



**Gonçalo Fortunato Poulson Scala dos Santos**

Licenciado em Ciências da Engenharia Mecânica

**Modelação geométrica como apoio à conservação  
de património industrial**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica

Orientador: Tiago Alexandre Narciso da Silva,  
Professor Auxiliar,  
Faculdade de Ciências e  
Tecnologia Universidade Nova de  
Lisboa

Júri:

Presidente: Doutor António José Freire Mourão, Professor  
Associado da Faculdade de Ciências e Tecnologia  
da Universidade NOVA de Lisboa

Vogais: Doutora Marta Cunha Monteiro Manso de  
Almeida Sampaio, Professora Auxiliar Convidada da  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade NOVA de Lisboa/LIBPhys-UNL;

Doutor Tiago Alexandre Narciso da Silva,  
Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e  
Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Novembro, 2020**



### **Modelação geométrica como apoio à conservação de património industrial**

Copyright © Gonçalo Fortunato Poulson Scala dos Santos, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## *Agradecimentos*

A realização desta dissertação e a concretização desta etapa só foi possível graças à colaboração e apoio, direta ou indiretamente, de várias pessoas, às quais gostaria muito de agradecer:

Ao professor Tiago Silva, pela disponibilidade e toda a sua ajuda para orientar esta dissertação, desde a escolha do tema até à sua conclusão. Obrigado pela atenção, pelos comentários e sugestões dispensadas ao longo do tempo, e pela sua paciência que tornou possível a concretização deste trabalho.

Ao meu colega Frederico Nogueira, que se apresentou sempre disponível para trocar ideias comigo e me ajudar.

A todos os responsáveis pelo projeto IH4Future, às investigadoras Marta Manso, Isabel Tissot e Graça Filipe pela sua acessibilidade e prontidão a ajudar. Ao Sr. Francisco Moura, pela sua ajuda, o seu conhecimento e a sua boa disposição foram a minha companhia nos dias passados na fábrica.

À minha família, especialmente aos meus pais e aos meus avós, pelo esforço que fizeram ao longo destes anos e pela compreensão nos momentos mais difíceis. À Ana Filomena, pela paciência e compreensão que teve pelo tempo que não pude estar presente.

A todas as pessoas que ao longo destes anos, partilharam comigo este percurso, do primeiro ano até ao último, e estiveram presentes nos melhores e nos piores momentos: Luís do Ó, Luís Lames, Gonçalo Gonçalves, João Diogo, Rafael Santos, Vasco Mota, Tiago Santos, Andreia Graça, Diogo Gonçalves e Diogo Coelho. Obrigado pelo apoio incondicional e pelas memórias que guardarei para sempre.

Por último, agradeço a todos que, mesmo não sendo aqui mencionados, acreditaram que era possível.

O meu mais sincero obrigado.



Atualmente existem diversos exemplos de museus que possuem equipamentos que já não podem ser colocados em funcionamento para minorar a sua degradação e para se preservar ao máximo o seu estado físico. A virtualização de visitas é já uma realidade, ainda que não exista a sua disseminação. Do ponto de vista da conservação do património industrial, a visão e as técnicas de engenharia mecânica podem ser uma mais-valia em diversos campos, nomeadamente na virtualização dos espaços e dos equipamentos, podendo o seu funcionamento ser simulado, ainda que estes já não tenham capacidade de funcionar, e na disponibilização e interpretação da informação. Neste trabalho pretende-se desenvolver com recurso a programas de modelação geométrica, juntamente com motores de jogo, uma representação 3D fiel de equipamentos a conservar e assim um ambiente de realidade virtual, onde seria possível representar equipamentos industriais do passado a funcionar tal como em tempos o fizeram. Deste modo, conseguem-se mostrar diversas vertentes destes equipamentos, evitando ou minimizando o seu uso e consequentemente a sua degradação, possibilitando aos visitantes de museus industriais e investigadores uma visita interativa e imersiva com modelos à escala e sons num ambiente virtual, que pretende simular um ambiente de fábrica em funcionamento. Como objeto de estudo, nesta dissertação é desenvolvido o conceito de virtualização para a conservação e são dados os primeiros passos com vista à virtualização da Fábrica de Pólvora de Vale de Milhaços que incorpora o Ecomuseu Municipal do Seixal desde 2001.

**Palavras-chave:** Conservação de património industrial, Modelação geométrica, Realidade Virtual





## *Abstract*

---

Nowadays there's many examples of museums that have equipment that no longer can be put to work to avoid degradation and to preserve them as much as possible. The virtualization of tours is already a reality, even though it's still not common. From an industrial heritage conservation point of view, the vision and techniques of mechanical engineering could benefit several fields of research, like the virtualization of environments and equipment, which can simulate them operating, even though they no longer have the ability to do it, and the availability and interpretation of information can also be enhanced. The main goal of this work is to develop, with the help of geometric modeling software, supported by game engines, a 3D representation of the equipment to preserve and consequently a virtual reality environment, where it would be possible to put industrial equipment from the past working like they once did. Using this, we are able to show different aspects of these equipment, avoiding or minimizing their use and consequently their degradation, giving the visitors of industrial museums and investigators an immersive and interactive tour with scaled models and sounds in a virtual reality environment, simulating a working factory. In this thesis, it is developed the concept of virtualization to preserve and are given the first steps towards the virtualization of the black gunpowder factory, Fábrica de Pólvora de Vale de Milhaços, that incorporates de Ecomuseu Municipal do Seixal since 2001.

**Keywords:** Conservation of Industrial Heritage, Geometric Modeling, Virtual Reality

---

## *Índice*

|         |                                                                           |    |
|---------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.      | Introdução.....                                                           | 1  |
| 1.1.    | Motivação e Objectivos.....                                               | 1  |
| 1.2.    | Estrutura do documento .....                                              | 3  |
| 2.      | Património Industrial.....                                                | 4  |
| 2.1.    | Património e Arqueologia Industrial .....                                 | 4  |
| 2.2.    | Legislação .....                                                          | 5  |
| 2.3.    | Museologia.....                                                           | 6  |
| 2.4.    | Objetivos de um ponto de vista do património industrial e da museologia . | 8  |
| 2.5.    | Modernização dos museus .....                                             | 8  |
| 2.6.    | Visitas virtuais.....                                                     | 9  |
| 2.6.1.  | Caso Kon-Tiki.....                                                        | 10 |
| 2.6.2.  | Caso Viking VR .....                                                      | 11 |
| 2.6.3.  | Caso NextReality .....                                                    | 13 |
| 2.6.4.  | Caso Central Elétrica de Piešťany.....                                    | 15 |
| 3.      | Fábrica de Pólvora de Vale de Milhaços.....                               | 18 |
| 3.1.    | Breve história .....                                                      | 18 |
| 3.2.    | Equipamentos do sistema de geração de energia .....                       | 19 |
| 3.2.1.  | Central térmica .....                                                     | 19 |
| 3.2.1.1 | Ciclo termodinâmico .....                                                 | 20 |
| 3.2.1.2 | Ciclo de Rankine .....                                                    | 20 |
| 3.2.2.  | As caldeiras e o sistema de alimentação .....                             | 21 |
| 3.2.3.  | Máquina a vapor.....                                                      | 25 |
| 3.3.    | Funcionamento da máquina .....                                            | 33 |

|        |                                                          |    |
|--------|----------------------------------------------------------|----|
| 4.     | Metodologia de Trabalho e Resultados .....               | 36 |
| 4.1.   | Abordagem inicial .....                                  | 37 |
| 4.2.   | Trabalho na FPVM .....                                   | 40 |
| 4.2.1. | Modelação .....                                          | 40 |
| 4.2.2. | Motor de jogo (Unreal Engine) .....                      | 43 |
| 4.3.   | Reflexão sobre futuras aplicações desta tecnologia ..... | 49 |
| 5.     | Conclusão .....                                          | 52 |
|        | Referências Bibliográficas .....                         | 54 |

## *Índice De Figuras*

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Exemplo da aplicação de Visita Virtual do Louvre .....                                                    | 9  |
| Figura 2 – Imagem da "Kon-Tiki VR Experience" .....                                                                  | 10 |
| Figura 3 – Imagem da visita Virtual Kon-Tiki.....                                                                    | 11 |
| Figura 4 - Réplica Virtual de uma zona de mercantil viking .....                                                     | 12 |
| Figura 5 - Esquema do <i>headset</i> .....                                                                           | 12 |
| Figura 6 - Montagem de um <i>headset</i> .....                                                                       | 12 |
| Figura 7 – Imagem de acampamento Viking VR.....                                                                      | 13 |
| Figura 8 – Logótipo VisitAR .....                                                                                    | 14 |
| Figura 9 - Imagem de motor histórico a diesel do museu de Vienna e a sua fotogrametria (Hain e Hajtmanek, 2019)..... | 15 |
| Figura 10 - Plano do jogo interativo com tarefas (Hain e Hajtmanek, 2019) .....                                      | 16 |
| Figura 11 – Planta esquemática do Circuito da Pólvora da FPVM.....                                                   | 18 |
| Figura 12 – Fotografia aérea da FPVM.....                                                                            | 19 |
| Figura 13 - Ciclo de Rankine .....                                                                                   | 20 |
| Figura 14 - Diagrama Temperatura-Entropia.....                                                                       | 20 |
| Figura 15 - Associação de equipamentos ao ciclo termodinâmico .....                                                  | 21 |
| Figura 16 - Fotografia das cúpulas da parte superior das caldeiras .....                                             | 22 |
| Figura 17 - Fotografia das fornalhas .....                                                                           | 23 |
| Figura 18 - Fotografia do "burrinho" .....                                                                           | 24 |
| Figura 19 - Fotografia de uma parte do sistema de transmissão por cabos.....                                         | 26 |
| Figura 20 - Fotografia da máquina a vapor .....                                                                      | 27 |
| Figura 21 - Fotografia do sistema de válvulas .....                                                                  | 28 |
| Figura 22 - Fotografia da válvula manual .....                                                                       | 28 |
| Figura 23 – Vista geral de parte do mecanismo da máquina a vapor: .....                                              | 29 |
| Figura 24 - Fotografia do Volante de inércia .....                                                                   | 30 |
| Figura 25 - Fotografia do regulador de Watts da FPVM .....                                                           | 31 |

|                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 26 - Esquema de um regulador centrífugo com pormenor da representação de funcionamento (adaptado de uma imagem de "Discoveries & Inventions of the Nineteenth Century" de R. Routledge, 13th edition, 1900)..... | 31 |
| Figura 27 - Fotografia do conjunto de sete copos .....                                                                                                                                                                  | 32 |
| Figura 28 - Fotografia do maquinista Sr. Francisco Moura a colocar a máquina em funcionamento .....                                                                                                                     | 34 |
| Figura 29 - Fotografia do tanque de refrigeração.....                                                                                                                                                                   | 35 |
| Figura 30 - Fluxograma da metodologia utilizada .....                                                                                                                                                                   | 36 |
| Figura 31 - Fotografia do polígrafo.....                                                                                                                                                                                | 37 |
| Figura 32 – Exemplo de um esboço de uma peça do polígrafo .....                                                                                                                                                         | 38 |
| Figura 33 – Representação em perspectiva de uma peça em <i>Solidworks</i> .....                                                                                                                                         | 38 |
| Figura 34 – Vista em perspectiva do conjunto do Polígrafo em <i>Solidworks</i> .....                                                                                                                                    | 39 |
| Figura 35 – Vista em perspectiva do conjunto utilizando fotorrealismo (em <i>Solidworks</i> , <i>PhotoView360</i> ).....                                                                                                | 39 |
| Figura 36 – Vista em perspectiva de uma peça da máquina modelada em <i>Solidworks</i> .....                                                                                                                             | 40 |
| Figura 37 – Vista em perspectiva do cilindro e do sistema de válvulas da máquina em <i>Solidworks</i> .....                                                                                                             | 41 |
| Figura 38 – Vista em perspectiva do mecanismo Haste-Êmbolo e do sistema biela-manivela .....                                                                                                                            | 41 |
| Figura 39 – Vista em perspectiva do conjunto das partes (fotorrealismo).....                                                                                                                                            | 42 |
| Figura 40 – Vista em perspectiva da máquina (fotorealismo) .....                                                                                                                                                        | 42 |
| Figura 41 - Comparação fotografia com imagem <i>Solidworks</i> : .....                                                                                                                                                  | 43 |
| Figura 42 - Extensão <i>Datasmith</i> .....                                                                                                                                                                             | 43 |
| Figura 43- Peças sem propriedades físicas em <i>Unreal Engine</i> .....                                                                                                                                                 | 44 |
| Figura 44 – Vista em perspectiva de diversos componentes em <i>Unreal Engine</i> ..                                                                                                                                     | 45 |
| Figura 45 - Diagrama de blocos para a ação "Saltar" .....                                                                                                                                                               | 45 |
| Figura 46 – Exemplo de diagrama de blocos do utilizador para programação em <i>UnrealEngine</i> .....                                                                                                                   | 46 |
| Figura 47 – Vista da máquina a vapor em <i>Unreal Engine</i> .....                                                                                                                                                      | 46 |
| Figura 48 – Vista sobre ambiente de Teste .....                                                                                                                                                                         | 47 |

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 49 – Detalhe do chão utilizado em ambiente de fundo:.....                                                            | 47 |
| Figura 50 - Representação dos efeitos de vapor.....                                                                         | 48 |
| Figura 51 - Pormenor do ambiente de fundo .....                                                                             | 48 |
| Figura 52 – Vista de pormenor do ambiente virtual criado com destaque para a máquina de vapor e painéis de ferramentas..... | 48 |
| Figura 53 - Exemplo de uma possibilidade de opção no ambiente virtual .....                                                 | 49 |
| Figura 54 – Imagem termográfica da máquina a vapor em funcionamento .....                                                   | 50 |



# *1. Introdução*

## *1.1. Motivação e Objectivos*

A [Fábrica de Pólvora de Vale de Milhaços](https://www.cm-seixal.pt/ecomuseu-municipal/fabrica-de-polvora)<sup>1</sup> (FPVM) em Corroios encontra-se encerrada desde 2001, ano em que foi inserida no Ecomuseu Municipal do Seixal. Em 2012 foi classificada como Monumento de Interesse Público e hoje em dia mostra a atividade industrial e as tecnologias aplicadas na produção de pólvora negra que remontam a 1896.

Vale de Milhaços tratava-se de uma zona rural, a sua localização geográfica tornava-a ideal para a produção de pólvora, pois possuía os recursos hídricos e florestais, fulcrais para a produção. Devido à necessidade de mão-de-obra e ao afastamento de zonas populacionais, construiu-se um bairro operário nas imediações da fábrica. Este bairro albergou inúmeras gerações de famílias de operários.

Este sítio do Ecomuseu do Seixal tem inúmeros equipamentos e máquinas, que não podem estar em constante funcionamento, devido à sua idade e degradação natural da utilização, hoje em dia, estes equipamentos fazem parte do património industrial, sendo necessário conservá-los e manter o seu registo para memória futura.

O projeto [“IH4Future”](https://sites.google.com/fct.unl.pt/ih4future/home?authuser=0)<sup>2</sup> é responsável pela caracterização de materiais de um conjunto de equipamentos na FPVM, realizando diferentes tipos de análises e de testes em metais, lubrificantes e outros diversos materiais, como microscopia ótica. Aplicando este conhecimento científico e procurando compreender a história industrial e o seu

---

<sup>1</sup> <https://www.cm-seixal.pt/ecomuseu-municipal/fabrica-de-polvora> (consultado em Setembro de 2020)

<sup>2</sup> <https://sites.google.com/fct.unl.pt/ih4future/home?authuser=0> (consultado em Setembro de 2020)



desenvolvimento tecnológico, bem como contribuir para a conservação dos equipamentos e a musealização da FPVM.

Esta dissertação pretende contribuir para este projeto com o propósito de interpretar e transmitir, através de uma perspectiva de engenharia mecânica e com o auxílio de ferramentas de engenharia, como é que os equipamentos funcionam e o seu propósito, bem como procurar conservar e promover este património através de ambientes virtuais para uma visita mais direcionada para aspetos da engenharia (ciclo termodinâmico, respostas dinâmicas dos equipamentos, entre outros), com o objetivo de galvanizar o interesse do público e dos visitantes.

