116,00	3 600,83 €
Abril	37 455,00	4 619,32 €	19 839,00	2 487,45 €
Mai	35 272,00	4 421,84 €	19 293,30	2 432,16 €
Junho	34 691,00	4 256,74 €	17 719,00	2 214,18 €
Julho	31 819,00	3 963,32 €	19 669,00	2 467,46 €
Agosto	4 679,00	932,03 €	24 303,00	3 071,82 €
Setembro	27 012,00	3 416,06 €	30 610,00	3 793,50 €
Outubro	31 791,00	3 954,89 €	34 710,00	4 329,37 €
Novembro	34 864,00	4 462,70 €	26 522,18	3 308,11 €
Dezembro	32 003,00	4 068,48 €	26 213,15	3 269,56 €
<b>Total</b>	<b>374 713,00</b>	<b>47 460,92 €</b>	<b>320 866,63</b>	<b>40 624,10 €</b>

## ANEXO C – CONSUMOS TÉRMICOS NO PERÍODO DE 2019 A 2020

Mês	Ano 2019		
	Consumo (m <sup>3</sup> )	Consumo (kWh)	Custo (€)
Janeiro	12 080,00	127 182,40	7 797,44 €
Fevereiro	8 995,00	94 702,46	6 012,54 €
Março	8 729,00	91 901,92	5 722,60 €
Abril	8 398,00	88 417,04	5 566,41 €
Maio	6 415,00	67 539,33	4 368,84 €
Junho	5 615,00	59 116,65	3 881,30 €
Julho	4 627,00	48 714,65	3 273,37 €
Agosto	361,00	3 800,73	665,17 €
Setembro	4 524,00	47 630,23	3 206,45 €
Outubro	6 308,00	66 412,80	4 050,01 €
Novembro	8 456,00	89 027,68	5 262,87 €
Dezembro	11 700,00	123 181,63	7 141,48 €
<b>Total</b>	<b>86 208,00</b>	<b>907 627,52</b>	<b>56 948,48 €</b>
<b>Média mensal</b>	<b>7 184,00</b>	<b>75 635,63</b>	<b>4 745,71 €</b>

Mês	Ano 2020		
	Consumo (m <sup>3</sup> )	Consumo (kWh)	Custo (€)
Janeiro	11 340,00	119 391,43	7 341,07 €
Fevereiro	8 622,00	90 775,39	5 702,50 €
Março	3 403,00	35 827,96	2 502,03 €
Abril	856,00	9 012,26	946,67 €
Maio	1 014,00	10 675,74	1 051,59 €
Junho	853,00	8 980,68	945,91 €
Julho	1 281,00	13 486,81	1 222,55 €
Agosto	1 806,00	19 014,19	1 366,32 €
Setembro	1 738,00	18 298,26	1 405,83 €
Outubro	1 241,32	13 069,06	1 004,08 €
Novembro	835,26	8 793,96	675,63 €
Dezembro	429,21	4 518,86	347,18 €
<b>Total</b>	<b>33 418,79</b>	<b>351 844,58</b>	<b>24 511,35 €</b>
<b>Média mensal</b>	<b>2 784,90</b>	<b>29 320,38</b>	<b>2 042,61 €</b>

**ANEXO D – CONSUMOS DE ÁGUA NO PERÍODO DE 2019 A 2020**

Mês	Ano 2019		Ano 2020	
	Consumo (m³)	Custo (€)	Consumo (m³)	Preço Mês
Janeiro	1 219,10	2 243,38 €	1 336,00	2 461,17 €
Fevereiro	1 174,40	2 133,38 €	1 149,00	2 152,68 €
Março	1 277,00	2 329,75 €	455,80	1 153,91 €
Abril	1 108,00	2 067,99 €	62,60	551,78 €
Maio	1 233,50	2 266,23 €	107,10	633,45 €
Junho	973,80	1 871,98 €	36,60	512,97 €
Julho	1 148,30	2 141,79 €	80,70	594,04 €
Agosto	723,70	1 521,67 €	37,60	529,70 €
Setembro	1 048,70	1 981,37 €	0,00	458,34 €
Outubro	1 275,70	2 327,86 €	140,98	684,00 €
Novembro	1 185,50	2 181,16 €	771,13	1 609,31 €
Dezembro	1 107,40	2 083,31 €	751,13	1 580,00 €
<b>Total</b>	<b>13 475,10</b>	<b>25 149,87 €</b>	<b>4 928,64</b>	<b>12 921,35 €</b>

## ANEXO E – TRANSFERÊNCIAS DE CALOR

De forma a compreender o comportamento térmico de um edifício é fundamental entender de que modo se processam os mecanismos de transferência de calor. Sendo assim, nos seguintes subcapítulos serão apresentados alguns conceitos básicos da transferência de calor. Um dos princípios básicos da termodinâmica reflete o fenómeno da transferência de calor ocorrer sempre que existe uma diferença de temperatura entre dois corpos e a energia cedida pelo corpo mais quente é igual a energia recebida pelo corpo mais frio. Este fenómeno pode ocorrer através de três mecanismos distintos (Figura 50):

