

## **Alan Turing: da necessidade do cálculo, a máquina de Turing até à computação**

Pedro Ramos Brandão

Investigador da Universidade de Évora (CIDEHUS) – Professor Coordenador do ISTEC

(pedro.brandao@istec.pt)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6351-6272>

### **Resumo**

Estudo da importância de Alan Turing na Segunda Guerra Mundial, o papel decisivo no avanço da computação, a sua criação abstrata de inteligência artificial. A forma como foi tratado pelas autoridades britânicas. As teorias do seu principal opositor académico: Gödel.

**Palavras-chave:** Alan Turing, Gödel, Computação, Máquinas de Turing, Inteligência Artificial.

**Title:** ALAN TURING - From the need for computation, the Turing machine to computing

### **Abstract**

Study of the importance of Alan Turing in World War II, the decisive role in the advancement of computing, his abstract creation of artificial intelligence. The way it was handled by the British authorities. The theories of its main academic opponent: Gödel.

**Keywords:** Alan Turing, Gödel, Computing, Turing Machines, Artificial Intelligence.

### **1. Introdução**

A teoria da computação aparece por volta, de 1930, através de um grupo de jovens matemáticos em que se destacaram dois nomes: Alan Turing e Kurt Gödel.

O seu trabalho foi uma continuidade de décadas de intensivos trabalhos de investigação de outros académicos, como Leopold Kronecker, Bertrand Russel, David Hilbert, Paul Bernays e John Von Neumann. O trabalho de todos permitiu chegar aos conceitos de algoritmo computacional e procedimentos computacionais.

O trabalho desenvolvido secretamente para o Governo Inglês, durante a Segunda Guerra Mundial, por Alan Turing, permitiu-lhe obter uma aurora de heroicidade, que os outros, sem demérito dos seus trabalhos, não conseguiram alcançar.

Para o público em geral, Alan Turing foi o homem que conseguiu decifrar a máquina criptográfica sofisticada criada pelos Nazis, para manterem as suas comunicações secretas. Para alcançar este feito Alan Turing concebeu teoricamente a “máquina de Turing”, que lhe permitiu desenvolver uma máquina computacional que decifrava a famosa “Enigma”, máquina de criptografia Nazi, isto após os aliados terem conseguido capturar um desses equipamentos.

Durante os seus estudos Alan Turing criou um novo conceito, que hoje, está no topo da ciência e da tecnologia: a Inteligência Artificial.

## **2. Da necessidade do cálculo à computação**

Através de Platão, Sócrates explicou, em 300 a.C. que o espírito humano conseguia regular a vida humana e o próprio Universo, afirmando que esse conhecimento que o espírito podia ter das coisas estava dividido em vários níveis hierárquicos, sendo o primeiro de todos esses níveis o conhecimentos dos números e as diversas formas de cálculo, e defendendo mesmo que se o ser humano não soubesse calcular não poderia especular sobre o futuro. Na prática queria mostrar-nos que a evolução humana dependia da ciência e que a ciência sem o cálculo não podia evoluir. Na era moderna Bertrand Russell advoga que o cálculo é tão importante para a ciência contemporânea que muitos dos cientistas estudam, novamente, Pitágoras. Bertrand Russell vai, porém, muito mais além do que Sócrates, ao dizer-nos que as leis do Universo podem ser conceptualizadas através de expressões matemáticas e elas próprias deduzidas através do cálculo matemático. Não espanta por isso que fosse a necessidade de fazer cálculos matemáticos que levasse a humanidade a criar máquinas auxiliares para esse efeito.