Para alcançar essa meta pretendida, em primeiro lugar efetuou-se uma visita à FPVM para se ficar a conhecer o enquadramento histórico da fábrica, as suas instalações, os equipamentos e, em especial, a máquina a vapor em funcionamento. De seguida para se iniciar o trabalho, foi necessário efetuar medições com o auxílio de instrumentos de medição, para compor a informação em forma de desenho de esboço. Os esboços são a base para a fase de modelação geométrica dos componentes, neste trabalho utilizando o *software Solidworks*<sup>3</sup>. Foram levantadas as dimensões suficientes para se obter uma representação 3D externa dos equipamentos, uma vez que o acesso a medições em certas partes é impossível. Não foram efetuados desenhos de definição, porque não era esse o intuito do trabalho. Devido à natureza do processo de modelação geométrica com vista à criação de ambientes virtuais, os desenhos de definição não são essenciais. No entanto, o *software Solidworks* permite obter essa documentação, seja de um componente individual ou do conjunto total (vulgarmente designado como *assembly*), sendo esta útil para o acervo documental dos objetos de estudo.

Após o processo de modelação em *Solidworks*, os ficheiros de peças e conjuntos são transferidos para o motor de jogo *UnrealEngine*<sup>4</sup>, onde se procede à criação do ambiente virtual representativo da fábrica com máquinas em funcionamento, operários e sons. Utilizando assim técnicas de engenharia mecânica e de técnicas de ambiente de jogo para desenvolver uma realidade virtual para fins museológicos com o intuito de promover a conservação do património industrial.

O património necessita de se dar a conhecer para ser preservado.

---

<sup>3</sup> <https://www.solidworks.com/> (consultado em Setembro de 2020)

<sup>4</sup> <https://www.unrealengine.com/en-US/> (consultado em Setembro de 2020)

## *1.2. Estrutura do documento*

Este trabalho primeiramente ir-se-á focar no Património Industrial (Capítulo 2), o seu conceito, surgimento, desenvolvimento e que tipo de legislação existe sobre este tópico. De seguida na museologia, com ênfase na musealização da FPVM, bem como nos objetivos do trabalho a desenvolver e na modernização dos recursos comunicacionais dos museus dando alguns exemplos de visitas virtuais. Seguidamente faz-se um realce da FPVM no capítulo 3, falando um pouco da sua história e fazendo uma enumeração de alguns dos equipamentos e máquinas que possui e o seu funcionamento. Depois de se falar na FPVM, mostra-se no capítulo 4, todas as etapas realizadas até à virtualização da “Casa da Máquina” da FPVM, desde a abordagem inicial onde foi realizada uma modelação geométrica de um polígrafo do Museu da Ciência, até à implementação das mesmas técnicas de modelação no âmbito da FPVM e também a construção de um ambiente virtual desta num motor de jogo. Finalmente faz-se uma reflexão no 5º capítulo sobre a pertinência e a potencialidade da implementação deste tipo de tecnologias de realidade virtual e aumentada, não só na museologia e na conservação de património industrial, mas como também em diversos outros campos de estudo.

## 2. *Património Industrial*

### 2.1. *Património e Arqueologia Industrial*

A definição oficial de “Património Industrial” que se pode encontrar no [site do património cultural](http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/itinerarios/industrial/)<sup>5</sup>, a qual se passa a citar, determina que:

“O património industrial é uma área inter e multidisciplinar. O desejável na interpretação de um objeto industrial é a participação de diversos especialistas (historiadores, arquitetos, engenheiros, patrimonialistas, arqueólogos). De uma forma muito sintética, pode então dizer-se que o património industrial trata dos vestígios técnico-industriais, dos equipamentos técnicos, dos edifícios, dos produtos, dos documentos de arquivo e da própria organização industrial.”

O conceito de arqueologia industrial começou em Inglaterra depois da Segunda Guerra Mundial e é um método interdisciplinar que estuda todos os vestígios, materiais e imateriais, os documentos, os artefactos, a estratigrafia e as estruturas, as implantações humanas e as paisagens naturais e urbanas, criadas para ou por processos industriais. A arqueologia industrial utiliza os métodos de investigação mais adequados para aumentar a compreensão do passado e do presente industrial. Surge com a necessidade e preocupação de preservar, conservar e restaurar o Património Industrial que foi fulcral na Primeira Revolução Industrial, devido ao receio que estes fossem destruídos na guerra. Em 1973 após a Primeira Conferência Internacional sobre a Conservação de Património Industrial em Ironbridge, Inglaterra, foi fundado o TICCIIH - *The International Committee for the Conservation of Industrial Heritage* (Comité Internacional para a Conservação do Património Industrial). Este comité é a organização mundial dedicada ao Património Industrial, sendo consultor do ICOMOS - *International Council on Monuments and Sites* (Conselho Internacional dos Monumentos e Sítios) para esta categoria específica. O objetivo principal do TICCIIH passa pela conservação, preservação, investigação e

---

<sup>5</sup> <http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/itinerarios/industrial/> (consultado em Outubro de 2020)

documentação do património a um nível internacional, dando ênfase ao campo específico da indústria, focando-se nas estruturas, na maquinaria e equipamentos, nos produtos, nos processos, nas técnicas e na documentação e arquivos.

A partir da década de 70 e com maior incidência nos anos 80 houve um aumento da preocupação com a proteção e conservação do património industrial. Este processo originou a fundação das primeiras associações fundamentais nestes tópicos tal como recomendava o TICCIH, como a Associação de Arqueologia Industrial da Região de Lisboa, que mais tarde deu origem à [Associação Portuguesa de Arqueologia Industrial](https://apaiassociacao.wixsite.com/apai?lightbox=image_vho)<sup>6</sup> (APAI) e à Associação Portuguesa de Empresas com Museus (APOREM). “Estas associações tiveram uma importante ação na divulgação do património industrial e empresarial e na sensibilização das empresas e das Câmaras Municipais para a necessidade de preservar este tipo de património, impulsionando, consequentemente, a criação de novos museus ou núcleos museológicos” (Matos e Sampaio, 2014).

## *2.2. Legislação*

A 6 de Julho de 1985 foi criada a primeira Lei de Bases do Património Cultural Português com a Lei nº13/85, que segundo José Manuel Lopes Cordeiro: “(...) nunca foi regulamentada, originando inúmeras situações de impasse legal, antes de ser abandonada e substituída pela atual Lei de Bases do Património Cultural Português, nº 107/2001, de 8 de Setembro (...)” (Cordeiro, 2007).

O Património Industrial só é referenciado em duas instâncias na atual Lei de Bases do Património - Artigo 2º “O interesse cultural relevante, designadamente histórico, paleontológico, arqueológico, arquitetónico, linguístico, documental, artístico, etnográfico, científico, social, industrial ou técnico, dos bens que integram o património cultural refletirá valores de memória, antiguidade, autenticidade, originalidade, raridade, singularidade ou exemplaridade” (D.R. 2001). E no Artigo 72º, relativo às Disposições Gerais, 3º ponto “As leis de desenvolvimento poderão estabelecer formas de proteção, e correspondentes regimes, especialmente aplicáveis aos bens culturais ou a certo tipo de elementos integrantes do património arqueológico, arquivístico, áudio-visual,

---

<sup>6</sup> [https://apaiassociacao.wixsite.com/apai?lightbox=image\\_vho](https://apaiassociacao.wixsite.com/apai?lightbox=image_vho) (consultado em Outubro de 2020)

bibliográfico, fonográfico ou fotográfico ou a novos tipos de bens culturais, nomeadamente os que integrem o património electrónico ou o património industrial” (D.R. 2001).

A falta de leis sobre o Património Industrial não permite uma definição clara do seu conceito, nem lhe é dada a atenção que precisa. O que outros escritores recomendam é que seja elaborado um Plano Estratégico para o Património Industrial que permita delimitar o que deve ser valorizado e conservado. Consequentemente com este Plano seria possível criar inventários a uma escala nacional e consequentemente conservar os vestígios patrimoniais da industrialização portuguesa.

O TICCIH a 17 de Julho de 2003 criou a Carta de Nizhny Tagil (*CARTA DE NIZHNY TAGIL SOBRE O PATRIMÓNIO INDUSTRIAL*, 2003) sobre o Património Industrial que veio a complementar todas as cartas importantes anteriores, como a Carta de Veneza (1964) e a Carta de Burra (1994), assim como a Recomendação R(90) 20 do Conselho da Europa.

A Carta de Nizhny Tagil foi essencial para a definição de Património Industrial, para chamar a atenção aos seus valores, bem como à importância do inventário e investigação, à sua proteção legal, a manutenção e conservação, a educação e a formação e a interpretação (TICCIH – “Carta de Nizhny Tagil”, 2003)

## **2.3. Museologia**

Em Portugal, como noutros países industrializados, a levou a que muitas das empresas com fábricas se voltassem para elas segundo um ponto de vista museológico e do património cultural. “O fim das atividades industriais originou, em diversos casos, a realização de estudos e intervenções arqueológicas em espaços industriais, muitas vezes associados a processos de classificação e projetos de requalificação (reabilitação) urbana, permitindo a conceção de novos espaços culturais e museológicos” (Morais, 2016).

A valorização e o reconhecimento da FPVM como Património Industrial foi possível devido à longevidade e à conservação da parte das instalações produtivas de pólvora negra. “A persistência dos mesmos processos tecnológicos e métodos de produção da pólvora negra, a manutenção do mesmo tipo de planta industrial dos fins do

século XIX e respetivas máquinas, os diversos aspetos da memória e da identidade social do complexo de Vale de Milhaços constituíram, desde o início, as razões de eleição do sítio e do conjunto fabril como património industrial. O caso da máquina a vapor - uma Joseph Farcot & Fils de 1900 de 125 cv - requeria a maior atenção, porque as máquinas a vapor tinham deixado de funcionar na Europa com o fim da 2.<sup>a</sup> Guerra Mundial” (Custódio, 2012).

A fábrica foi inicialmente identificada pela Associação de Arqueologia Industrial da Região de Lisboa e pelo Ecomuseu do Seixal fundado em 1982. A visita a Vale de Milhaços de Kenneth Hudson, jornalista e museólogo com papel fulcral no Património Industrial sendo ele o responsável pela escrita de um dos primeiros livros sobre o tema “*Industrial Archaeology: An Introduction*” (Hudson, 1963), constituiu um momento desencadeador no reconhecimento e validação como Património Industrial da fábrica. Ao longo dos anos foram realizadas várias iniciativas para sensibilizar e cultivar o valor cultural da FPVM e em 1998 o Ecomuseu do Seixal responsável pelas várias iniciativas conseguiu atingir alguns objetivos importantes. “...conhecendo-se os ecos da sua situação financeira e intenção de encerramento, o Ecomuseu do Seixal - liderando desde então a campanha de sensibilização e de promoção de visitas culturais - levou a cabo várias iniciativas que garantiram a inventariação do seu espólio in situ (1998-2002), a criação de um circuito turístico e viabilizando o processo de classificação (1999)” (Custódio, 2012).

Após o encerramento da fábrica em 2001, a Câmara Municipal do Seixal acabou por ficar com uma parte desta, que constitui o Núcleo do Ecomuseu e é o pólo do circuito industrial patrimonial do concelho. Em 2015, o Plano Diretor Municipal do Concelho do Seixal consagrou a utilização museológica do património da antiga FPVM atribuindo ao Circuito da Pólvora Negra a categoria de Espaço de Uso Especial – Equipamentos de Utilização Coletiva<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Documentação da Câmara Municipal do Seixal:  
[https://www.cm-seixal.pt/sites/default/files/documents/polvora\\_final02.pdf](https://www.cm-seixal.pt/sites/default/files/documents/polvora_final02.pdf) (consultado em Setembro de 2020)

## *2.4. Objetivos de um ponto de vista do património industrial e da museologia*

Um dos principais objetivos do projeto de “virtualização” da máquina a vapor e da própria Fábrica da Pólvora é a conservação e preservação de património industrial.

O projecto de implementação da FPVM é praticamente o mesmo desde que esta foi instalada. Parte dos seus equipamentos prevalece em funcionamento, sendo exemplo de equipamentos que muito dificilmente se encontram hoje em dia nestas condições. Portanto, é essencial proceder-se à virtualização destes equipamentos para que seja possível “imortalizá-los” e no futuro, mesmo que estes não resistam a eventual degradação, seja possível ter maneira de mostrar às gerações futuras como eram as máquinas e como estas operavam, uma vez que a musealização da FPVM mantém a descrição funcional do equipamento, tendo-se apoiado no testemunho de funcionários da antiga FPVM.

## *2.5. Modernização dos museus*

Com a evolução das tecnologias nos últimos anos e com a facilidade que todos os humanos têm ao acesso a informação hoje em dia, também os museus estão a modernizar os seus dispositivos de comunicação e informação para se tornarem apelativos para estas novas gerações.

As visitas virtuais não são um conceito inovador, existindo já museus que possuem de sites na internet e que permitem a visita virtual aos mesmos. Museus como o Louvre possuem esta tecnologia. Qualquer pessoa com acesso a internet consegue realizar uma visita virtual ao museu<sup>8</sup> (Figura 1). Mas muitas destas visitas virtuais, são feitas através da compilação de fotografias, o que torna a experiência limitada e dececionante em certos aspetos. O clicar de setas para se movimentar ao longo da exposição, a limitação do zoom no caso de se querer ver uma peça ao pormenor e a limitação das próprias fotografias usadas, constituem alguns pontos negativos deste tipo de visitas.

---

<sup>8</sup> <https://www.louvre.fr/en/visites-en-ligne> (consultado em Outubro de 2020)

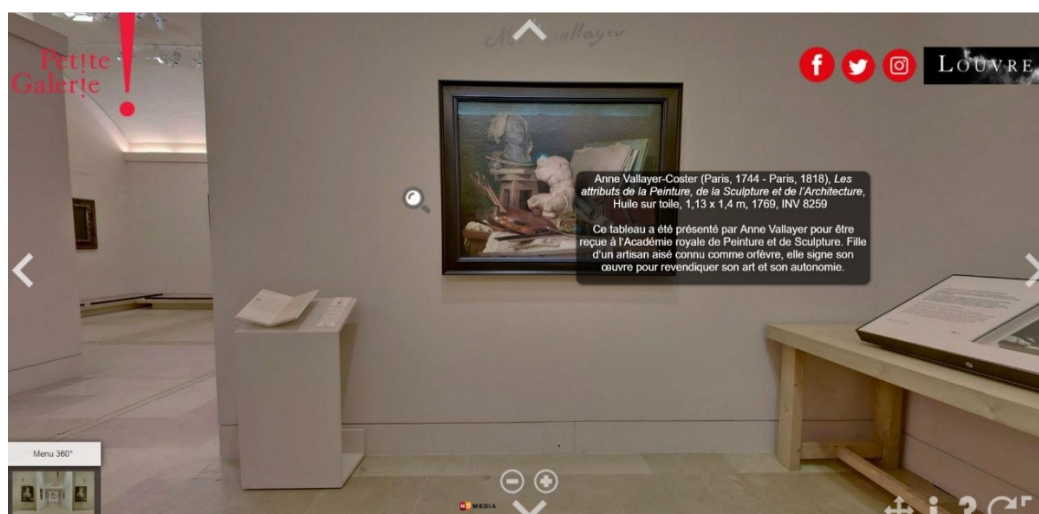


Figura 1 - Exemplo da aplicação de Visita Virtual do Louvre

O desenvolvimento do projeto de criação de um ambiente de realidade virtual num motor de jogo, procura encontrar resposta para estes elementos menos conseguidos das visitas virtuais que existem atualmente e criar uma experiência imersiva e interativa para os visitantes.

Apenas o facto de apresentarmos uma experiência 3D e a adição de elementos como os óculos de realidade virtual e os manípulos interativos são fatores que contribuem para o despertar da atenção e o aliciar dos visitantes ou dos curiosos, que é uma alternativa muito mais sugestiva ao sistema de fotografias panorâmicas de 360° que é muito utilizado hoje em dia.

## 2.6. *Visitas virtuais*

Atualmente já existem museus que procederam à sua modernização, usando o recurso da tecnologia criam formas inovadoras e atrativas para o público com a criação de visitas virtuais. Nesta secção irá fazer-se referência a alguns destes exemplos mais relevantes.



### 2.6.1. Caso Kon-Tiki

O “VR Kon-Tiki Experience” é um projeto comissionado pelo museu Kon-Tiki da Noruega e trata-se de uma animação de realidade virtual que foi desenvolvido através de um motor de jogo e com o objetivo de dar aos visitantes do museu a experiência simulada da viagem de Thor Heyerdahl durante a sua travessia do Peru até às ilhas do Pacífico do Sul como é possível observar-se na figura 2.



Figura 2 – Imagem da "Kon-Tiki VR Experience"

Para além deste projeto, o museu de Kon-Tiki possui também um museu virtual tal como os referidos anteriormente, que foi criado através da recolha de fotografias e feito com texturas fotográficas (Figura 3), que permite a [visita virtual à exposição](#)<sup>9</sup>.