- Condução
- Convecção
- Radiação

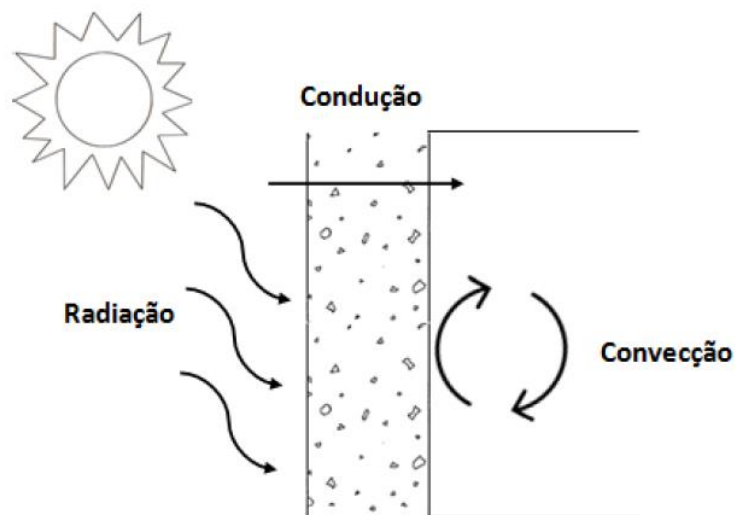


Figura 50 - Mecanismos de transferência de calor [54]

### Condução

A condução térmica dá-se pela transferência de energia através do contacto directo entre partículas e materiais com temperaturas diferentes, sem que ocorra transporte de massa. Este mecanismo tem um comportamento que difere consoante o estado físico das partículas em contacto. Nos gases a condução térmica ocorre através dos movimentos de translação, rotação, vibração e pela colisão entre as moléculas que constituem o gás. O mesmo se observa nos líquidos, contudo, as moléculas encontram-se mais próximas do que nos gases, o que faz com que a transferência de calor seja mais eficaz. Os sólidos podem ser divididos em duas categorias: não condutores eléctricos e

condutores elétricos. Os sólidos não condutores elétricos transferem calor por vibração da rede cristalina. O mesmo acontece nos condutores elétricos, podendo ainda haver transferência de calor por condução devido movimento de translação dos elétrons livres [55].

O fluxo de calor transmitido por condução térmica é dado pela Lei de Fourier (Equação 3.1):

$$q_{cond} = -(k \cdot A) \frac{dt}{dx} \quad (3.1)$$

Onde,  $q_{cond}$ , o fluxo de calor por condução (W),  $k$ , condutividade térmica do material (W/m.K),  $A$ , área normal ao fluxo (m<sup>2</sup>),  $\frac{dt}{dx}$ , gradiente de temperatura na direção  $x$  (K/m).

Sendo que o sinal negativo da equação representa o sentido do fluxo de calor, que é considerado positivo quando realizado no sentido da temperatura mais baixa. A equação acima aplica-se ao caso unidimensional, quando há gradiente de temperatura apenas na direção  $x$ .

### **Convecção**

O mecanismo de transferência de calor por convecção ocorre quando existe uma diferença de temperatura entre um fluido (líquido ou gasoso) e por condução molecular [56]. Ao contrário do que acontece na condução, na convecção existe efetivamente transporte de massa. A equação da transferência de calor por convecção é dada pela Lei do arrefecimento de Newton:

$$q_{conv} = A \cdot hc \cdot dt \quad (3.2)$$

Onde,  $q_{conv}$ , fluxo de calor por convecção (W),  $hc$ , coeficiente de transferência de calor convectivo (W/m<sup>2</sup>. K),  $A$ , área normal ao fluxo (m<sup>2</sup>),  $dt$ , diferença de temperatura (K).

### **Radiação**

A transferência de calor por radiação acontece quando um corpo a determinada temperatura (superior a 0 K) emite fótons para um meio ou uma superfície a uma temperatura diferente. Neste caso não é necessário um meio material para propagação e a transferência de calor dá-se devido à