As capacidades dos atuais computadores são excepcionalmente diversificadas e permite-lhes executar todos os tipos de cálculo, desde produtos de matrizes, sistemas algébricos, equações, funções, equações diferenciais, análises estatísticas, integrais, entre outros. Conseguem, por exemplo, calcular a trajetória de naves espaciais e de todo o tráfego aéreo do planeta, o que seria impossível pelos métodos tradicionais. Os atuais computadores levam menos de 30 minutos a calcular mais de um milhão de casas decimais do valor de  $\pi$ . Este tipo de cálculo é inclusive utilizado para medir a velocidade de processamento dos processadores computacionais. Obviamente, os computadores de hoje são muito mais do que máquinas de fazer cálculos. Mas são oriundos, no que diz respeito à sua génese de simples máquinas mecânicas de fazer cálculos. Esta história, que tem origem nas máquinas de cálculo até aos computadores é uma das grandes revoluções da Humanidade, tal como o foi a descoberta da produção de fogo. Foi uma revolução que passou por muitas etapas, todas elas por norma bastante criativas e significativas.

## O cálculo mecânico

Nos séculos XV e XVI, a Europa ainda vivia sob uma estrutura mental advinda da Idade Média, em que o dogmatismo prevalecia. É um facto que as mentalidades começaram a mudar drasticamente com o Renascimento. Mas o clima castrador por parte da Igreja Católica em relação à ciência ainda tinha grande influência. A igreja impunha que a ciência estivesse em estrito acordo com os dogmas defendidos pelo Vaticano. Além disto, devemos considerar as populares crenças na superstição e o poderoso jugo da Inquisição, jugo quase sempre mortal em relação a quem propunha novas ideias no saber e na ciência.

Por volta de 1630, Galilei Galilei foi obrigado a retratar-se em relação às suas ideias e confinado a prisão domiciliária, e caso não tivesse poderosos amigos no campo político seria uma devoradora fogueira que o esperaria. O astrónomo Kepler teve de passar por caso idêntico e defender acerrimamente as suas teorias perante um tribunal da Inquisição, 1618. Nesta era a Igreja Católica Apostólica Romana considerava o cálculo perverso porque punha em causa os invioláveis segredos sagrados.

Podemos encontrar vestígios importantes de máquinas de cálculo pseudo-computadores no período do Renascimento. Coincidindo com a revolução das ciências neste importante período. Desenvolvido pelas necessidades criadas pelo desenvolvimento das ciências da astronomia e das novas tecnologias. Os cálculos tornaram-se mais necessário e ao mesmo tempo mais complexos, os cientistas necessitavam de assistentes artificiais. Um destes exemplos foi a máquina de Napier (1570) que consistia num mecanismo com rodas que cruzavam dados, torando-o famoso por ter descoberto os logaritmos.

Contudo o trabalho destes heróis da ciência, mesmo que castrados intelectualmente pela Igreja Católica, não ficaram esquecidos, foram a semente motriz para outros cientistas posteriores. Como foi o caso de Isaac Newton que começou os seus estudos com a análise dos trabalhos de Galileu, o que pode ser facilmente constado na sua obra *Philosophie Naturalis Principia Mathematica*. Nas suas famosas Leis do Movimento Newton desenvolve um framework baseado no cálculo integral e diferencial.

No século XVI e XVII vamos encontrar um conjunto de homens que dedicaram a sua vida à ciência e ao desenvolvimento do cálculo, todos eles, produto do Renascimento, explicitamos alguns dos mais relevantes:

- Jacob Bernoulli (1654-1705), desenvolveram soluções para problemas dinâmicos a partir da teoria matemática;
- Pierre Varignon (1654-1722), explicou e explicitou soluções para a força num momento num ponto específico, através de teoremas matemáticos;
- Leonhard Euler (1707-1783), desenvolveu a teoria dos mecanismos em movimento e a Teoria da Continuidade;
- Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783), demonstrou que os problemas da dinâmica podem ser explicitados como problemas estatísticos, ficou conhecido como o Tratado da Dinâmica;
- Louis de Lagrange (1736-1813), que sintetizou num elemento um sistema de equações, baseado num princípio geral.

Estavam criadas as condições para se desenvolverem princípios e mecanismos mais sofisticados para efeitos de cálculo complexo.