Ingvar Tjostheim e Joachim Lous escreveram um [artigo](#)<sup>10</sup> baseado neste projeto. Este tinha o propósito de analisar a atratividade dos visitantes à implementação destas tecnologias dando ênfase à recetividade das pessoas com mais idade para este conceito de museus virtuais, bem como a sua facilidade de utilização e manuseamento. Foram também realizados vários questionários aos visitantes em dois sítios distintos, na

<sup>9</sup> [https://youriguide.com/36\\_bygd\\_ynesveien\\_oslo\\_no\\_03\\_no](https://youriguide.com/36_bygd_ynesveien_oslo_no_03_no) (consultado em Setembro de 2020)

<sup>10</sup> [https://www.researchgate.net/publication/221357290\\_Attracting\\_Visitors\\_-\\_Using\\_Computer\\_Games\\_Technology\\_to\\_Build\\_a\\_VR-Museum](https://www.researchgate.net/publication/221357290_Attracting_Visitors_-_Using_Computer_Games_Technology_to_Build_a_VR-Museum) (consultado em Outubro de 2020)

“National Travel Fair” de Janeiro 2005 e no próprio museu. Apesar do número de amostras ser reduzido, pois apenas 165 participaram nos questionários, foi possível concluir que o “VR Kon-Tiki Experience” pode ser uma potencial ferramenta de marketing e que indivíduos que possuíam pouco ou nenhum contacto com videojogos não demonstraram dificuldades em manusear a aplicação.

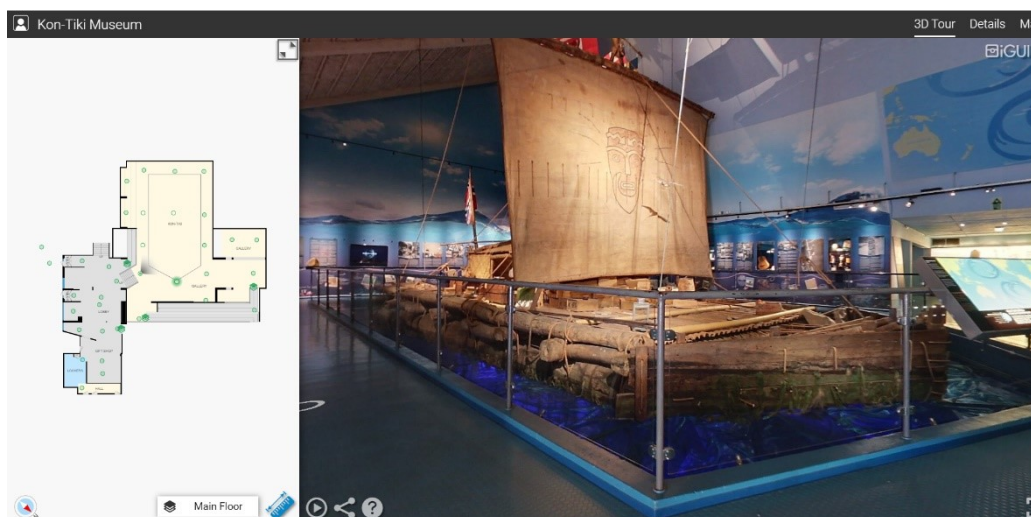


Figura 3 – Imagem da visita Virtual Kon-Tiki

## 2.6.2. Caso Viking VR

O museu de Yorkshire albergou entre os meses de Maio e Novembro de 2017, uma exposição de realidade virtual, “[Viking VR](https://www.yorkshireremuseum.org.uk/exhibition/viking-rediscover-the-legend/)”<sup>11</sup>, que permitia aos visitantes uma experiência imersiva numa réplica de um acampamento viking do século IX como mostra a Figura 4. O projeto foi o resultado da cooperação de um grupo multidisciplinar, desde o campo da arqueologia, da engenharia, do teatro, do cinema e da televisão, bem como também de vários museus britânicos.

<sup>11</sup> <https://www.yorkshireremuseum.org.uk/exhibition/viking-rediscover-the-legend/> (consultado em Outubro de 2020)



Figura 4 - Réplica Virtual de uma zona de mercantil viking

Foi desenvolvido um *headset* que é mostrado nas figuras seguintes 5 e 6, composto por um telemóvel, auscultadores e uma bateria, tendo em conta que cumprisse com os requisitos para tornar a exposição o mais acessível e imersiva possível. Esses requisitos passam pelo tempo de vida das baterias, a robustez do equipamento para durar várias utilizações ao longo dos seis meses e uns auscultadores de boa qualidade que transmitissem os sons de alta qualidade e os diálogos.

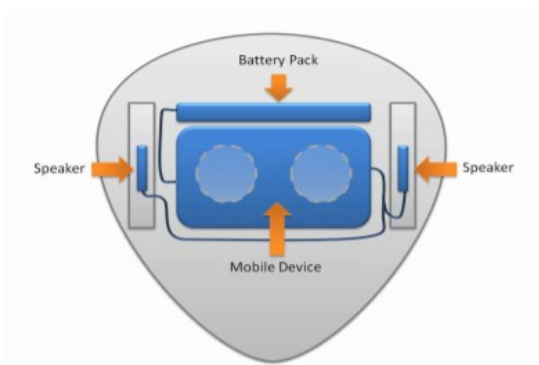


Figura 5 - Esquema do *headset*



Figura 6 - Montagem de um *headset*

O “Viking VR” pode ser considerado como um sucesso, tendo cerca de 85000 visitantes, o que se traduz num aumento de 25% ao espectáculo. Sendo 70% deles a

primeira vez que interagiam com realidade virtual. Este tipo de inovações pode ser muito benéfico tanto para os museus como para os seus visitantes, por um lado conferindo ao público novas experiências, e novos métodos de aprender e cultivar o seu conhecimento, bem como o contacto com novas tecnologias, e por outro lado, do ponto de vista do museu estes tipos de inovação são um chamariz para quem já visitou regressar, e mais uma razão para quem ainda não visitou o fazer, bem como a salvaguarda dos artigos de exposição, do conhecimento histórico e património cultural (Figura 7).

“Viking VR involved applying game design techniques and design approaches from the growing VR community along with more traditional archaeological and curatorial conventions to the design of a Cultural Heritage exhibit ..., a first step in exploring a number of specific aspects of VR design for Cultural Heritage and raises interesting questions for future research”(Schofield *et al.*, 2018).



Figura 7 – Imagem de acampamento Viking VR

### 2.6.3. Caso NextReality

A [NextReality](https://nextreality.com/)<sup>12</sup> é uma start-up da empresa portuguesa [IT People Innovation](https://itpeopleinnovation.com/)<sup>13</sup>, que é uma das principais empresas na vanguarda da inovação, nomeadamente nas tecnologias de realidade virtual e aumentada.

---

<sup>12</sup> <https://nextreality.com/> (consultado em Outubro de 2020)

<sup>13</sup> <https://itpeopleinnovation.com/> (consultado em Outubro de 2020)

Criaram a aplicação [“VisitAR”](#)<sup>14</sup> (Figura 8) que foi vencedora de um concurso que pretendia associar novas tecnologias à área da Cultura e Património<sup>15</sup>. Com a ajuda de dispositivos a aplicação permite transformar um espaço histórico-cultural numa experiência imersiva, educacional e divertida, permitindo cenários como “guias em hologramas”, “visão raio-x” (que permite observar o interior de estruturas e equipamentos) e “reconstrução de ruínas” (recriando partes destruídas pelo tempo ou até mesmo construir um ambiente semelhante ao que era vivido naquela altura, recorrendo a elementos virtuais colocados no meio envolvente).



Figura 8 – Logótipo VisitAR

A empresa foi ainda responsável pela aplicação móvel de realidade aumentada do [Museu da Guarda](#)<sup>16</sup>, que permite aos visitantes terem acesso a conteúdos digitais relacionados com o património físico em exposição.

Trata-se, portanto, de uma empresa muito importante na modernização do campo Histórico-cultural sem comprometer a integridade dos objetos em questão. Podendo oferecer ao público opções que até ao momento não havia forma de as fornecer. “Museus ou monumentos podem ganhar vida e falar – literalmente falar – com os seus visitantes. Superpoderes como visão Raio-X, viajar no tempo e telecinesia ajudam os visitantes a perceber melhor como os objetos e espaços eram usados anteriormente”(A Realidade Aumentada no Turismo | NextReality, [s.d.]

---

<sup>14</sup> <https://nextreality.com/pt-pt/portfolio/realidade-aumentada-no-turismo/> (consultado em Outubro de 2020)

<sup>15</sup> <https://observador.pt/2016/12/23/it-people-innovation-app-visit-ar/>(Rodrigues, 2016) (consultado em Outubro de 2020)

<sup>16</sup> <https://nextreality.com/pt-pt/portfolio/realidade-aumentada-no-turismo/museu-guarda/> (consultado em Outubro de 2020)



#### 2.6.4. Caso Central Elétrica de Piešťany

Outro caso de salientar, trata-se do trabalho desenvolvido por Vladimír Hain e Roman Hajtmanek, que também trata o tópico de Património Industrial e cuja metodologia é bastante semelhante à desta dissertação. Esse trabalho teve como um dos seus objectivos a criação de um ambiente virtual que simulasse a central elétrica de Piešťany em *UnrealEngine*, através da modelação geométrica do edifício e dos equipamentos com recurso a documentos arquivados e fotogrametria de equipamentos (Figura 9).

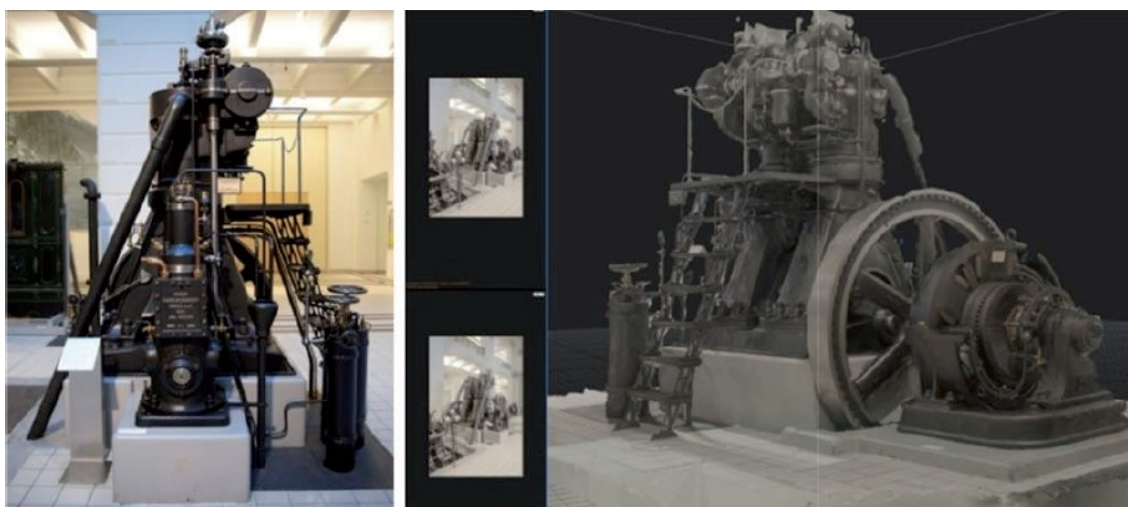


Figura 9 - Imagem de motor histórico a diesel do museu de Vienna e a sua fotogrametria (Hain e Hajtmanek, 2019)

Foi possível também criarem uma experiência imersiva da central elétrica, tornando esse ambiente virtual compatível com óculos de realidade virtual e manípulos, permitindo ter animações dos equipamentos a funcionar e o som destes, juntando ao facto de realizarem esta experiência na central elétrica original, que mantém o cheiro de petróleo e contribui ainda mais para essa ideia de imersividade. Também desenvolveram um tipo de jogo interativo com tarefas para os estudantes (Figura 10).

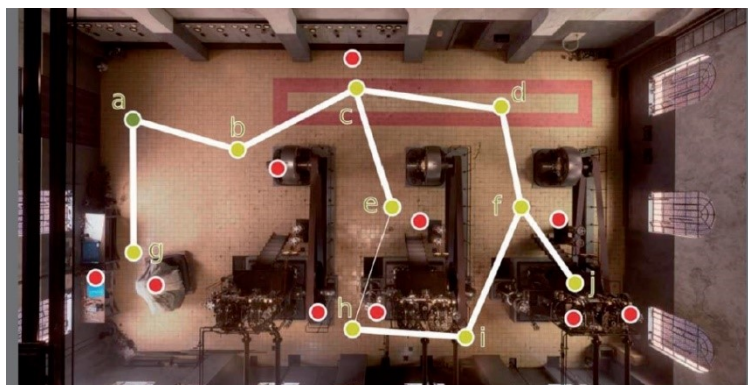


Figura 10 - Plano do jogo interativo com tarefas (Hain e Hajtmanek, 2019)

Este trabalho volta então a realçar a importância da modelação virtual de objectos históricos extintos, permitindo conservar e preservar o local e a sua história bem como dar a mostrar ao público, ajudar na compreensão de objectos históricos extintos e é um método eficaz para uma aprendizagem menos formal (Hain e Hajtmanek, 2019).





### 3. Fábrica de Pólvora de Vale de Milhaços

#### 3.1. Breve história

A [fábrica](#)<sup>17</sup> iniciou o seu funcionamento em 1896, mas em 1897 foi interrompida devido a um grave acidente que destruiu as oficinas e que foi responsável pela morte de vários operários. Em 1898 a Companhia Africana de Pólvora S.A.R.L, investiu na reconstrução da fábrica e em modelos tecnológicos mais avançados para o fabrico de pólvoras, com o objetivo de capitalizar com o comércio colonial de África.

No entanto a Companhia Africana de Pólvora S.A.R.L acabou por se dissolver e a fábrica foi comprada pelo industrial Francisco Fernandes Camello que formou a Sociedade Africana de Pólvora responsável pela gestão da fábrica entre 1922 e 2001.

A Sociedade Africana mantinha a fábrica em funcionamento conservando a implantação (Figura 11) e os sistema e processos tecnológicos que haviam sido implementados pela Companhia Africana de Pólvora. O que significa que a máquina a vapor continuava a funcionar e a fornecer a energia às oficinas de produção de pólvora, permanecendo como a parte fulcral da fábrica. Em 1998, a fábrica iniciou-se o processo de incorporação no Ecomuseu Municipal do Seixal e acabou por cessar funções em 2001.



Figura 11 – Planta esquemática do Circuito da Pólvora da FPVM

<sup>17</sup> <http://www.cm-seixal.pt/ecomuseu-municipal/fabrica-de-polvora> (consultado em Setembro de 2020)

## *3.2. Equipamentos do sistema de geração de energia*

Nesta secção irá fazer-se uma enumeração extensiva dos equipamentos e máquinas existente no edifício central da FPVM, bem como a descrição do seu funcionamento e métodos de manutenção de alguns destes elementos. Esta secção teve por base o documento de apoio “O sistema gerador de energia (caldeira a vapor e máquina a vapor) do Circuito da Pólvora Negra da antiga Fábrica da Pólvora de Vale de Milhaços. Caracterização técnica e funcional” da autoria de Graça Filipe, Fátima Sabino e Fátima Veríssimo (Filipe, Sabino e Veríssimo, 2012).

### *3.2.1. Central térmica*

O edifício central da FPVM (Figura 12) é o edifício fulcral para o funcionamento da fábrica, uma vez que é nele onde se encontram os equipamentos e as máquinas necessárias para o fornecimento de energia ao resto da fábrica.



Figura 12 – Fotografia aérea da FPVM

### 3.2.1.1 Ciclo termodinâmico

A termodinâmica é uma área da física que se foca em todos os fenômenos que envolvam energia, trabalho e calor. Neste contexto, um ciclo é uma sequência de processos cujo estado inicial é o mesmo que o estado final.

Um ciclo termodinâmico é, portanto, um conjunto de processos de transformações físicas produzidas por um sistema com o intuito de realizar trabalho e regressar ao estado inicial, de forma a que a variação das grandezas termodinâmicas sejam nulas, respeitando a lei da conservação de energia. Que é uma das características dos ciclos termodinâmicos.

Grande parte dos motores de calor operam com base nestes ciclos termodinâmicos. Existindo vários ciclos termodinâmicos que representam o funcionamento ideal de vários tipos de motor, como o ciclo de Otto, ciclo de Diesel, etc. Mas neste projeto iremos focar-nos no Ciclo de Rankine. Este traduz o funcionamento de um motor a vapor, que consiste na conversão de energia térmica em mecânica.

### 3.2.1.2 Ciclo de Rankine

Como é possível observar na imagem seguinte (Figura 13) num ciclo de Rankine um líquido sai do condensador (1), seguidamente é transportado por ação da pressão da bomba (2) até ao interior da caldeira (3) onde é então fornecida energia sob a forma de calor, depois é expandido na turbina de onde sai a energia mecânica, finalmente o fluido percorre o condensador que o arrefece e faz retornar ao estado líquido inicial. É possível observar o gráfico Temperatura-Entropia na Figura 14.