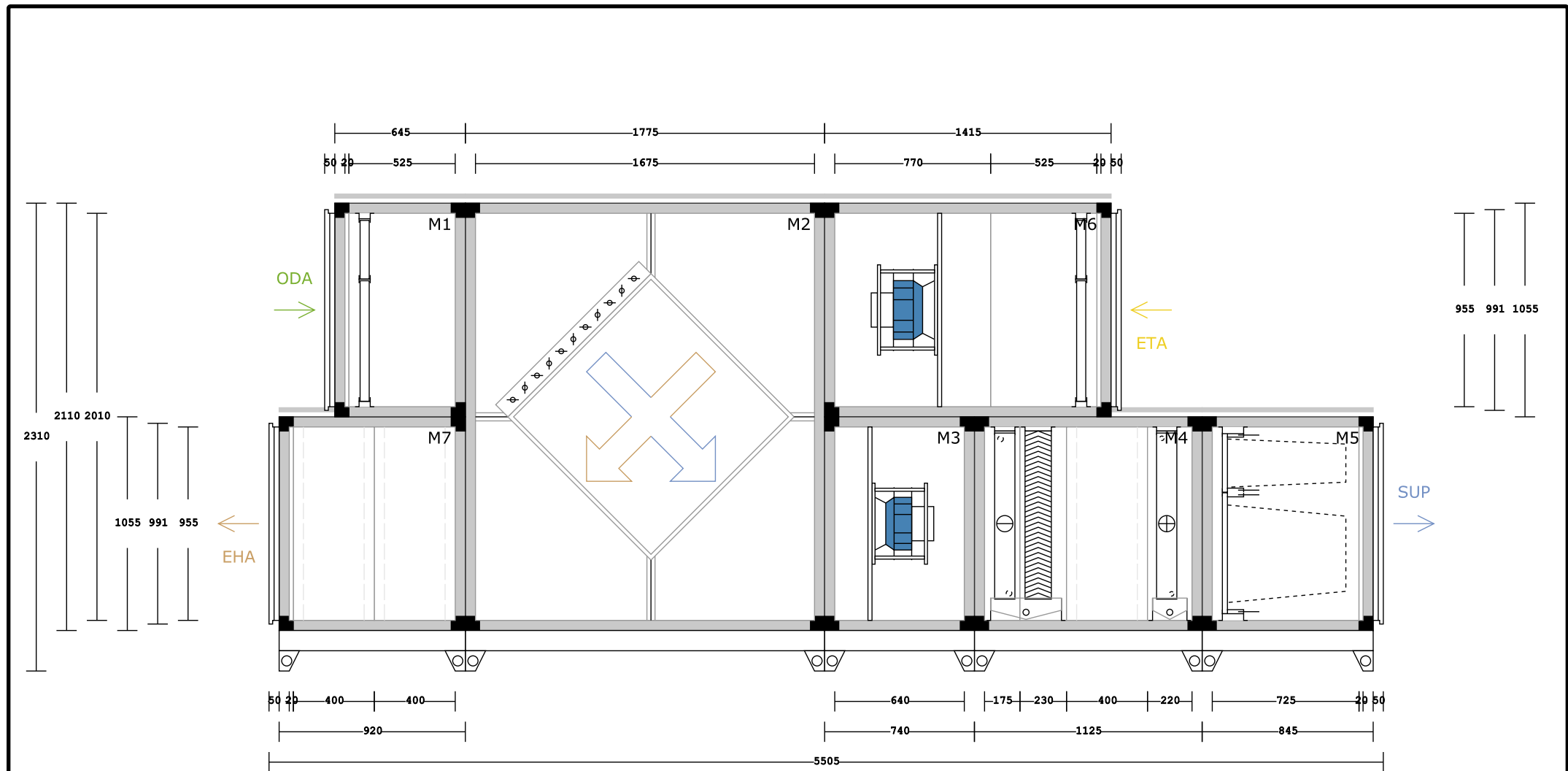
vibração das moléculas superficiais provocando a emissão de energia radiante através do espaço. [55]. Essa energia será absorvida ou refletida assim que atingir uma superfície.

A energia radiante que um corpo emite é dada pela Lei de Stefan-Boltzmann:


$$q_{rad} = A1. \sigma. \varepsilon. T^4 \quad (3.3)$$

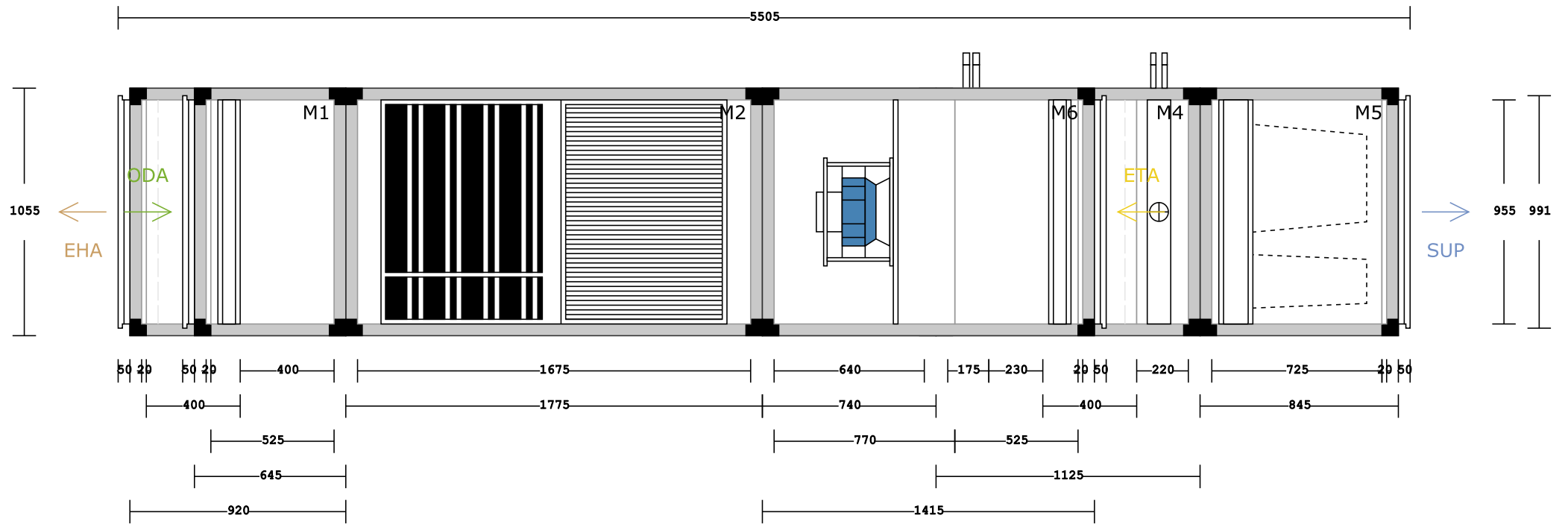
Onde,  $q_{rad}$ , fluxo de calor por radiação (W),  $A1$ , área da superfície emissora ( $m^2$ ),  $\sigma=(5,67 \times 10^{-8})$ , constante de Stefan-Boltzmann ( $W. m^2. K^{-4}$ ),  $\varepsilon$ , emissividade da superfície emissora,  $T$ , temperatura absoluta da superfície emissora (K).