Blaise Pascal construiu, em 1642 o primeiro mecanismo aritmético, tendo ficado conhecido como o “Pascaline”. Este mecanismo ficou conhecido pela sua fácil transportabilidade. O sucesso deste matemático demonstrou e incentivou muitos matemáticos e cientistas por todo o mundo a desenvolverem mecanismos com os mesmos propósitos.

Leibniz, em 1673, concebeu uma máquina de cálculo, portátil, capaz de executar as quatro principais operações aritméticas: soma, subtração, divisão e multiplicação. Baseado nos princípios deste mecanismo Charles-xavier Thomas aperfeiçoou esta máquina, em 1820. Inventando uma verdadeira máquina de calcular, tendo ficado conhecida como o “Arithmometer”. Esta máquina marca definitivamente uma nova fase na história do cálculo mecânico. E foi a primeira máquina de calcular a ser comercializada num mercado aberto.

Em 1882, Tchebisshev inventou uma calculadora, inovadora devido ao seu mecanismo de engrenagem epicicloidial para transportar números, deslocando o mecanismo durante a multiplicação, possibilitando que estas operações se tornassem totalmente automáticas.

### **O início dos interfaces sofisticados**

O seguinte grande momento de evolução nos mecanismos de cálculo foi quando se criou um outro mecanismo completar, mecanismos esses que permitiam ao utilizador pressionar teclas, cada uma equivalente a um número. A primeira patente registada (que se conheça) deste tipo de mecanismo foi feita pelo inglês William Pety, em (1647), desenvolvido por Henry Mill, em 1701. Em 1802, William Burt inventou uma máquina que disponha de um teclado com números e letras, conhecido pelo nome de “Typographer”. A verdadeira máquina de calcular, como a conhecemos hoje, foi inventada pelo americano David Parmalee, em 1849, que integrava a cem por cento um teclado.

O período entre 1855 e 1893, foi decisivo para o desenvolvimento destes mecanismos precursores dos computadores. Destacando o Norte-americano, William Burroughs, que inventou e aperfeiçoou uma máquina de calcular totalmente automática com teclado e impressora. Esta solução foi totalmente aperfeiçoada por Dorr Felt (1887) que resolveu definitivamente os problemas da impressão do cálculo executado pelos mecanismos.

### **A complexidade dos mecanismos de cálculo**

Em 1888, Frenchman Bollé, eleva o patamar da sofisticação. O seu mecanismo executava cálculo complexo de forma correta e rapidamente. Conseguindo fazer cálculos de raízes quadradas. Foi aperfeiçoado por Otto Steiger, em 1892, que para a época construiu a mais compacta máquina de cálculo já construída até aquela data.

Este mecanismo continuou a ser aperfeiçoado e a ser mais compactado por outros inventores, como por exemplo, Curt Herzstark que inventou a “Curta”, máquina de calcular extremamente portátil e excepcionalmente funcional. Teve um enorme sucesso comercial, foi usada até cerca de 1970.

Com a descoberta dos condensadores elétricos, por Petrus Van Musschenbroek, em dá-se mais um passo evolutivo nestas máquinas. Uma outra descoberta, depois associada a esta, vai permitir avanços ainda mais significativos, falamos da descoberta em que a força entre duas cargas elétricas varia inversamente em relação ao quadrado da distância entre elas, tornou-se na Lei de Charles Augustin de Coulomb. A teoria matemática da eletrostática contribuiu decisivamente para o desenvolvimento de mecanismos sofisticados de cálculo e computação, na área destas teorias temos de realçar o nome de Pierre-Simon de Laplace e de Karl Gauss. Por último, em 1799, Alessandro Volta inventou a “pilha elétrica”, cujo impacto na possibilidade de ter mecanismos de cálculo portáteis com alimentação autónoma é do conhecimento de todos.

Michael Faraday fez grandes avanços nos problemas do armazenamento da energia elétrica e na área do magnetismo.