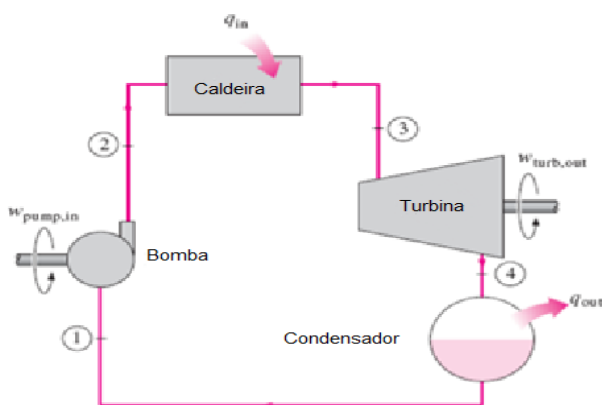


Figura 13 - Ciclo de Rankine

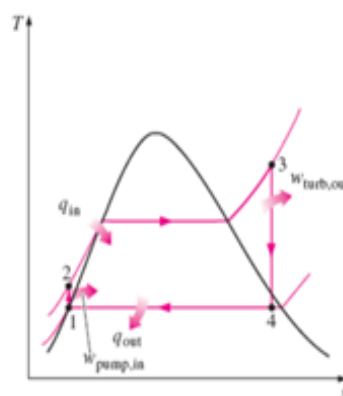


Figura 14 - Diagrama Temperatura-Entropia

No caso da máquina a vapor em estudo é possível ver que os seus componentes se podem relacionar com as diferentes partes do ciclo termodinâmico (Figura 15<sup>18</sup>), nomeadamente as caldeiras e o condensador, mas, no entanto, o papel da turbina é desempenhado pelo cilindro da máquina a vapor, que produz energia mecânica para movimentar o volante de inércia.

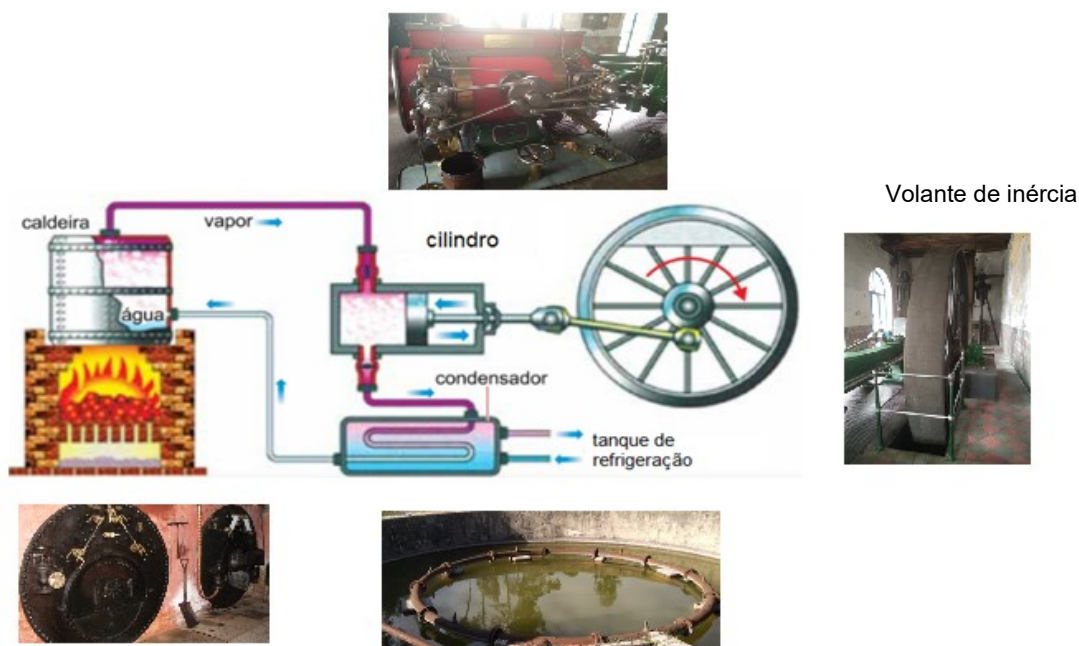


Figura 15 - Associação de equipamentos ao ciclo termodinâmico

### 3.2.2. As caldeiras e o sistema de alimentação

De acordo com o trabalho (Filipe, Sabino e Veríssimo, 2012) existem duas caldeiras que se podem encontrar na “Casa das Caldeiras”, uma da marca Pierre Dumora do ano 1898 que se encontra desativada e outra de marca João Perez de 1911. Trata-se de caldeiras cilíndricas, horizontais e do tipo Cornish (de fornalha interior), onde a combustão é alimentada a lenha. A caldeira de 1911 ainda hoje se encontra operacional, possui uma capacidade de 11450 litros e pode atingir uma temperatura de máxima de serviço de 170°C e tem como função a produção de vapor necessário para o funcionamento da máquina a vapor, que por sua vez fornecia energia às oficinas para a produção de pólvora.

<sup>18</sup> <https://www.coladaweb.com/fisica/mecanica/maquina-a-vapor>

A caldeira “Perez” é formada por dois tubos cilíndricos horizontais com 7 metros de comprimento em chapa de ferro. Na parte superior da caldeira (Figura 16) existe uma cúpula, também em chapa de ferro, ligado ao depósito de água e vapor (cilindro horizontal).



Figura 16 - Fotografia das cúpulas da parte superior das caldeiras

Esta cúpula é revestida por cimento refratário na parte exterior e eleva-se verticalmente acima da restante estrutura de proteção da caldeira, construída em tijolo. Cerca de  $\frac{2}{3}$  da capacidade total da caldeira é ocupada pela água, sendo o restante (acima do nível de água, incluindo a cúpula) ocupado pelo vapor que se vai gerando. O tubo cilíndrico mais pequeno com 105 cm de diâmetro ocupa o interior da caldeira e contém a fornalha. A fornalha (Figura 17) é composta pela grelha, pelo cinzeiro e pelo altar (também designado por muro).

A grelha é feita de barras de ferro dispostas lado a lado com espaçamento regular entre si, permitem a queda das cinzas para o cinzeiro e facilita a passagem do ar que alimenta a combustão. O cinzeiro, encontra-se na parte inferior da fornalha e onde as cinzas da lenha queimada são depositadas, além disso deixa o ar entrar para a fornalha, sendo o seu volume regulado pela porta do cinzeiro, que é utilizada como registo. O altar é um muro transversal em tijolo refratário, que encosta ao fim da grelha e se eleva um



pouco acima dela. Este impede que as cinzas e a lenha de serem arrastados pela força da entrada do ar para dentro do tubo e das condutas.

Os canais laterais entre a estrutura de tijolo que envolve o gerador de vapor e a sua superfície externa são designados por condutas de fumo e permitem a repartição dos gases quentes que saem do cilindro de pequeno diâmetro (que serão usados para o aquecimento do depósito de água e vapor) e seu redireccionamento, por baixo da caldeira, até à chaminé. Uma conduta subterrânea estabelece a ligação entre a base da chaminé e o conduto inferior da caldeira, pelo qual circulam os gases gerados na fornalha.



Figura 17 - Fotografia das fornalhas

A bomba de alimentação principal trata-se de uma bomba alternativa de duplo efeito, ou seja, bombeia a água do depósito aéreo para a caldeira através de válvulas. Ativada pela máquina a vapor, possui uma câmara em que um pistão se move no seu interior e exerce pressão sobre a água. A água é levada desde a bomba através de tubagens para a bomba centrífuga movida graças a uma correia de transmissão e à energia mecânica da máquina a vapor.

Existe ainda uma bomba de alimentação independente ou “burrinho” (Figura 18), fabricada pela Empresa Industrial Portuguesa, que se trata de uma bomba alternativa que serve de auxílio para iniciar o funcionamento da máquina.

O ciclo do vapor inicia-se com a passagem de água dos reservatórios aéreos até ao gerador de vapor. Esta passagem pode-se realizar de três maneiras distintas, por impulsão da bomba de alimentação principal, por impulsão da bomba de alimentação independente ou “burrinho” ou por gravidade, dependendo da situação específica de abastecimento de água à caldeira.

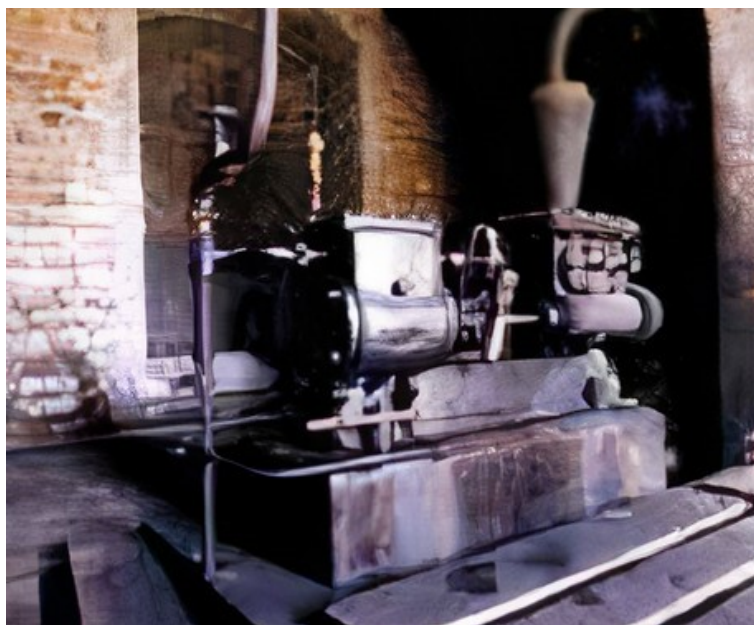


Figura 18 - Fotografia do "burrinho"

Utiliza-se a alimentação por gravidade quando se pretende encher a caldeira que se encontra vazia, isto acontece recorrentemente depois de uma limpeza ou reparação técnica da caldeira. Quando a caldeira já possui água necessária para o seu funcionamento e alguma pressão, recorre-se à impulsão através das bombas. No caso da bomba principal, o vapor produzido pela caldeira é utilizado para a ativação da máquina a vapor e devido à ligação entre a haste do êmbolo do cilindro e o veio da bomba de alimentação principal, colocam esta e a máquina a vapor em funcionamento. Já no caso da impulsão de água através da bomba de alimentação independente, ocorre quando a máquina a vapor não se encontra a funcionar. Atualmente para fins museológicos, ainda se utiliza o recurso à bomba de alimentação principal e ao abastecimento por gravidade.

Enquanto se dá o processo de combustão no interior da fornalha, os gases quentes gerados pela mesma passam pela zona do altar passando pelo interior da câmara de convecção e separam-se em dois canais, os condutos de fumo, e ao encontrarem a parede

frontal da caldeira são conduzidos até à chaminé, pela qual saem para o exterior. Os gases realizam trocas de calor com a água, aquecendo-a por contacto com as superfícies laterais e inferior do depósito de água e vapor.

### *3.2.3. Máquina a vapor*

A máquina a vapor é uma máquina térmica que utiliza a pressão do vapor de água para a geração de energia mecânica. A água é sobreaquecida na caldeira a lenha levando o vapor até uma pressão de funcionamento. O vapor por sua vez é transportado através de tubagens até ao cilindro da máquina. Este cilindro possui um sistema de válvulas de entrada e saída de vapor, que permite a expansão do mesmo, diminuindo a sua temperatura e a sua pressão, transformando assim a energia térmica em trabalho mecânico, ao realizar força sobre o êmbolo de duplo efeito que está ligado a uma haste, que com recurso ao um sistema biela-manivela promove o movimento de rotação. Enquanto a pressão no cilindro não for suficiente para colocar a máquina em funcionamento, o maquinista procede ao manuseamento manual do sistema de válvulas até que seja atingida essa pressão de funcionamento no interior do cilindro, permitindo o sistema funcionar por si próprio, sem a intervenção humana. O movimento de rotação gerado é mantido a cerca de 75 rotações por minuto (rpm) graças a um regulador de Watt cujo movimento de rotação, que por efeito centrífugo, permite estabilizar a velocidade de rotação num valor requerido, regulando a quantidade de vapor que entra no cilindro. Com a máquina em funcionamento, a haste do êmbolo comunica com o sistema biela-manivela que movimenta o volante de inércia tendo este uma dupla função de acumular energia e de retificar o movimento de rotação, minimizando flutuações na velocidade de rotação. O volante de inércia é também uma polia, pertencendo por seu lado ao sistema de transmissão de energia. Este transmite a potência gerada a um primeiro veio através de uma polia de menor diâmetro, aumentando assim a velocidade de rotação. Este sistema de transmissão é responsável pelo funcionamento do cabo em aço que percorre a fábrica e fornece energia à maioria das oficinas (Figura 19).





Figura 19 - Fotografia de uma parte do sistema de transmissão por cabos

Voltando à máquina a vapor, o vapor expandido no interior do cilindro é encaminhado para o condensador, observando-se a mistura líquido-vapor, com a passagem do vapor ao estado líquido. O líquido regressa ao reservatório de água completando-se o seu arrefecimento com o recurso a difusores ao ar livre. Do reservatório, o líquido entrará outra vez nas caldeiras através da ação de uma bomba, constituindo assim o circuito fechado de geração de energia da FPVM.

Seguidamente é apresentada uma descrição detalhada de todos os componentes que constituem a máquina a vapor da FPVM (Figura 20).



Figura 20 - Fotografia da máquina a vapor

A máquina trata-se de uma máquina a vapor francesa da marca Joseph Farcot de 1900 e com uma potência de 125 cv e a velocidade do volante de inércia de 75 rotações por minuto (rpm). A máquina é constituída por: uma caixa de distribuição de vapor, um cilindro recetor de vapor, um sistema de lubrificação, um sistema de transmissão e de regulação de movimento, um regulador de admissão de vapor e também por um condensador que pertence a um sistema de refrigeração. Devido à falta de acesso a todos estes elementos, para grande parte destes, a informação parte do que é observável e da suposição através de documentos de equipamentos semelhantes.

O **cilindro** (Figura 21), cujo papel fulcral passa por converter a energia térmica em energia mecânica, é constituído por:

- Orifícios de entrada e de saída de vapor. Canais de admissão por onde passa o vapor, localizados por baixo e nas partes laterais do cilindro, e que através das válvulas de admissão e canais de evacuação, permitem a saída do vapor não consumido;



Figura 21 - Fotografia do sistema de válvulas

- Distribuidor de concha com duplos orifícios. Tem como função a distribuição do vapor através do seu movimento ao longo do cilindro, o que permite com que o vapor entre e saia alternadamente pelos canais de admissão de vapor e ao mesmo tempo ligando estes canais aos de saída de vapor para o condensador. O fluxo de vapor que entra no cilindro é controlado por duas válvulas manuais de admissão de vapor (Figura 22) e outras duas válvulas mecânicas de admissão de vapor. O fluxo de vapor que não é consumido e, portanto, expulso para o condensador também é controlado através de duas válvulas de mecânicas de escape;



Figura 22 - Fotografia da válvula manual

- Sistema biela-manivela (Figura 23). O êmbolo realiza um movimento alternativo no interior do cilindro graças à pressão do vapor. A haste permite a transmissão do movimento retilíneo para as peças de transmissão de movimento.



Figura 23 – Vista geral de parte do mecanismo da máquina a vapor:

A) Vista pormenorizada do sistema biela-manivela; B) Vista do pormenor da comunicação da haste do êmbolo com a manivela

Do sistema de geração de energia fazem parte componentes que participam na conversão do movimento alternativo em movimento de rotação. Estes elementos são:

- Haste do êmbolo;
- Paralelogramo;
- Tirante do paralelogramo;
- Sistema Biela-Manivela;
- Volante de inércia.



O volante de inércia (Figura 24) é um componente de 4,6 metros de diâmetro composto por duas partes de ferro fundido. Para além de acumular energia e de retificar o movimento de rotação, minimizando flutuações na velocidade de rotação, a parte exterior do volante de inércia ainda age como uma polia, pertencendo por seu lado ao sistema de transmissão por correias, que transmite a sua potência a um primeiro veio através de uma polia de menor diâmetro, aumentando assim a velocidade de rotação.