## **ANEXO F – DIMENSIONAMENTO DA UTA**





**NOTA: As medidas apresentadas são indicativas, pelo que as medidas finais poderão diferir das apresentadas.**

Dimensões da Unidade (L x A x C)		Peso da Unidade			TÍTULO:	
		(baterias vazias)	(com baterias cheias de líquido)		Vista Lateral	
<b>Global</b>	1055 x 2355 x 5505 mm	939,0 kg (± 5%)	951,2 kg (± 5%)	Unidade de Tratamento de Ar <b>UTA Átrio Piscina</b>	ESCALA:	S/E
		Alumínio 50 mm Rotura Térmica (H)			Aluzinc / Chapa Galvanizada	
				OBRA/LOCALIZAÇÃO:	PMVF / Lisboa	



**NOTA:** As medidas apresentadas são indicativas, pelo que as medidas finais poderão diferir das apresentadas.

Dimensões da Unidade (L x A x C)		Peso da Unidade			Vista de Planta	
		(baterias vazias)	(com baterias cheias de líquido)		TÍTULO:	ESCALA:
<b>Global</b>	1055 x 2355 x 5505 mm	939,0 kg (± 5%)	951,2 kg (± 5%)		Unidade de Tratamento de Ar	S/E
		Alumínio 50 mm Rotura Térmica (H)			Aluzinc / Chapa Galvanizada	UTA Átrio Piscina
				OBRA/LOCALIZAÇÃO:	PMVF / Lisboa	
						Nº OBRA:



**Projecto:** PMVF  
**Local de Instalação:** Lisboa  
**Nº de Obra:**



**sandometal**<sup>®</sup>  
 Metalomecânica e Ar Condicionado, SA

**Modelo:** eSDM 955/955 (eSDM 2/2)

**Pos:** UTA Átrio Piscina

## Dados EUROVENT

**Projectada para condições húmidas**

<b>Temperatura Exterior para Inverno (Proj.)</b>	4,40 °C
<b>Condições de Inverno</b>	Subgrupo 1
<b>Velocidade na secção da UTA</b>	0,55 m/s
<b>Classe de Veloc. de Ar (EN 13053:2006)</b>	Class V1
<b>Pot. fornecida ao Vent. de Insuflação</b>	1 x 0,647 kW
<b>Pot. fornecida ao Vent. de Extracção</b>	1 x 0,468 kW
<b>Eficiência de Recuperação</b>	85,3 %

(caudais iguais - EUROVENT AHU TECHNICAL CERTIFICATION RULES)



## Dimensões dos módulos

	<b>Dimensões (L x A x C)</b>	<b>Peso</b>
<b>Módulo 1</b>	1055 x 1055 x 645 mm	70,8 kg
<b>Módulo 2</b>	1055 x 2110 x 1775 mm	246,5 kg
<b>Módulo 3</b>	1055 x 1055 x 740 mm	94,3 kg
<b>Módulo 4</b>	1055 x 1055 x 1125 mm	180,4 kg
<b>Módulo 5</b>	1055 x 1055 x 845 mm	106,3 kg
<b>Módulo 6</b>	1055 x 1055 x 1415 mm	155,5 kg
<b>Módulo 7</b>	1055 x 1055 x 920 mm	85,0 kg

## Níveis de ruído

<b>Nível de potência do som</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1k</b>	<b>2k</b>	<b>4k</b>	<b>8k</b>	<b>Hz</b>	<b>Total</b>
<b>Insuflação</b>	72	70	74	62	63	59	50	37	<b>dB</b>	69 <b>dB(A)</b>
<b>Admissão</b>	71	65	69	61	55	55	48	43	<b>dB</b>	64 <b>dB(A)</b>
<b>Ruído na Envoltente Insuflação</b>	74	60	62	46	46	41	34	24	<b>dB</b>	55 <b>dB(A)</b>
<b>Ar de exaustão</b>	61	60	63	60	60	55	49	44	<b>dB</b>	64 <b>dB(A)</b>
<b>Ar de extração</b>	58	62	64	63	58	57	53	49	<b>dB</b>	65 <b>dB(A)</b>
<b>Ruído na Envoltente Extracção</b>	63	51	51	41	40	31	26	16	<b>dB</b>	46 <b>dB(A)</b>
<b>Ruído na Envoltente</b>	75	60	62	47	47	41	34	25	<b>dB</b>	56 <b>dB(A)</b>