### **Mecanismo de cálculo elétrico**

Thomas Edison (1847-1931), demonstrou o funcionamento prático da transformação da energia elétrica num outro tipo de energia, indiretamente criava também, a possibilidade do funcionamento de complexas máquinas poderem trabalhar com energia elétrica direta e sem o requisito de mecanismos mecânicos de execução. Assim em 1901, o Norte-americano Thomas Cahill inventou a primeira máquina de escrever elétrica. A partir de 1890, desenvolvem-se inúmeras máquinas de calcular de execução automática alimentadas a energia elétrica.

Mas verdadeiramente, a real história do início das máquinas de calcular começa em 1831, quando Joseph Henry (1797-1878), inventou o *relay* eletromecânico. Trata-se de uma haste de metal móvel montada num suporte vertical, entre as extremidades de uma roda em ferradura de aço onde era enrolado um fio elétrico isolado, criando assim um eletroímã. Quando uma corrente elétrica passava através da bobina, o fim da haste era atraído pelo eletromagnete e retornava à sua posição inicial quando a corrente tinha sido interrompida. Em 1833, Michael Faraday demonstra que um magnete pode exercer uma força numa corrente elétrica. Tudo isto deu origem à criação de interruptores que vieram a ser utilizados nos mecanismos de cálculo e nos computadores.

Foi só em 1914, que se criou a primeira máquina de escrever que incorporava uma máquina de cálculo (o que já nos faz pensar nas bases dos computadores atuais), tratou-se da “Astra” criada por Leonardo Torres y Quevedo. O grande passo tinha sido finalmente dado!

### **A computação analógica**

Em 1965, Verroust define os princípios do cálculo analógico “*Analogue calculators are devices in which the variables occurring in the problem to be solved are represented by continuously-variable physical quantities whose values are constrained by the device so as to obey the same mathematical or physical laws as in the problem to be solved*”. Ou seja criou o princípio de que um mecanismo analógico trabalha em termos de uma magnitude física contínua.

Em 1925, Vannevar Bush, do MIT, desenvolveu um mecanismo analógico de cálculos baseado em rodas integradas, as variáveis eram representadas por rotações das rodas, funcionando através de motores elétricos.

Esta ideia foi desenvolvida e aperfeiçoada por outros cientistas, mas também por empresas, como por exemplo a Bell Laboratories que construiu o famoso M-9. Secretamente os alemães utilizaram estes dispositivos de cálculos, durante a Segunda Guerra Mundial, nas bombas voadoras (como se chamavam na altura) V-1 e V-2.

As principais vantagens das máquinas de cálculo analógicas eram as seguintes:

- ser capaz de resolver um determinado problema numericamente, mesmo sem a capacidade de encontrar uma solução matemática formal,
- ser capaz de resolver até mesmo um problema muito complexo num período de tempo relativamente curto,
- poder, num curto período de tempo, explorar as consequências de uma ampla gama de configurações diferenciais hipotéticas do problema que está sendo simulado,
- o fato técnico de que, nessas máquinas, as informações serem transmitidas entre os componentes, a taxas muito elevadas.

Desde 1970, os mecanismos elétricos sofreram uma enorme evolução, devido à utilização dos circuitos integrados, abrindo caminho aos computadores digitais.

### **A computação digital**

É uma bordagem tecnológica totalmente diferente da analógica. Permite maior eficiência e redução de custos.

Os computadores de hoje são todos digitais e têm as seguintes vantagens:

- realização de operações sobre informações armazenadas na memória interna,
- dar resultados de precisão arbitrária, sem necessidade de reserva sobre interpretação,
- realização de análises mais complexas,
- resolver, dentro dos limites da capacidade de cada máquina individual, todo tipo de problemas, que pode ser expresso de acordo com um processo definido pela inteligência humana - o algoritmo.