Figura 24 - Fotografia do Volante de inércia

O **regulador** (Figura 25) é um aparelho formado por duas esferas de aço rotativas que se ligam a um veio vertical que roda sobre si mesmo e por dois braços cruzados. O seu movimento rotativo permite a entrada de uma quantidade específica de vapor no interior do cilindro de maneira a estabilizar a velocidade da máquina nas 75 rotações por minuto. O regulador, que segue o mesmo princípio que um regulador centrífugo criado por James Watt, encontra-se conectado à válvula que regula o fluxo do vapor e à medida que a velocidade aumenta, o veio do regulador aumenta o número de rotações e consequentemente a energia cinética das esferas aumenta. O que faz com que as esferas que se encontram ligadas aos braços se movimentem para fora e para cima contrariando

a gravidade (Figura 26). Se a abertura for suficiente grande, os braços de alavanca puxam um rolamento, que move um eixo de ligação, que por sua vez, reduz a abertura da válvula que regula o vapor, controlando a velocidade de funcionamento da máquina (Maxwell, [s.d.]).



Figura 25 - Fotografia do regulador de Watts da FPVM

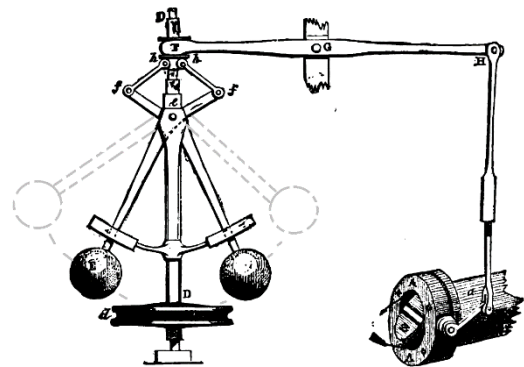


Figura 26 - Esquema de um regulador centrífugo com pormenor da representação de funcionamento (adaptado de "Discoveries & Inventions of the Nineteenth Century" de R. Routledge, 13th edition, 1900)

A lubrificação tem um papel fundamental na conservação e manutenção da máquina a vapor, havendo lubrificação em 96 pontos entre os vários componentes da máquina.

O **sistema de lubrificação** é constituído por:

- Conjunto de sete copos com regulador de gota visível (Figura 27). Os copos são compostos por tubos de vidro que contêm óleo lubrificante, que vem do depósito alimentador, e que é injetada no cilindro quando a máquina está em funcionamento;
- Depósito alimentador de óleo lubrificante. Caixa quadrangular capaz de armazenar 2,5 litros de óleo. Possui um tubo de cobre na parte exterior que permite a ligação com o conjunto dos doseadores;

- Seis copos de lubrificação externa. Copos metálicos e de vidro, controlados manualmente por manípulos e pelo qual escorre o óleo que lubrifica as diferentes peças;
- Quatro caixas lubrificadoras. Caixas de metal que possuem no seu interior uma anilha mergulhada em óleo que lubrifica os veios;
- Copo destinado à lubrificação das válvulas.



Figura 27 - Fotografia do conjunto de sete copos

O **condensador** e o tanque de refrigeração compõem o sistema de refrigeração da máquina:

- O aparelho condensador é formado por um tubo dividido internamente por uma grelha e que se encontra ligado ao cilindro e à bomba de alimentação principal através do tanque e pela válvula de alimentação. O seu papel principal é realizar por condensação direta, a condensação do vapor que não foi consumido pela máquina;
- O tanque de refrigeração é um contentor cilíndrico com uma capacidade de 35000 litros de água. Concêntrico com as paredes do tanque possui um tubo com 6 aspersores por onde é libertada a água.

### *3.3. Funcionamento da máquina*

Passando a uma breve descrição do funcionamento da máquina a vapor, é importante referir que antes de esta entrar em funcionamento o maquinista tem que realizar diversas tarefas entre as quais:

- Lubrificar o cilindro;
- Desengatar as patilhas instaladas ao lado das válvulas de admissão de vapor;
- Verificar a velocidade do regulador;
- Verificar a posição do sistema biela-manivela;
- Comunicar com o fogueiro para garantir que o gerador de vapor atingiu a pressão suficiente de 5bar na caldeira para se abrir a válvula de passagem;
- Abrir as válvulas de admissão de vapor.

A entrada de vapor na caixa do distribuidor deve-se à abertura das válvulas manuais e o vapor é então direcionado para a zona do êmbolo gerando um movimento retilíneo alternativo, que por sua vez é transmitido à biela-manivela através da haste do êmbolo, e convertido em movimento circular contínuo para o veio motor que movimenta o volante de inércia ligado ao extremo deste.

Ao mesmo tempo começa o funcionamento automático das válvulas de admissão de vapor que garantem o controlo da admissão e expulsão de vapor no cilindro.

O excêntrico que também se encontra instalado no veio motor, converte o movimento circular contínuo em movimento retilíneo alternado que ativa o funcionamento das válvulas de admissão, o que permite ao vapor proveniente da caldeira passar para o cilindro.

O maquinista tem então que realizar outros procedimentos (Figura 28), quando a máquina se encontra em funcionamento automático:

- Fechar as válvulas manuais de admissão de vapor;
- Rodar o batente do regulador até ao máximo da sua abertura, quando a máquina se encontra a 75 rpm, que se pode verificar fazendo a leitura do ponteiro de velocidade do regulador;



- Fechar as válvulas de purga instaladas ao lado do depósito alimentador de óleo lubrificante;
- Lubrificar manualmente todos os orifícios dos tirantes em pontos de fricção com almotolia;



Figura 28 - Fotografia do maquinista Sr. Francisco Moura a colocar a máquina em funcionamento

### *3.4. Refrigeração*

Uma vez que a máquina a vapor se encontre em funcionamento, a bomba centrífuga responsável pela expulsão da água para o tanque de refrigeração (Figura 29) é imediatamente acionada. A água, que é expelida por aspersores, arrefece ao entrar em contacto com o ar e em parte retorna ao condensador através da bomba do condensador. Esta circula na parte inferior do condensador e facilita o arrefecimento e a subsequente passagem para o estado líquido do vapor expulso do cilindro da máquina. Este sistema de refrigeração permite que a água de refrigeração circule em circuito fechado entre o tanque de refrigeração e o condensador (Filipe, Sabino e Veríssimo, 2012)



Figura 29 - Fotografia do tanque de refrigeração

## 4. Metodologia de Trabalho e Resultados

Tendo em conta uma forma harmoniosa para a apresentação deste documento não se separou a metodologia de trabalho da apresentação e discussão de resultados.

Para a virtualização da máquina a vapor pretende-se utilizar técnicas de engenharia mecânica e de técnicas de ambiente de jogo para desenvolver uma realidade virtual para fins museológicos e de conservação de património.

Para isso serão realizados em *Solidworks* a modelação dos equipamentos e posteriormente estas modelações são transferidas para um motor de jogo, onde se então irá proceder à criação de um espaço virtual que replique a realidade. A metodologia seguida para esta abordagem é esquematizada através do fluxograma da Figura 30.

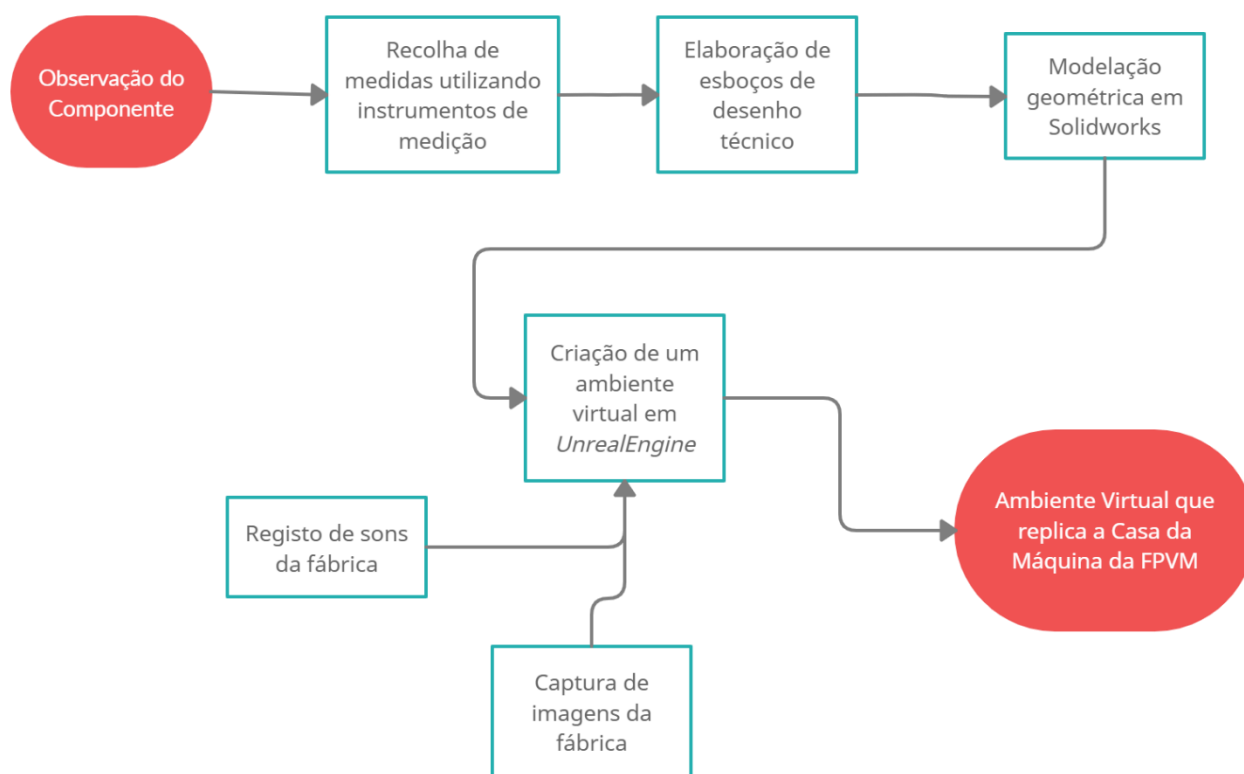


Figura 30 - Fluxograma da metodologia utilizada

## 4.1. Abordagem inicial

Como abordagem inicial ao desenvolvimento e implementação de técnicas que vão ser depois exploradas na aplicação na FPVM, foi proposto como “projeto piloto” aplicar as técnicas propostas para o trabalho tendo como objeto de estudo um equipamento do [Museu da Ciência](http://www.museudaciencia.org/)<sup>19</sup>. Este equipamento é um Polígrafo e pode ser observado na Figura 31. O Polígrafo é um elemento de pequena dimensão, quando comparado com o nosso objeto de estudo na FPVM e a sua modelação seria uma prova de conceito. Deve referir-se que parte do trabalho com o Polígrafo foi incluída numa comunicação apresentada numa conferência internacional<sup>20</sup>, “Can it work? Analytical strategies for the conservation of historical operating objects”<sup>21</sup>.

No início do trabalho, o Polígrafo foi entregue juntamente com uma ficha documental que fornecia a descrição e o estado do aparelho. A descrição fornecida era muito vaga e acabava por não servir o seu propósito. Portanto, muito pouco se sabia sobre o aparelho e como funcionava.



Figura 31 - Fotografia do polígrafo

<sup>19</sup> <http://www.museudaciencia.org/> (consultado em Setembro de 2020)

<sup>20</sup> <https://philharmoniedeparis.fr/en/activity/colloque/21277-jouer-et-actionner-les-instruments-des-collections-patrimoniales> (consultado em Outubro de 2020)

<sup>21</sup> <https://novaresearch.unl.pt/en/activities/can-it-work-analytical-strategies-for-the-conservation-of-histori> (consultado em Outubro de 2020)

Primeiramente procedeu-se à recolha de medidas com a ajuda de instrumentos de medição como régua e paquímetro para a realização de esboços de desenhos técnicos como se pode observar na Figura 32. Estes esboços foram realizados para todas as peças e as cotas indicadas nos esboços são em milímetros.

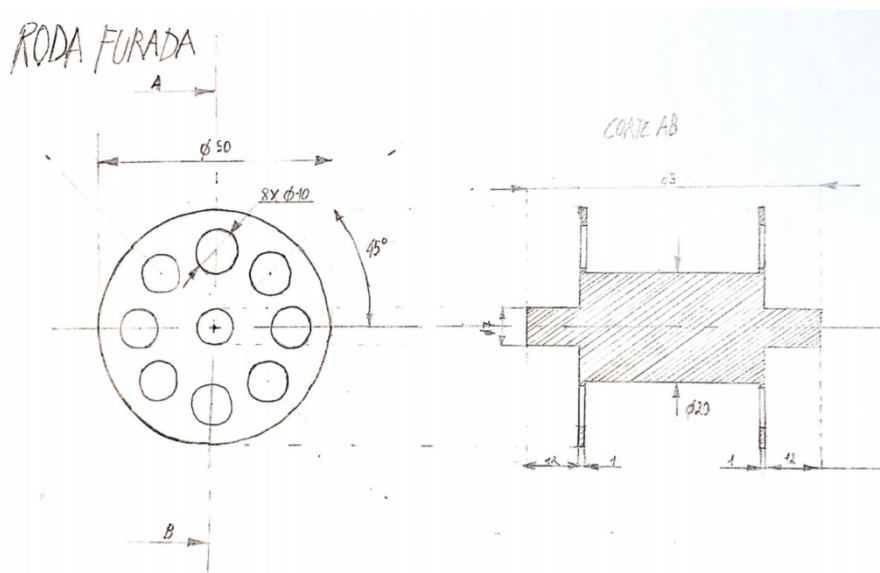


Figura 32 – Exemplo de um esboço de uma peça do polígrafo

Com a ajuda destes desenhos foi possível, modelar as peças do polígrafo em *Solidworks* (Figura 33), o procedimento foi o mesmo para todas as peças, tendo sido modeladas no total 43 peças e sendo estas agrupadas num conjunto. Os desenhos técnicos não foram realizados por não haver necessidade, pois não era esse o intuito do trabalho, contudo esses desenhos conseguem ser obtidos através do ficheiros das peças modeladas em 3D. As peças modeladas foram feitas tendo em conta como seriam se não houvesse peças em falta e como esta seria estando 100% funcional (Figura 34).

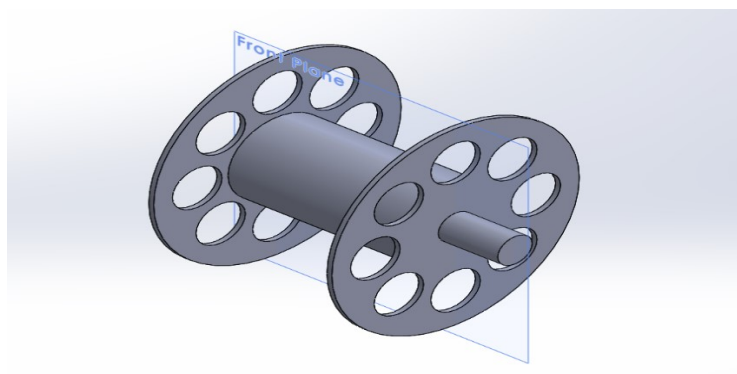


Figura 33 – Representação em perspectiva de uma peça em *Solidworks*

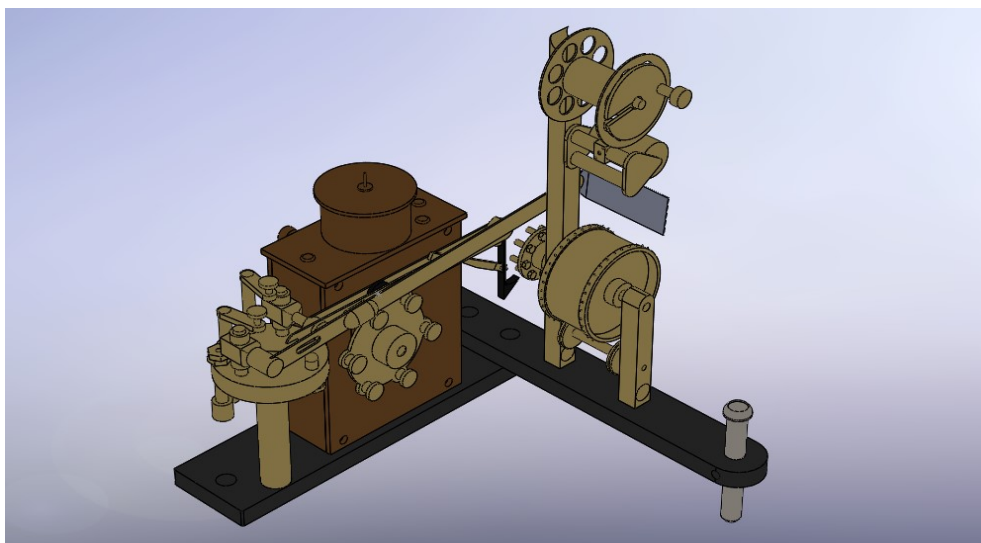


Figura 34 – Vista em perspectiva do conjunto do Polígrafo em *Solidworks*

Conferindo às peças os materiais e texturas corretas, com a ajuda do módulo de fotorrealismo do *Solidworks*, o *photoview360*, foi possível tornar a modelação mais realista e com melhor aspeto estético como se pode ver na Figura 35.