**Projecto:** PMVF  
**Local de Instalação:** Lisboa  
**Nº de Obra:**



**sandometal**<sup>®</sup>  
 Metalomecânica e Ar Condicionado, SA

**Modelo:** eSDM 955/955 (eSDM 2/2)  
**Pos:** UTA Átrio Piscina

## Dados Gerais

<b>Protecção Contra Intempéries</b>		Cobertura Aluzinc
<b>Lado de inspecção</b>		Direito
<b>Lado de ligações</b>		Esquerdo
<b>Espessura do Isolamento</b>		50 mm
<b>Perfil</b>	Alumínio 50 mm Rotura Térmica (H)	
<b>Isolamento</b>		Lã de Rocha
<b>Ligações de Módulos</b>		Interior
<b>Material Exterior</b>		Aluzinc
<b>Material Interior</b>		Chapa Galvanizada
<b>Estanquidade com -400 Pa</b>		L1 (M)
<b>Estanquidade com +400 Pa</b>		L1 (M)
	<b>Insuflação</b>	<b>Extração</b>
<b>Caudal (1,204 kg/m<sup>3</sup>)</b>	1800 m <sup>3</sup> /h	2480 m <sup>3</sup> /h
<b>Velocidade Frontal (unidade)</b>	0,55 m/s	0,76 m/s
<b>Pressão Estática Externa</b>	472 Pa	205 Pa
<b>Filtro</b>	M5, F7	M5
<b>Ventilador</b>	55,8 %	63,2 %
	706 Pa	409 Pa
	2320 RPM	1667 RPM
<b>Motor</b>	1x2,5 kW	1x2,5 kW
	3~ 380/480 V	3~ 380/480 V
	1x3,20 A	1x3,20 A
	<b>SFP<sub>v</sub>, (Condição Limpa - EN 13779:2007)</b>	1472 W/(m <sup>3</sup> /s)
	<b>SFP<sub>E</sub>, (Condição do Projecto - EN 13779:2007)</b>	1619 W/(m <sup>3</sup> /s)
<b>Recuperação de Calor</b>	96,7 %	
<b>Arrefecimento</b>	7,1 kW - Ar 24,39/18,75 °C - Água 7,00/12,60 °C - 29,830 kPa - 1087,690 l/h	
<b>Ligações Tubulares</b>	3/4" / 3/4"	
<b>Aquecimento</b>	9,7 kW - Ar 21,42/37,27 °C - Água 80,00/60,00 °C - 10,800 kPa - 428,686 l/h	
<b>Ligações Tubulares</b>	1/2" / 1/2"	



**Projecto:** PMVF  
**Local de Instalação:** Lisboa  
**Nº de Obra:**



**sandometal**<sup>®</sup>  
 Metalomecânica e Ar Condicionado, SA

**Modelo:** eSDM 955/955 (eSDM 2/2)

**Pos:** UTA Átrio Piscina

## Ecodesign

(Directiva 2009/125/CE - Regulamento UE 1253/2014)

<b>Tipologia</b>	<b>NRVU - BVU</b>	
<b>Tipo de sistema de recuperação de calor (SRC)</b>	Placas	
<b>Eficiência térmica do SRC (condições secas)</b>	85 %	
<b>SFP<sub>INT</sub></b>	384 W/(m <sup>3</sup> /s)	
<b>E - Bonus de eficiência no SRC</b>	369 W/(m <sup>3</sup> /s)	
<b>F - Correção relativa à configuração de referência</b>	0 W/(m <sup>3</sup> /s)	
<b>SFP<sub>max'</sub> (2ª Fase 2018)</b>	1394 W/(m <sup>3</sup> /s)	
<b>Taxa de fuga interna (250 Pa)</b>	3 %	
<b>Taxa de fuga externa (-400 Pa/+700 Pa)</b>	<1 %	
	<b>Insuflação</b>	<b>Extração</b>
<b>Controlo de velocidade</b>	Motor EC	Motor EC
<b>Caudal Nominal</b>	0,50	0,69 m <sup>3</sup> /s
<b>Pressão nominal externa</b> (A <sub>ps,ext</sub> )	472	205 Pa
<b>Pressão interna de componentes de ventilação</b> (A <sub>ps,int</sub> )	101	119 Pa
<b>Eficiência estática do sistema de ventilação</b> (condições secas e limpas)	55.16	59.58 %
<b>Classe de Efic. Energética Filtros</b> (de acordo com EUROVENT 4/11)	D	N/A

Endereço web com instruções para desmantelamento: <http://www.sandometal.pt/ecodesign/disassembly.pdf>