### **Processamento artificial para estatística**

Uma das primeiras aplicações práticas dos sistemas de cartões perfurados para o processamento de informações artificiais foi em uma máquina especialmente concebida para os Estados Unidos, no final do século XIX, por R. Ligonnière, esta invenção crucial foi para incorporar a fita perfurada como elemento-chave. É uma invenção que, na altura, revolucionou as disciplinas de estatística, contabilidade e gestão empresarial, e desencadeou avanços substanciais na tecnologia e indústria.

Contudo já em 1884, Herman Hollerith inventou uma máquina para estatística capaz de contar unidades elétricas através do sistema de cartões perfurados.

### **O cálculo analítico**

Konrad Zuse, entre 1936 e 1939, faz enormes desenvolvimentos na construção de calculadoras analíticas com mecanismos binários. Criando a Z1 e Z2, destinadas a resolver equações algébricas. Com a criação da sua Z4, em 1944, já numa versão totalmente eletromecânica, a sua máquina consegue executar quase todas as operações matemáticas, com a novidade de processar as operações, de forma continuada, uma após outra a partir do resultado da anterior.

Mera curiosidade, Hitler nunca mostrou qualquer interesse pelas máquinas de Zuse.

### **A computação**

Foram os Bell Labs a estabelecer os conceitos básicos para a computação tal como a conhecemos hoje, e princípios estes que mais tarde vieram a ser utilizados nos computadores que utilizamos, e que foram um instrumento para o desenvolvimento das máquinas de Turing.

### **O Britânico Colossus**

Tratou-se do primeiro computador completo de cripto análise elétrico. Foi desenvolvido em Bletchley Park, escola operacional de códigos, cifras e decifragem durante a Segunda Guerra Mundial, onde trabalhou Turing.

Este computador foi construído em 1943, em total secretismo militar. Era totalmente eletrónico, analiticamente binário, desenhado especificamente para resolver problemas lógicos, para permitir obter chaves criptográficas de textos encriptados. Com a “aquisição” de uma máquina Enigma alemã, e seu estudo em Bletchley park, as operações do Colossus tornaram-se mais sofisticadas. Contudo o Governo Britânico sempre manteve a essência destas operações e respetivos dados técnicos totalmente secretos, mesmo após o fim da Segunda Guerra Mundial. Este secretismo foi obrigatório para quem trabalhou em Bletchley, mesmo depois de desativadas as operações neste local. Muito do que sabemos hoje em dia devemos-lo a Alan Turing, o seu heroísmo tornou-se público e com ele vieram informações técnicas preciosas.

## **3. Alan Turing – uma mente brilhante do século XX**

Alan Turing foi um matemático inglês pioneiro na computação e considerado o pai da Ciência dos Computadores. Ficou conhecido por ter decifrado o principal código NAZI durante a Segunda Guerra Mundial, foi também um inventor na área dos computadores. Inventou a denominada “Máquina de Turing” capaz de fazer qualquer coisa para que fosse programada. Devido à decifração dos códigos das mensagens de comunicação dos NAZIS salvou milhares de pessoas, porque os comboios navais aliados que navegavam pelo Atlântico Norte eram avisados antecipadamente da posição dos submarinos alemães, e ao mesmo tempo permitia a interceção pela marinha e força área dessas terríveis forças navais NAZIS. Desenvolveu trabalhos na área da matemática, lógica, computação, biologia e filosofia, foi o primeiro a abordar de forma estruturada a inteligência artificial.

### **A vida**

A mãe de Turing, Sara Stoney, advinha de uma família de engenheiros e cientistas, facto que não foi aleatório no destino deste homem. O seu pai Julius era um alto funcionário do Estado e serviu nos serviços civis na Índia. Alan Turing nasceu a 23 de Junho de 1912.

A sua primeira escola foi Hazelhurst perto de Tunbridge Wells. Aos catorze anos mudou-se para Sherborne School em Dorset.

Possivelmente cometeu suicídio devido à pressão social que sofria por ter assumido publicamente a sua homossexualidade. Tendo os tribunais ingleses da época proferido uma dura e desumana sentença.