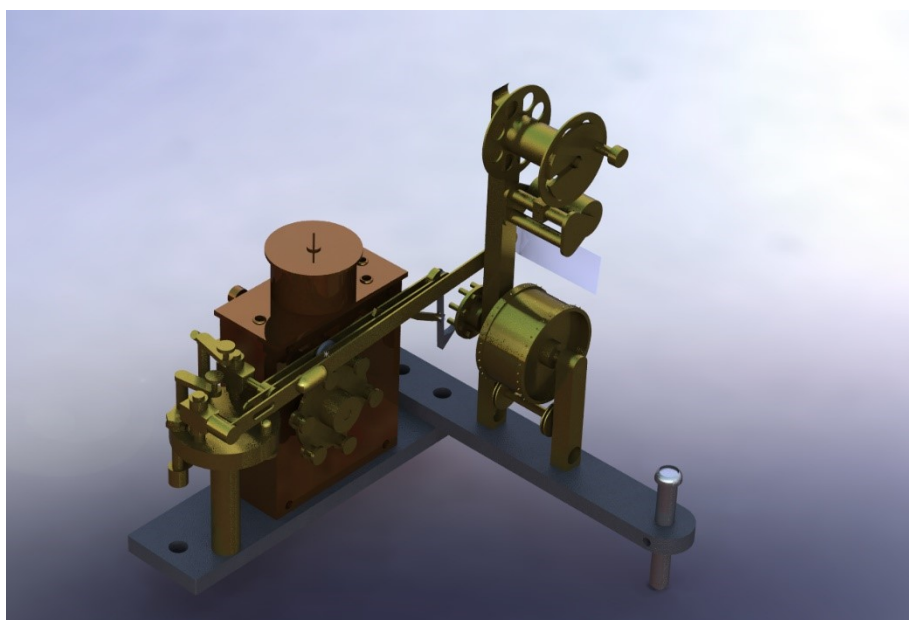


Figura 35 – Vista em perspectiva do conjunto utilizando fotorrealismo (em *Solidworks*, *PhotoView360*)

Com a modelação concluída procedeu-se à criação de uma animação que retrata o espectável movimento do aparelho. Essa animação é possível ser observada através do vídeo disponível no [endereço](#)<sup>22</sup>.

Este projeto mostrou ser possível realizar uma reconstrução digital e funcional de um aparelho de significância histórica e considerado património cultural, sem recorrer ao seu desmantelamento ou utilizar outros métodos intrusivos que possam danificar o aparelho. Permitindo a conservação e a preservação do aparelho, bem como a sua “imortalização” digital.

## 4.2. Trabalho na FPVM

Para se dar início à virtualização da FPVM ir-se-á realizar a sua modelação geométrica, transferir essa modelação para um motor de jogo e posteriormente criar um ambiente virtual.

### 4.2.1. Modelação

Terminado o projeto com o Polígrafo com sucesso, procurou-se iniciar a virtualização da máquina a vapor da FPVM, utilizando as técnicas utilizadas anteriormente. Iniciando-se, como habitual, com a recolha de medidas para a elaboração de esboços de auxílio à modelação (Figura 36).

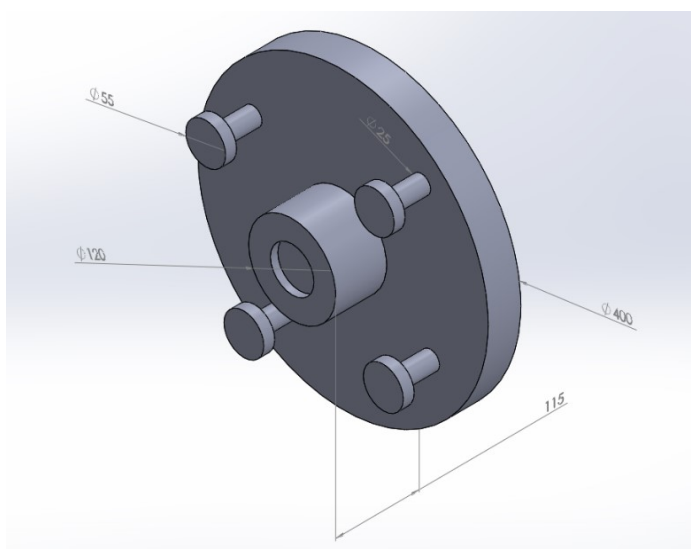


Figura 36 – Vista em perspectiva de uma peça da máquina modelada em *Solidworks*

<sup>22</sup> [https://youtu.be/pqN\\_Em0kHFk](https://youtu.be/pqN_Em0kHFk) (consultado em Outubro de 2020)



Devido às grandes dimensões da máquina a vapor, as modelações foram realizadas por partes, iniciando-se pela parte do cilindro e posteriormente para a parte do mecanismo de êmbolo. Como se pode comprovar nas figuras 37 e 38.

Devido a tratar-se de um objecto pertencente ao património industrial, não foi possível ter acesso a todas as medidas, como às do interior da máquina, por exemplo. Portanto a modelação foi feita com base nas partes visíveis da máquina e foi modelado o cilindro, o sistema de válvulas, o sistema de haste e êmbolo, o sistema de biela-manivela e o volante de inércia, no total foram modeladas quarenta e nove peças e seis conjuntos para se realizar a modelação da máquina a vapor (Figuras 39,40 e 41).

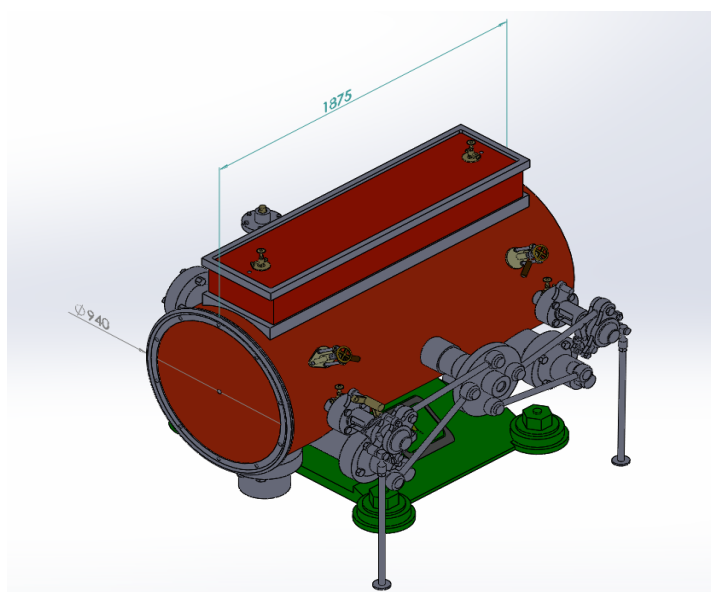


Figura 37 – Vista em perspectiva do cilindro e do sistema de válvulas da máquina em *Solidworks*

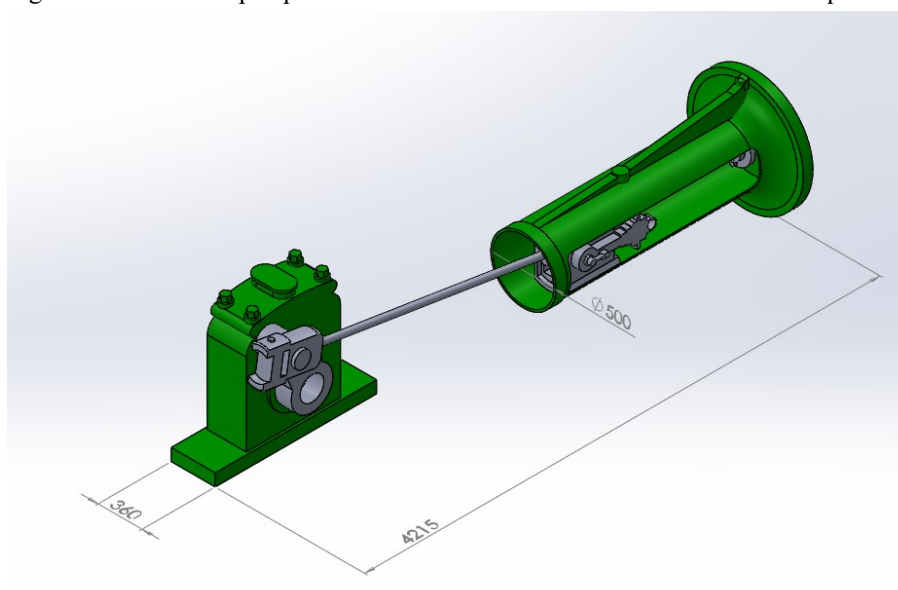


Figura 38 – Vista em perspectiva do mecanismo Haste-Êmbolo e do sistema biela-manivela



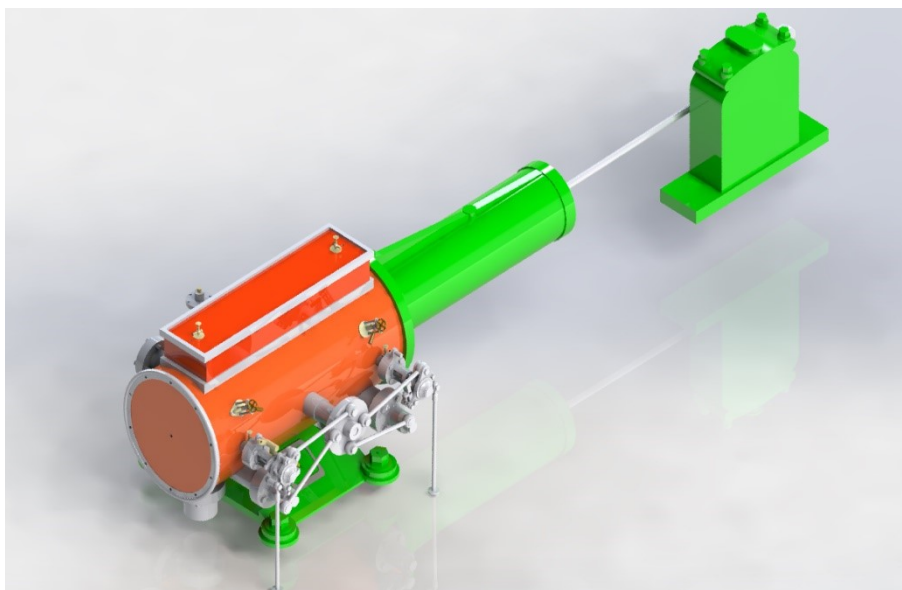


Figura 39 – Vista em perspectiva do conjunto das partes (fotorrealismo)

Concluída a modelação geométrica da máquina de vapor da FPVM em *Solidworks* os ficheiros são transferidos para um motor de jogo.

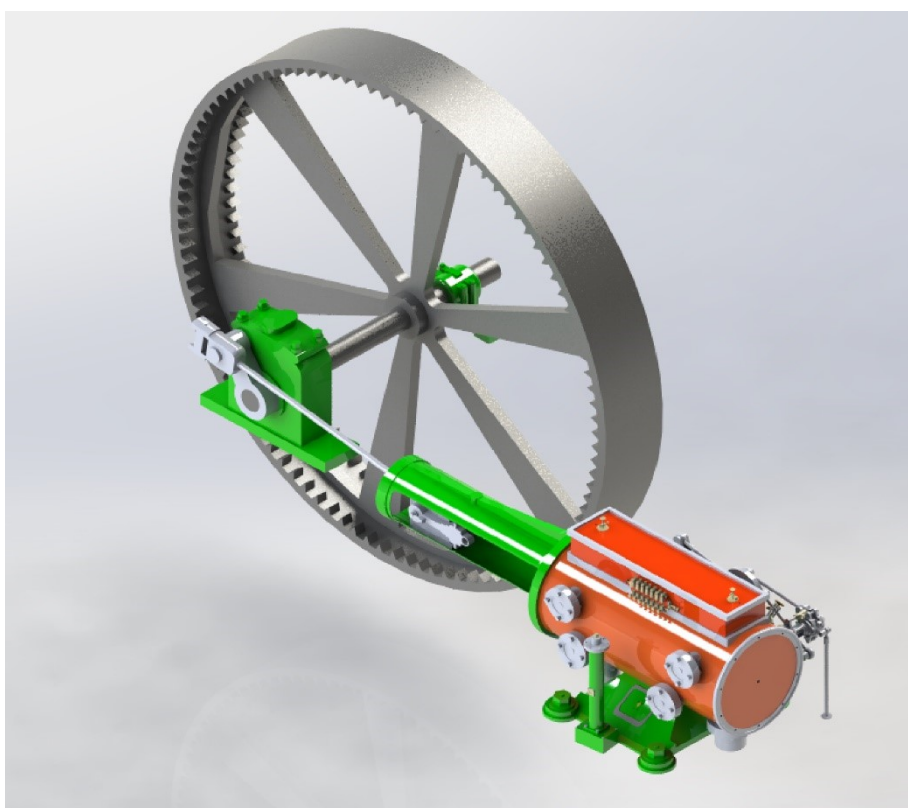


Figura 40 – Vista em perspectiva da máquina (fotorealismo)

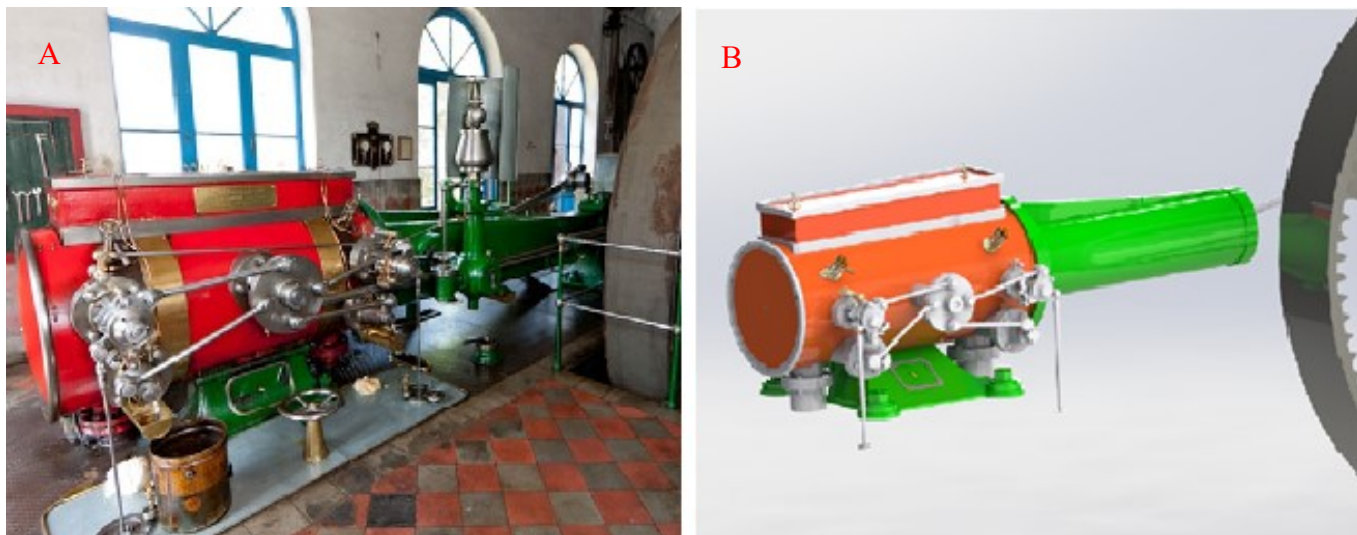


Figura 41 - Comparação fotografia com imagem *Solidworks*:

A) Fotografia máquina a vapor ; B) Vista em perspectiva da máquina em *Solidworks* (fotorrealismo)

#### 4.2.2. Motor de jogo (*Unreal Engine*)

O motor de jogo escolhido para recriar a realidade virtual foi o software ”[Unreal Engine](https://www.unrealengine.com/)<sup>23</sup>”, após alguma ponderação este foi o escolhido por possuir a ferramenta [Datasmith](https://docs.unrealengine.com/en-US/Engine/Content/Importing/Datasmith/index.html)<sup>24</sup>, que permite a transferência de alguns tipos de ficheiros, nomeadamente de *Solidworks*, diretamente para o ambiente de jogo (Figura 42).