**Projecto:** PMVF  
**Local de Instalação:** Lisboa  
**Nº de Obra:**



**sandometal**<sup>®</sup>  
Metalomecânica e Ar Condicionado, SA

**Modelo:** eSDM 955/955 (eSDM 2/2)

**Pos:** UTA Átrio Piscina

## Secções Linha de Insuflação

### 1 Admissão

<b>Perda de Carga</b>	0	Pa
<b>Comprimento</b>	20	mm

#### Interfaces de Ar

##### Canhão

<b>Classe de Estanquidade (EN 1751)</b>	N/A	
<b>Perda de Carga</b>	0	Pa
<b>Comprimento</b>	50	mm

### 2 Filtro

<b>Perda de Carga (dimensionamento)</b>	49	Pa
<b>Perda de carga inicial/final</b>	24 / 73.0	Pa
<b>Velocidade, área frontal</b>	0,74	m/s
<b>Classe do filtro (ISO 16890)</b>	ePM10 70%	
<b>Classe do filtro (EN 779:2012)</b>	M5	
<b>Tipo do Filtro</b>	Plissado	
<b>Dimensão do filtro</b>	1 x [595 x 595] + 2 x [290 x 595]	mm
<b>Espessura do Filtros</b>	45	mm
<b>Classe de Efic. Energética Filtros</b> (de acordo com EUROVENT 4/11)	N/A	

#### Acessórios

Pressostato diferencial



**Projecto:** PMVF  
**Local de Instalação:** Lisboa  
**Nº de Obra:**



**sandometal**<sup>®</sup>  
 Metalomecânica e Ar Condicionado, SA

**Modelo:** eSDM 955/955 (eSDM 2/2)

**Pos:** UTA Átrio Piscina

### 3 Recuperador de Calor

**Código de Produto** H2A1000-0815-020-2E00-2-0-2-0955

**Com By-pass e Registo Incorporado**

		<b>Insuflação</b>	<b>Extracção</b>	
<b>INVERNO</b>	<b>Perda de Carga</b>	85,7	123,3	Pa
	<b>Temperatura do ar</b>	4,40/21,42	22,00/11,32	°C
	<b>Humidade relativa do ar</b>	90,0/29,6	55,0/100,0	%
	<b>Potência</b>		10,246	kW
	<b>Eficiência da Temperatura</b>	96,7	60,7	%
	<b>Condensados</b>	1,986		l/h
<b>VERÃO</b>	<b>Perda de Carga</b>	93,5	130,6	Pa
	<b>Temperatura do ar</b>	31,50/24,39	24,00/29,16	°C
	<b>Humidade relativa do ar</b>	50,0/75,5	55,0/40,6	%
	<b>Potência</b>		4,322	kW
	<b>Eficiência da Temperatura</b>	94,7	68,8	%
	<b>Condensados</b>	0,000		l/h
	<b>Tipo de recuperador de calor</b>		Alumínio	
	<b>Tabuleiro de Condensados</b>		Inox 304	
	<b>Ap22-11</b>		-378,7	Pa



**Projecto:** PMVF  
**Local de Instalação:** Lisboa  
**Nº de Obra:**



**sandometal**<sup>®</sup>  
 Metalomecânica e Ar Condicionado, SA

**Modelo:** eSDM 955/955 (eSDM 2/2)  
**Pos:** UTA Átrio Piscina

#### 4 Ventilador

Os efeitos de sistema do ventilador são tomados em conta na performance do ventilador.

<b>Acoplamento Directo</b>		
<b>Modelo de Ventilador</b>	GR31C-ZID.DC.CR	
<b>Quantidade de Ventiladores</b>	1	
<b>k-factor</b> <sub>(T=20°C, ρ=1.204 kg/m³)</sub>	95.0	
<b>Caudal Nominal</b>	1800	m³/h
<b>Pressão Dinâmica</b>	16	Pa
<b>Pressão Estática Total</b>	706	Pa
<b>Pressão Estática Interna</b>	234	Pa
<b>Pressão Estática Externa</b>	472	Pa
<b>Pressão Total</b>	722	Pa
<b>Velocidade do Ventilador</b>	2320	RPM
<b>Eficiência total ventilador</b> (incl. motor e conversor)	56	%
<b>Ventilador Classe ErP</b> (Directiva 2009/125/CE, Regulamento UE 327/2011)	2015	
<b>SFP</b>	1295	W/(m³/s)
<b>Velocidade Máxima do Ventilador</b>	3640	RPM
<b>Frequência de Operação</b>	50	Hz
<b>Frequência Máxima de Operação</b>	50	Hz
<b>Acessórios</b>	Junta Flexível	

#### Motor

<b>Tecnologia do Motor</b>	EC	
<b>Classe de Isolamento</b>	Thermistor, Thermal Class 155	
<b>Potência Nominal</b>	2,5	kW
<b>Velocidade Nominal</b>	3640	RPM
<b>Corrente</b>	3,20	A
<b>Voltagem</b>	3~380/480	V
<b>Energia consumida</b>	0,647	kW