Em 2009, o Primeiro Ministro Britânico, Gordon Brown, pediu desculpa, em nome do Estado Britânico, pelo tratamento a que Turing foi sujeito, proferindo as seguintes palavras: “While Turing was dealt with under the law of the time, and we can’t put the clock back, his treatment was of course utterly unfair, and I am pleased to have the chance to say how deeply sorry I and we all are for what happened to him”.

Em 2013, Turing viu concedido pela rainha Isabel II um perdão oficial em nome do reino. Os trabalhos desenvolvidos por Turing permitem-me neste momento estar a escrever este texto em formato digital num computador pessoal.

### **Bletchley Park**

Em 1938, Alastair Denniston era o diretor da escola de cifragem e códigos (GC&CS). O seu grande objetivo era considerado uma emergência nacional, encontrar matemáticos que conseguissem quebrar os códigos cifrados das comunicações alemãs. A sua sede de trabalho era em Bletchley Park. O nome de Alan Turing entra para a lista de matemáticos a recrutar por Denniston. A 4 de setembro de 1939, Alan Turing recebe um telefonema de Bletchley Park, para se apresentar ao trabalho. Durante os anos seguintes Turing esteve cem por cento empenhado, em exclusividade, a desenvolver um mecanismo de inteligência artificial que permitisse quebrar os códigos NAZIS. Só em 1970, veio a público o envolvimento de Turing com Bletchley Park e o papel crucial dos seus trabalhos no desenrolar da Segunda Guerra Mundial, bem como, talvez na antecipação do seu fim.

### **Manchester**

Depois da Segunda Guerra Mundial Alan Turing esteve envolvido num projeto patrocinado pelo Governo Inglês, para a construção de um computador. Trabalhou no National Physical Laboratory (NPL), contudo não estava satisfeito por estar afastado do mundo universitário.

Quando Max Newman o convidou para ir trabalhar em Manchester viu este convite como a única possibilidade de voltar ao meio académico. Teve como principal trabalho o desenvolvimento de um laboratório, em Manchester, para investigação na área computacional. Desenvolveu os primeiros computadores que conseguiram resolver problemas aritméticos complexos. Do ponto de vista intelectual Manchester foi o expoente máximo para a sua carreira académica e liberdade de criação.

### **A genialidade**

É inquestionável que a grande obra prima de Turing foi a construção da “Máquina de Turing”, em 1936, um dispositivo teórico que representava a mecanização dos processos matemáticos. No mesmo ano, faz uma outra surpreendente proposta, não o que podia ser feito através da matemática, mas aquilo que não podia ser feito. Em 1931. Gödel através de um teorema demonstrou que existem limites para aquilo que pode ser provado através da matemática. Alan Turing quis descobrir quais era esses limites e se de facto existiam.

A “Máquina de Turing”, tudo o que tinha era conceptualmente novo: podia ser programada, podia ser emulada, podia reprogramar-se. Inquestionavelmente tudo aquilo com que trabalhamos hoje em dia na computação: sistemas operativos, virtualização, inteligência artificial!

Em 1943 Warren McCulloch escreveu um paper sobre redes neurais, utilizando as ideias de Turing, John Von Neumann leu este artigo e propôs de imediato através de um artigo como deveria ser a pratica para construir um programa que fosse executado nas máquinas idealizadas por Turing.

### **A máquina Enigma**

As origens da máquina Enigma advêm da própria Segunda Guerra Mundial. Por volta de 1920, os militares alemães utilizavam uma máquina criada por Hugo Koch, a fim de codificarem as suas mensagens. Em 1923, a empresa Chiffrienmaschinen exibiu num congresso em Viena uma máquina de encriptar com teclado e visionamento de mensagens. Esta máquina foi apelidada de “Enigma”, devido à dificuldade em quebrar os seus códigos e sua complexidade matemática. Mais tarde este viria a ser um dos alvos da vida de Turing.

Em 1925, a armada alemã decidiu utilizar em massa este tipo de máquina, mas já numa versão melhorada e mais sofisticada.