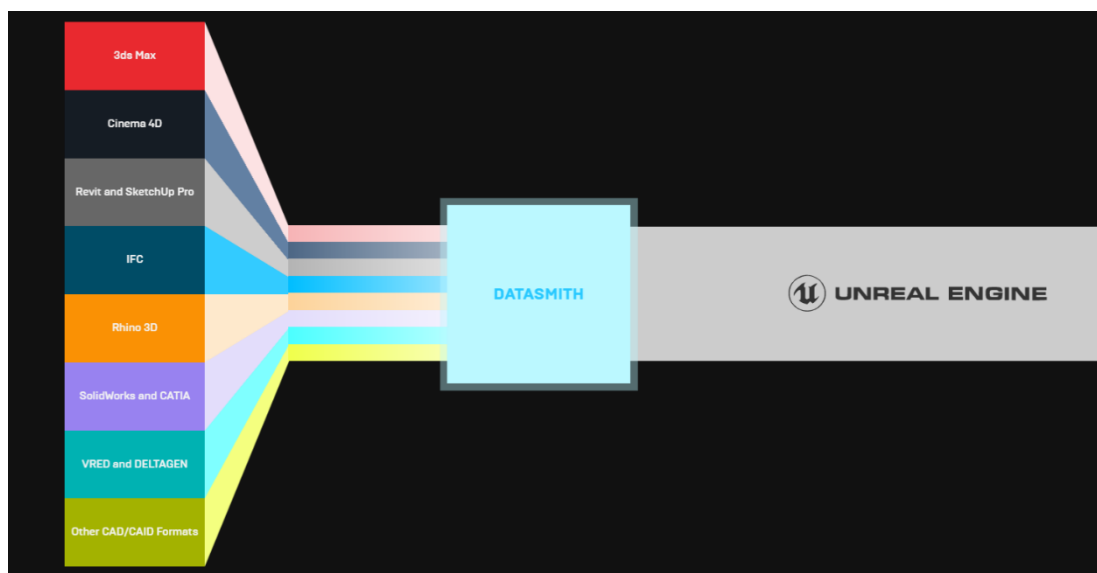


Figura 42 - Extensão *Datasmith*

<sup>23</sup> <https://www.unrealengine.com/> (consultado em Setembro de 2020)

<sup>24</sup> <https://docs.unrealengine.com/en-US/Engine/Content/Importing/Datasmith/index.html> (consultado em Setembro de 2020)

Utilizando o *Datasmith* transferiram-se os ficheiros para um software que permite a criação de videojogos. Mas uma vez transferidos os ficheiros, notou-se que todas as relações entre peças no conjunto e propriedades das peças implementadas no *Solidworks* foram apagadas (Figura 43), tendo de se atribuir a todas as peças individualmente, propriedades físicas bem como criar eixos que as unissem (Figura 44). Com a ajuda de tutoriais de *UnrealEngine* como os produzidos por [Lusiogenic](#)<sup>25</sup> e [MrFantasticGhost](#)<sup>26</sup> foi possível aos poucos ir desenvolvendo o ambiente de jogo.

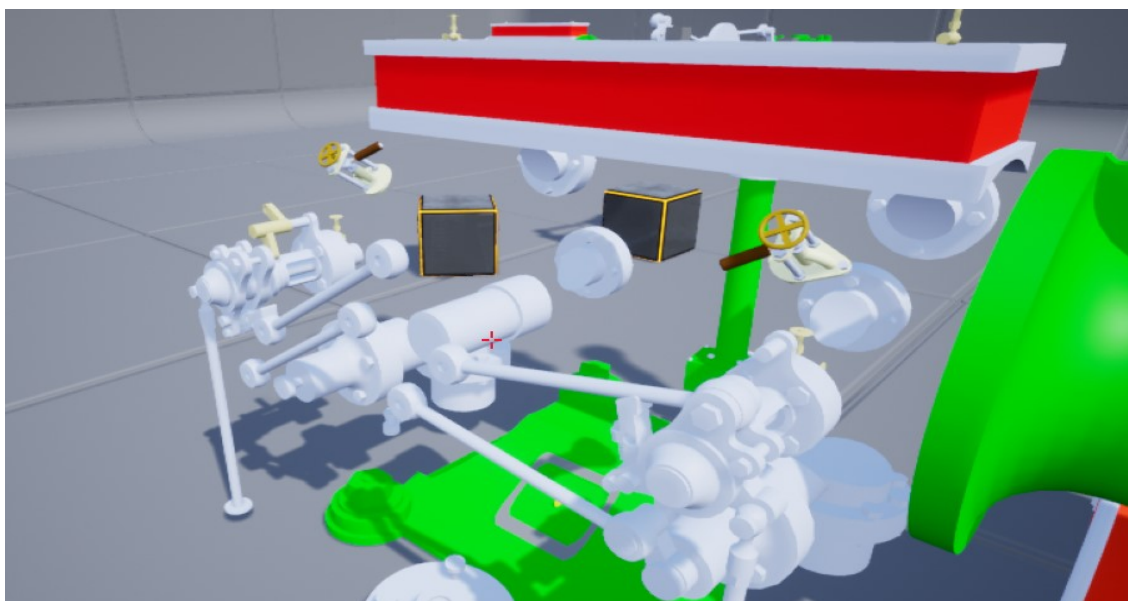


Figura 43- Peças sem propriedades físicas em *Unreal Engine*

Para uma melhor interpretação é possível observar o descrito através dos seguintes vídeos. No [1º vídeo](#)<sup>27</sup> a roda gira e trespassa o resto das peças. Enquanto que no [2º vídeo](#)<sup>28</sup> a ligação roda/haste já está implementada, mas acontece o mesmo para as restantes. O que implica que o processo teve que ser feito peça a peça.

---

<sup>25</sup> <https://www.youtube.com/c/Lusiogenic> (consultado em Outubro de 2020)

<sup>26</sup> <https://www.youtube.com/channel/UCEzysQNG2c8JwZU3zcVrxFA> (consultado em Outubro de 2020)

<sup>27</sup> <https://youtu.be/L8LrnpdkvWQ> (consultado em Outubro de 2020)

<sup>28</sup> <https://youtu.be/4YT2rLcbqbU> (consultado em Outubro de 2020)

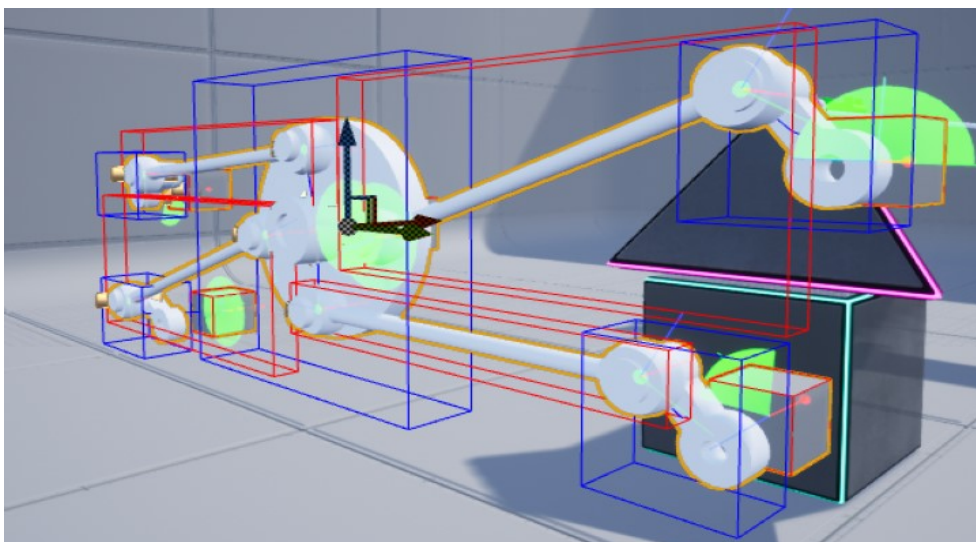


Figura 44 – Vista em perspectiva de diversos componentes em *Unreal Engine*

Um dos principais problemas a resolver era o caso de conferir ao utilizador a capacidade de visão na primeira pessoa, bem como a capacidade de interagir com os objetos. Isso foi implementado através de uma programação por diagramas de blocos, que é denominado no *Unreal Engine* por ‘blueprints’. Esta programação permite realizar uma determinada linha de comandos e possibilita ao utilizador efetuar diversas ações (agarrar objetos, pular, etc) como é possível de observar [‘neste endereço’](#)<sup>29</sup>. Os diagramas de blocos consistem no rearranjo de blocos de diferentes cores que representam diferentes coisas, no caso dos blocos vermelhos que substituem ações, os blocos azuis e verdes representam funções e cada um destes blocos possui entradas (à esquerda no bloco) e saídas (à direita) para que estes se consigam conectar entre si. A Figura 45 mostra o diagrama de blocos necessário para conferir a capacidade de saltar ao utilizador, o quadrado vermelho é a ação “carregar na tecla espaço” e encontra-se ligada aos blocos azuis que são as funções para a realização do salto.

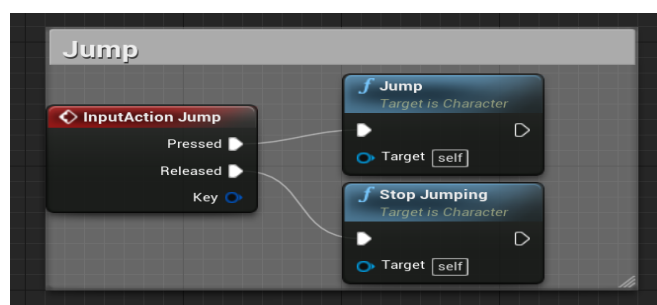


Figura 45 - Diagrama de blocos para a ação "Saltar"

<sup>29</sup> <https://youtu.be/62fobuLdAII> (consultado em Outubro de 2020)

Este [vídeo](#)<sup>30</sup> mostra como criar um diagrama de blocos que permite a interação de objetos. E é possível observar na figura 46, todos os diagramas de blocos utilizados para conferir ao utilizador as especificidades pretendidas.

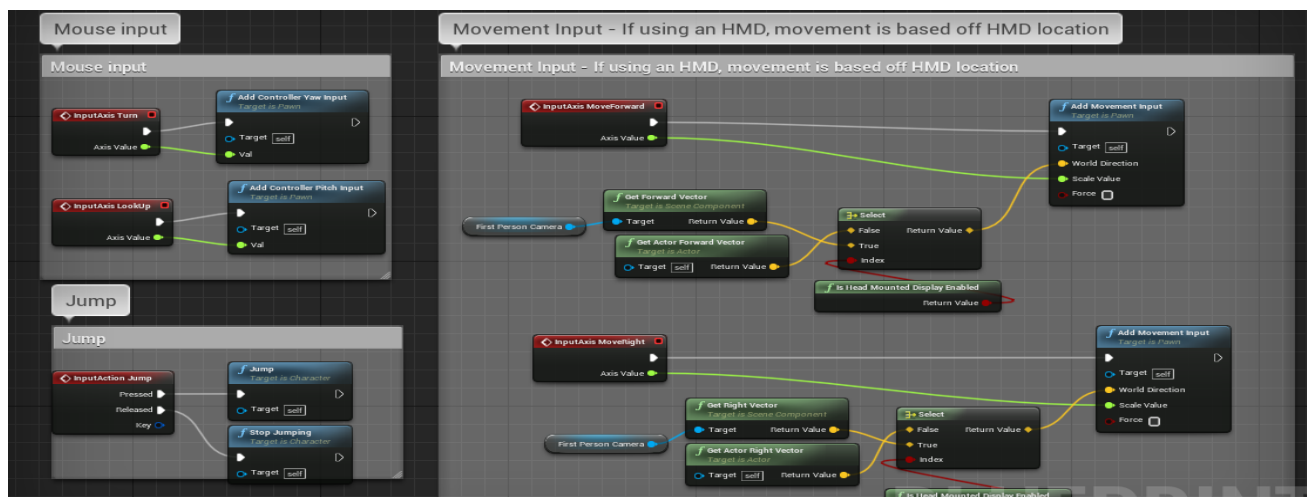


Figura 46 – Exemplo de diagrama de blocos do utilizador para programação em *UnrealEngine*

Concluídos os diagramas de blocos para o jogador, conclui-se a montagem da máquina a vapor em *UnrealEngine* (Figura 47).

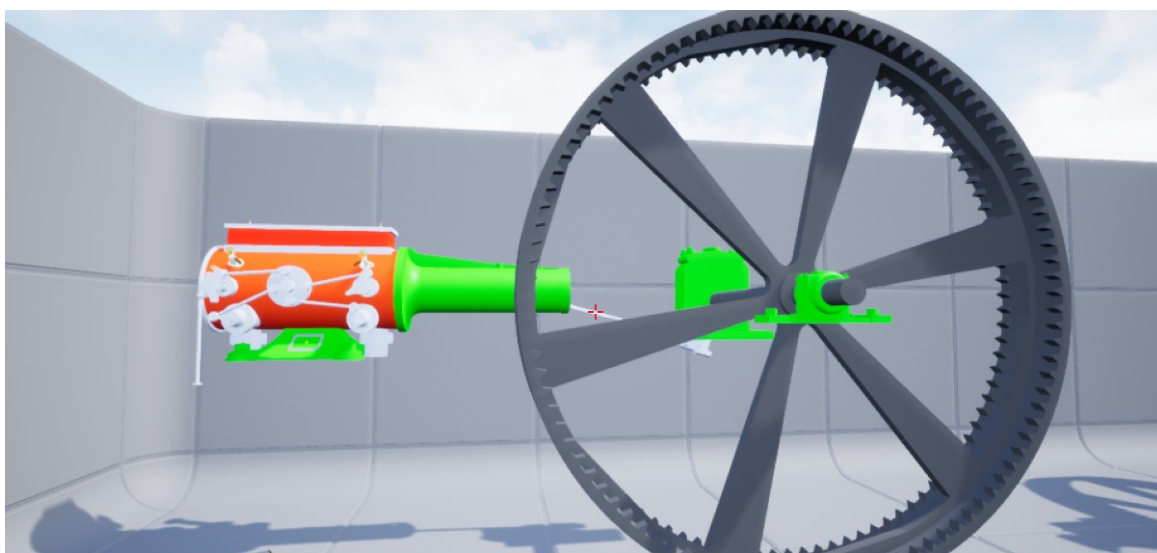


Figura 47 – Vista da máquina a vapor em *Unreal Engine*

<sup>30</sup> <https://youtu.be/DCRvBrzRuks> (consultado em Outubro de 2020)



Posteriormente foi construído um ambiente para realizar experiências como ilustrado na Figura 48, onde era realizado o desenvolvimento dos mecanismos das máquinas para confirmar que funcionavam corretamente.