**sandometal**<sup>®</sup>  
Metalomecânica e Ar Condicionado, SA

**Projecto:** PMVF  
**Local de Instalação:** Lisboa  
**Nº de Obra:**

**Modelo:** eSDM 955/955 (eSDM 2/2)

**Pos:** UTA Átrio Piscina



## 5 Bateria

### Arrefecimento

	Cu-Al-Inox304 P3012AR 2R-27T-780A-2.5pa 3C 3/4"	R
<b>Critério de Selecção</b>	Potência	
<b>Perda de Carga (Húmida)</b>	10,7	Pa
<b>Perda de Carga (Seca)</b>	3,8	Pa
<b>Temperatura do ar antes/depois</b>	24,39/18,75	°C
<b>Humidade relativa do ar antes/depois</b>	75,5/89,9	%
<b>Capacidade de arrefecimento total</b>	7,1	kW
<b>Taxa de calor sensível</b>	0.49	
<b>Largura Alhetada</b>	780	mm
<b>Altura Alhetada</b>	810	mm
<b>Velocidade do Ar (área alhetada)</b>	0,82	m/s
<b>Condensação</b>	5,000	l/h
<b>Tipo de fluido</b>	Água	
<b>Percentagem de Glicol</b>	0.0	%
<b>Temperatura do fluido entrada/saída</b>	7,00/12,60	°C
<b>Caudal do fluxo do fluido</b>	1087,690	l/h
<b>Perda de carga do fluido</b>	29,8300	kPa
<b>Velocidade do fluido</b>	0,94	m/s
<b>Volume da bateria</b>	0,006700	m <sup>3</sup>
<b>Lado de ligações</b>	Direito	
<b>Tubo (Cu)</b>	0.4	mm
<b>Número de fiadas</b>	2.0	
<b>Material da alheta</b>	AL	
<b>Espaçamento da alheta</b>	2,5	mm
<b>Espessura da alheta</b>	0,11	mm
<b>Kvs (1.3 x Kv)</b>	2,59	m <sup>3</sup> /h



**Projecto:** PMVF  
**Local de Instalação:** Lisboa  
**Nº de Obra:**



**sandometal**<sup>®</sup>  
Metalomecânica e Ar Condicionado, SA

**Modelo:** eSDM 955/955 (eSDM 2/2)

**Pos:** UTA Átrio Piscina

## 6 Separador de Gotas

<b>Material</b>	PP	
<b>Modelo</b>	PSG33	
<b>Perda de Carga</b>	3	Pa
<b>Comprimento</b>	230	mm
<b>Quantidade de Separadores (divisões)</b>	1	

## 7 Secção Vazia

<b>Perda de Carga</b>	3	Pa
<b>Comprimento</b>	400	mm



**sandometal**<sup>®</sup>  
Metalomecânica e Ar Condicionado, SA

**Projecto:** PMVF  
**Local de Instalação:** Lisboa  
**Nº de Obra:**

**Modelo:** eSDM 955/955 (eSDM 2/2)

**Pos:** UTA Átrio Piscina



## 8 Bateria

### Aquecimento

	Cu-Al-Inox304 P60AC 2R-13T-810A-2.0pa 1C 1/2"	C
<b>Critério de Selecção</b>	Potência	
<b>Perda de Carga</b>	5,9	Pa
<b>Temperatura do ar antes/depois</b>	21,42/37,27	°C
<b>Humidade relativa do ar antes/depois</b>	29,6/11,8	%
<b>Potência</b>	9,7	kW
<b>Largura Alhetada</b>	810	mm
<b>Altura Alhetada</b>	780	mm
<b>Velocidade do Ar (área alhetada)</b>	0,80	m/s
<b>Tipo de fluido</b>	Água	
<b>Percentagem de Glicol</b>	0.0	%
<b>Temperatura do fluido entrada/saída</b>	80,00/60,00	°C
<b>Caudal do fluxo do fluido</b>	428,686	l/h
<b>Perda de carga do fluido</b>	10,8000	kPa
<b>Velocidade do fluido</b>	0,62	m/s
<b>Volume da bateria</b>	0,005600	m <sup>3</sup>
<b>Lado de ligações</b>	Direito	
<b>Tubo (Cu)</b>	0.4	mm
<b>Número de fiadas</b>	2.0	
<b>Material da alheta</b>	AL	
<b>Espaçamento da alheta</b>	2	mm
<b>Espessura da alheta</b>	0,11	mm
<b>Kvs (1.3 x Kv)</b>	1,68	m <sup>3</sup> /h



**sandometal**<sup>®</sup>  
Metalomecânica e Ar Condicionado, SA


**Projecto:** PMVF  
**Local de Instalação:** Lisboa  
**Nº de Obra:**

**Modelo:** eSDM 955/955 (eSDM 2/2)

**Pos:** UTA Átrio Piscina



## 9 Filtro

<b>Perda de Carga (dimensionamento)</b>	70	Pa
<b>Perda de carga inicial/final</b>	35 / 105.0	Pa
<b>Velocidade, área frontal</b>	0,77	m/s
<b>Classe do filtro (ISO 16890)</b>	ePM2,5 65%	
<b>Classe do filtro (EN 779:2012)</b>	F7	
<b>Tipo do Filtro</b>	Saco	
<b>Dimensão do filtro</b>	1 x [592 x 592] + 2 x [287 x 592]	mm
<b>Classe de Efic. Energética Filtros</b> (de acordo com EUROVENT 4/11)		