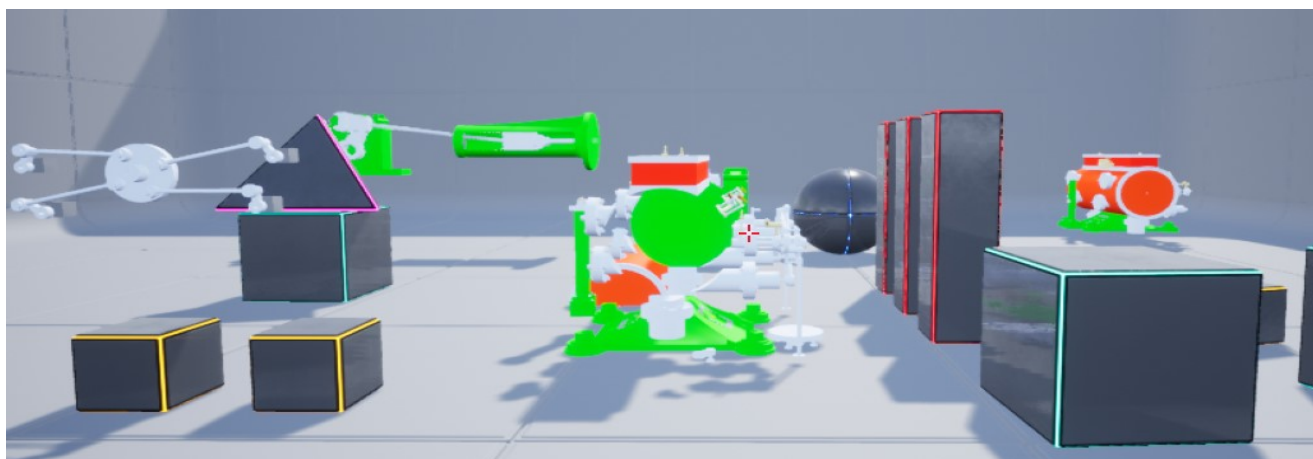
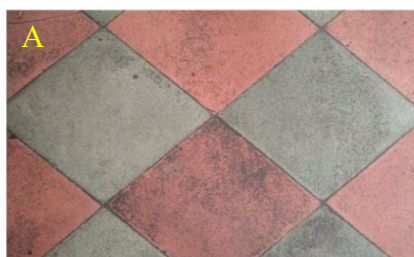
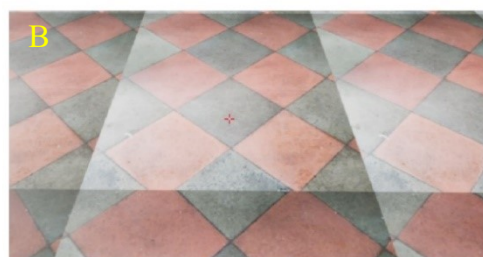


Figura 48 – Vista sobre ambiente de Teste

Concluída a modelação da máquina, procede-se à criação do ambiente de fundo, *background*, para conferir a dimensão de imersividade, atribuindo o som da máquina em funcionamento, os efeitos do vapor de água (Figura 51), criando uma réplica da “Casa da Máquina”, utilizando as ferramentas de textura, para reproduzir elementos, como os padrões do chão e das paredes, dos quadros de ferramentas e de portas (Figuras 49 e 50). O resultado final (Figura 52) pode ser visualizado através do vídeo disponível através deste [link](https://youtu.be/g3vfp2SDNFY)<sup>31</sup>



Fotografia dos painéis do chão



Repetição de padrões no Unreal Engine

Figura 49 – Detalhe do chão utilizado em ambiente de fundo:

A) Fotografia do chão da Sala da Máquina; B) Vista do chão da Sala da máquina em *UnrealEngine*

<sup>31</sup> <https://youtu.be/g3vfp2SDNFY> (consultado em Outubro de 2020)

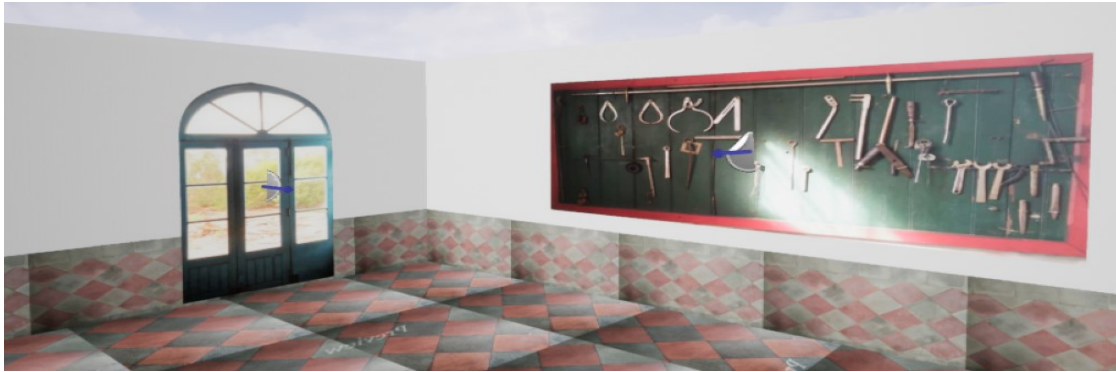


Figura 51 - Pormenor do ambiente de fundo

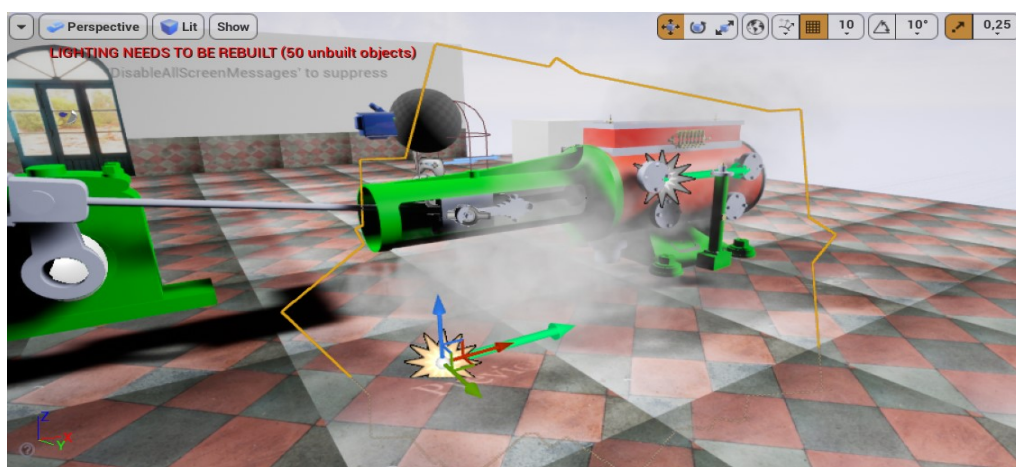


Figura 50 - Representação dos efeitos de vapor



Figura 52 – Vista de pormenor do ambiente virtual criado com destaque para a máquina de vapor e painéis de ferramentas

### 4.3. Reflexão sobre futuras aplicações desta tecnologia

A implementação de ambientes de realidade virtual e o contexto dos videojogos podem trazer um vasto leque de possibilidades para a indústria e para a museologia, não só do ponto de vista de *marketing*, pois estas tecnologias traduzem-se sempre como um chamariz para o público, mas podem também dar origem a vários tipos de visitas personalizadas ao interesse de cada visitante. Por exemplo, dar a hipótese aos visitantes de eles próprios poderem interagir com os objetos virtualmente, até escolher entre vários tipos de opções, um possível exemplo seria o de um visitante que possuía um interesse particular por saber detalhes do circuito de vapor através da máquina, com o selecionar de uma opção as peças tornavam-se translúcidas e podia-se observar as partículas de vapor a movimentarem-se no sistema de válvulas da máquina. Outro exemplo de uma possível rota de visita poderia ser o de assumir o papel de maquinista, onde após selecionada apareceria um conjunto de tarefas para realizar, como o abastecer da caldeira com lenha, o abrir e o fechar das válvulas do sistema de válvulas, etc, como é observável na figura 53.

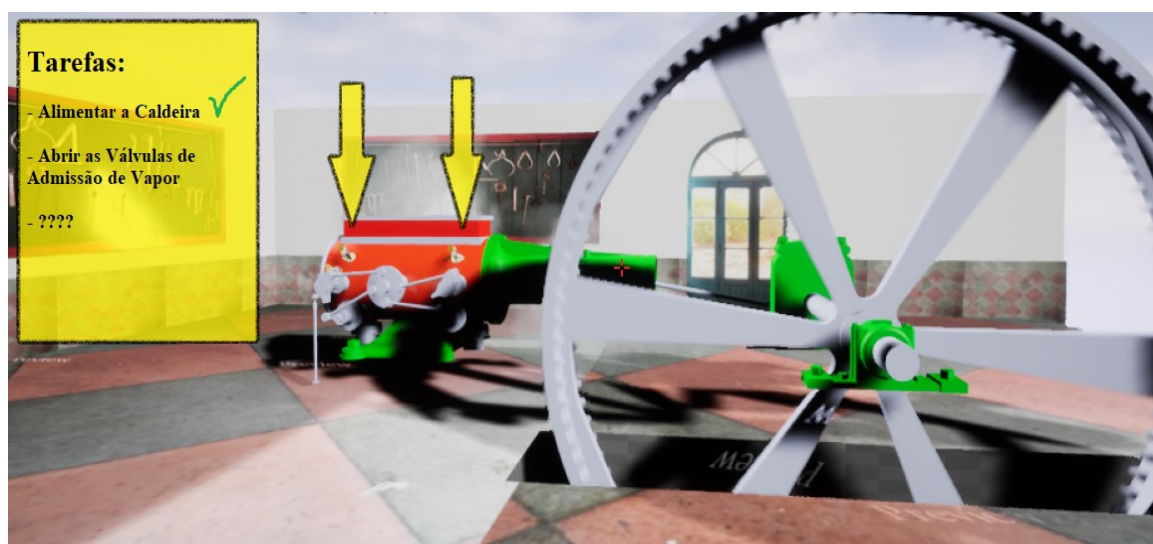


Figura 53 - Exemplo de uma possibilidade de opção no ambiente virtual

Seria possível também colocar uma visão térmica como se pode observar na Figura 54. Nesta figura apresenta-se uma imagem termográfica, obtida no âmbito do projecto IH4Future (Frederico Nogueira, 2021), através da qual é possível os visitantes se aperceberem da distribuição de temperaturas nas diversas peças e o mesmo podia ser



realizado para uma perspectiva de forças, isto é, quais as peças que estão sujeitas a maiores cargas e a sua variação com o funcionamento do equipamento. Estas visitas interativas podem vir a dar assim ao visitante a liberdade de escolher o que fazer e o que aprender, apoiando as visitas convencionais e possibilitando a criação de um suporte que promove a transmissão da informação da visita de forma mais efetiva.



Figura 54 – Imagem termográfica da máquina a vapor em funcionamento

A criação de ambientes virtuais pode também trazer benefícios para outros campos fora da museologia. Por exemplo a simulação de trabalhos de risco, ou para efeitos de formação e treino de operários de máquinas perigosas, o ambiente virtual conferiria um espaço seguro e controlado para esse tipo de atividades sem que coloque em risco essas pessoas.



## *5. Conclusão*

A conservação de património industrial possui muito por explorar e incrementar. O conceito de virtualização do património industrial é um tema ambicioso e com forte impacto social. A virtualização de um espaço real é algo que reúne inúmeras ferramentas e técnicas para a sua concretização. Neste trabalho, todas as medições foram efetuadas à mão, bem como a modelação geométrica e o ambiente virtual foram criados a partir do zero e no caso do ambiente virtual, sendo o primeiro contacto com o motor de jogo. No final foi possível obter-se um ambiente virtual que replicasse em parte a “Casa da Máquina” da FPVM, com modelação à escala, texturas adquiridas por recolha de imagens e efeitos sonoros e visuais. Todavia, ainda se pode acrescentar mais elementos ao ambiente virtual da “Casa da Máquina” que se desenvolveu, como o resto do sistema de transmissão, as oficinas, as caldeiras, enfim o resto do Circuito da Pólvora Negra. Para que se pudesse criar uma visita virtual completa à FPVM.

A área de foco desta dissertação, o Património Industrial, é uma área em que a virtualização ainda não é muito usual. Mas o tipo de virtualização que foi realizado nesta dissertação tem todo interesse e pertinência no tema da preservação e conservação de património industrial, bem como no desenvolvimento de aplicações que captem a atenção do público para museus e exposições contribuindo ainda para o enriquecimento cultural da população.

A virtualização de espaços reais não se limita na área da conservação e preservação de património industrial, pode ser ligada a inúmeros outros campos de estudo. Pois estas virtualizações de espaços reais e de equipamentos apresentam as condições perfeitas para onde se podem realizar simulações, que podem ser utilizadas na formação de pessoas para trabalhos de risco, como manutenção e operação de maquinarias pesadas.

Portanto, do trabalho realizado, são definidos alguns pontos ainda por realizar:

- A virtualização do resto da fábrica da pólvora;

- Desenvolver o ambiente virtual para que seja compatível com instrumentos de manipulação virtual, como capacete/óculos imersivos e comandos, que confirmem mais liberdade e imersão aos utilizadores;
- Desenvolver diferentes tipos de visitas temáticas, como as tarefas do maquinista, ou o percurso do vapor. Bem como os efeitos sonoros e visuais para garantir uma experiência imersiva;
- Abranger este tipo de tecnologias a outros campos de estudo, como a formação e treino de profissionais em ambientes de risco.

## *Referências Bibliográficas*

### *Websites*

**A Realidade Aumentada no Turismo | NextReality** - [Em linha] [Consult. 20 nov. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://nextreality.com/pt-pt/portfolio/realidade-aumentada-no-turismo/>>.

**CARTA DE NIZHNY TAGIL SOBRE O PATRIMÓNIO INDUSTRIAL (Obrigado APPI) PORTUGUÊS** - [Em linha], atual. 2003. [Consult. 12 out. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://ticcih.org/wp-content/uploads/2013/04/NTagilPortuguese.pdf>>.

**Congress Proceedings, Transactions, and Reports – TICCIH** - [Em linha], atual. 2014. [Consult. 13 out. 2020]. Disponível emWWW:<URL:<https://ticcih.org/congress-proceedings-transactions-and-reports/>>.

**DGPC | Cartas e Convenções Internacionais sobre Património** - [Em linha], atual. 2014. [Consult. 20 out. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/cartas-e-convencoes-internacionais-sobre-patrimonio/>>.

**Diário da República I Série – A, n.º 153. “Património Cultural Português”. Lei n.º 13/85** - [Em linha], atual. 6 jul. 1985. [Consult. 20 out. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://dre.pt/application/conteudo/182874>>.

**Diário da República I Série – A, n.o 209. “Lei de Bases do Património Cultural”. Lei n.o 107/2001** - [Em linha], atual. 8 set. 2001. [Consult. 20 nov. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://dre.pt/application/conteudo/629790>>.

**ICOMOS/TICCIH Memorandum of Understanding – TICCIH** - [Em linha], atual. 2014. [Consult. 13 out. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://ticcih.org/about/icomosticcih-memorandum-of-understanding/>>.

**Lusospace** - [Em linha] [Consult. 20 nov. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.lusospace.com/#/homepage>>.

**PASSEIOS (cá dentro): Uma visita à Fábrica da Pólvora de Vale de Milhaços – MyGuide** [Em linha] [Consult. 1 dez. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<http://myguide.iol.pt/m/blogpost?id=4971388%3ABlogPost%3A217080>>.

**Portugal produz cada vez mais tecnologia para fábricas do futuro - DV** - [Em linha], atual. 8 fev. 2020. [Consult. 20 nov. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.dinheirovivo.pt/especial/revolucao-40/portugal-produz-cada-vez-mais-tecnologia-para-fabricas-do-futuro-12779095.html>>.

## ***Bibliografia***

**A Realidade Aumentada no Turismo | NextReality** - [Em linha] [Consult. 20 nov. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://nextreality.com/pt-pt/portfolio/realidade-aumentada-no-turismo/>>.

**CARTA DE NIZHNY TAGIL SOBRE O PATRIMÓNIO INDUSTRIAL (Obrigado APPI) PORTUGUÊS** - [Em linha], atual. 2003. [Consult. 12 out. 2020].

Disponível em WWW:<URL:https://ticcih.org/wp-content/uploads/2013/04/NTagilPortuguese.pdf>.

CORDEIRO, José Manuel Lopes - O Património Industrial em Portugal. Situação atual e perspectivas de futuro. **Arqueologia Industrial**. III:1–2 (2007).

CUSTÓDIO, Jorge - The Gunpowder Factory in Vale de Milhaços. **Pedra&Cal**. 1:52 (2012) 16–18.

FILIPE, Graça; SABINO, Fátima; VERÍSSIMO, Fátima - O SISTEMA GERADOR DE ENERGIA (CALDEIRA A VAPOR E MÁQUINA A VAPOR) DO CIRCUITO DA PÓLVORA NEGRA DA ANTIGA FÁBRICA DE PÓLVORA DE VALE DE MILHAÇOS (CORROIOS, SEIXAL). CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA E FUNCIONAL. 1. 2012).

NOGUEIRA, Frederico - **Aplicação de Técnicas de Controlo de Condição no Âmbito da Conservação do Património Industrial**, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2021

HAIN, Vladimír; HAJTMANEK, Roman - Industrial Heritage Education and User Tracking in Virtual Reality. Em **Virtual Reality and Its Application in Education**, Dragan Cvetković (Ed.), IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.90679.

HUDSON, Kenneth - **Industrial Archaeology: An Introduction - 1st Edition - Kenneth Hudson**

MATOS, Ana Cardoso De; SAMPAIO, Maria Da Luz - PATRIMÓNIO INDUSTRIAL E MUSEOLOGIA EM PORTUGAL. **Museologia & Interdisciplinaridade**. 1. II:5 (2014).

MAXWELL, J. C. - **ON GOVERNORS** [Em linha] [Consult. 7 abr. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b1/On\_Governors.pdf>.

MORAIS, Rui Jorge De Sousa - **Mestrado em História e Património ramo Mediação Patrimonial Património Industrial e Museologia em Portugal-Uma Relação dialética** [Em linha] [Consult. 30 set. 2020]. Disponível em WWW:<URL:https://sigarra.up.pt/fep/pt/pub\_geral.show\_file?pi\_doc\_id=76724>.



RODRIGUES, Miguel Videira - **Realidade aumentada para promover a História e a Cultura – Observador** [Em linha], atual. 23 dez. 2016. [Consult. 20 nov. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://observador.pt/2016/12/23/it-people-innovation-app-visitar/>>.

SCHOFIELD, G., BEALE, G., SMITH, N., FELL, M., HOOK, J., HADLEY, D., MURPHY, D., RICHARDS, J. and THRESH, L. - Viking VR: Designing a Virtual Reality Experience for a Museum Em **Designing Interactive Systems Conference 2018 (DIS '18)** (2018) 805. doi: 10.1145/3196709.3196714.