### Acessórios

Pressostato diferencial

## 10 Insuflação

<b>Perda de Carga</b>	0	Pa
<b>Comprimento</b>	20	mm
<b>Interfaces de Ar</b>		
<b>Canhão</b>		
<b>Classe de Estanquidade (EN 1751)</b>	N/A	
<b>Perda de Carga</b>	0	Pa
<b>Comprimento</b>	50	mm



**Projecto:** PMVF  
**Local de Instalação:** Lisboa  
**Nº de Obra:**



**sandometal**<sup>®</sup>  
Metalomecânica e Ar Condicionado, SA

**Modelo:** eSDM 955/955 (eSDM 2/2)

**Pos:** UTA Átrio Piscina

## Secções Linha de Extracção

### 11 Extracção

<b>Perda de Carga</b>	0	Pa
<b>Comprimento</b>	20	mm

#### Interfaces de Ar

##### Canhão

<b>Classe de Estanquidade (EN 1751)</b>	N/A	
<b>Perda de Carga</b>	0	Pa
<b>Comprimento</b>	50	mm

### 12 Filtro

<b>Perda de Carga (dimensionamento)</b>	67	Pa
<b>Perda de carga inicial/final</b>	34 / 101.0	Pa
<b>Velocidade, área frontal</b>	1,00	m/s
<b>Classe do filtro (ISO 16890)</b>	ePM10 70%	
<b>Classe do filtro (EN 779:2012)</b>	M5	
<b>Tipo do Filtro</b>	Plissado	
<b>Dimensão do filtro</b>	1 x [595 x 595] + 2 x [290 x 595]	mm
<b>Espessura do Filtros</b>	45	mm
<b>Classe de Efic. Energética Filtros</b> (de acordo com EUROVENT 4/11)	N/A	

#### Acessórios

Pressostato diferencial



**Projecto:** PMVF  
**Local de Instalação:** Lisboa  
**Nº de Obra:**



**sandometal**<sup>®</sup>  
 Metalomecânica e Ar Condicionado, SA

**Modelo:** eSDM 955/955 (eSDM 2/2)  
**Pos:** UTA Átrio Piscina

### 13 Ventilador

Os efeitos de sistema do ventilador são tomados em conta na performance do ventilador.

<b>Acoplamento Directo</b>		
<b>Modelo de Ventilador</b>	GR35C-ZID.DC.CR	
<b>Quantidade de Ventiladores</b>	1	
<b>k-factor</b> <sub>(T=20°C, ρ=1.204 kg/m³)</sub>	121.0	
<b>Caudal Nominal</b>	2480	m³/h
<b>Pressão Dinâmica</b>	20	Pa
<b>Pressão Estática Total</b>	409	Pa
<b>Pressão Estática Interna</b>	204	Pa
<b>Pressão Estática Externa</b>	205	Pa
<b>Pressão Total</b>	429	Pa
<b>Velocidade do Ventilador</b>	1667	RPM
<b>Eficiência total ventilador</b> (incl. motor e conversor)	63	%
<b>Ventilador Classe ErP</b> (Directiva 2009/125/CE, Regulamento UE 327/2011)	2015	
<b>SFP</b>	679	W/(m³/s)
<b>Velocidade Máxima do Ventilador</b>	2970	RPM
<b>Frequência de Operação</b>	50	Hz
<b>Frequência Máxima de Operação</b>	50	Hz
<b>Acessórios</b>	Junta Flexível	

### Motor

<b>Tecnologia do Motor</b>	EC	
<b>Classe de Isolamento</b>	Thermistor, Thermal Class 155	
<b>Potência Nominal</b>	2,5	kW
<b>Velocidade Nominal</b>	2970	RPM
<b>Corrente</b>	3,20	A
<b>Voltagem</b>	3~380/480	V
<b>Energia consumida</b>	0,468	kW



**Projecto:** PMVF  
**Local de Instalação:** Lisboa  
**Nº de Obra:**



**sandometal**<sup>®</sup>  
Metalomecânica e Ar Condicionado, SA

**Modelo:** eSDM 955/955 (eSDM 2/2)

**Pos:** UTA Átrio Piscina

#### 14 Recuperador de Calor

---

**A informação sobre esta secção está na linha de Insuflação**

#### 15 Secção Vazia

---

<b>Perda de Carga</b>	3	Pa
<b>Comprimento</b>	400	mm

#### 16 Secção Vazia

---

<b>Perda de Carga</b>	3	Pa
<b>Comprimento</b>	400	mm

#### 17 Exaustão

---

<b>Perda de Carga</b>	0	Pa
<b>Comprimento</b>	20	mm

#### Interfaces de Ar

##### Canhão

<b>Classe de Estanquidade (EN 1751)</b>	N/A	
<b>Perda de Carga</b>	0	Pa
<b>Comprimento</b>	50	mm