De forma simples podemos dizer que a Enigma realiza diferentes substituições de letra-a-letra em texto simples, produzindo o que foi chamado de “texto cifrado”. O texto cifrado era apresentado como um conjunto aleatória de letras - embora na verdade estivesse longe de ser verdadeiramente aleatória.

A Enigma era uma máquina “offline”, no sentido de que servia apenas para cifrar e decifrar, muito diferente dos mecanismos atuais de comunicação em que o processo é executado “online”. Tinha um teclado com vinte e seis letras, distribuídas por três linhas, na primeira linha da esquerda para a direita tínhamos a sequência “QWERTZUIO”, que mais tarde dá origem ao teclado americano “QWERTYUIOP” e mais tarde ao famoso teclado “QWERTY”.

O teclado da Enigma não tinha números ou pontuação, se por exemplo o operador alemão quisesse introduzir o número 1 teria de introduzir a expressão *eins*.

Era as combinações elétricas cruzadas geradas quando se inseria uma tecla que fazendo girar um conjunto de rodas produzia a letra substituta.

Alan Turing conseguiu decifrar estes códigos com a criação daquilo a que hoje chamaríamos um *cluster* de computadores, na altura foi chamado de a “Bomba”, o *cluster* não era de computadores era de dezenas de máquinas Enigma interligadas e depois conectadas a máquinas construídas por Turing.

### **“The Bombe”**

Por volta de 1938 Rejewski construir uma pequena máquina chamada de “bombe”, Turing interessou-se por este mecanismo e contou as suas possibilidades, em Bletchley Park, a Joan Clarke. Este mecanismo consistia em seis réplicas da máquina Enigma. O sucesso da “bomba”, aperfeiçoada mais tarde, dependia de vulnerabilidades encontradas nas máquinas Enigma alemãs. Havia uma vulnerabilidade no método utilizado pelo operador na posição inicial das rodas antes de iniciar a criptação em si mesma. Turing criou uma denominada “supre bomba” com mais réplicas da Enigma e com funções desenvolvidas por ele. Trabalhou nesta máquina em parceria com Joan Clarke. Este equipamento desenvolvido por Turing continha trinta réplicas de máquinas Enigma, estas máquinas estavam todas interligadas em conjunto conseguiam obter uma configuração mais fácil para deciptar as mensagens, em conjunto replicavam uma só máquina Enigma. De certa maneira este foi o culminar do sucesso de Turing em Bletcheley Park.

### **O legado científico**

Brian Carpenter e Bod Doran, foram os primeiros historiadores da informática que relevaram verdadeiramente, pela primeira vez, a importância do trabalho de Turing, no livro “On Computable Numbers”, bem como num artigo publicado em 1977 no “The Computer Journal”.

Em 1988, Rodolf Herken’s publica o livro “The Universal Turing Machine” explicando pormenorizadamente o seu funcionamento.

Em relação ao problema da Enigma, Michael Smith, em 1998, explica conto o contexto que envolveu a descoberta do funcionamento desta máquina, feito por Turing. Atualmente as citações feitas em relação a Turing ultrapassam as 10.000 (conhecidas).

A máquina de Turing é provavelmente o maior legado para a ciência da computação. Continuou a ter um papel influenciador até aos nossos dias. Esta questão não influenciou só as ciências da computação mas também as ciências cognitivas e a filosofia.

Muitos programadores, hoje, continuam a considerar os princípios estabelecidos por Turing no conceito subjacente à sua máquina.

Richard Dawkins no livro “The God Delusion” escreve sobre Turing: “As the pivotal intellect in the breaking of the German Enigma codes, Turing arguably made a greater contribution to defeating the Nazis than Eisenhower or Churchill... He should have been knighted and fêted as a savior of this nation. Instea this gentle, stammering, eccentric genius was destroy, for a ‘crime’, committed in private, which harmed nobody.”

#### 4. Turing versus Gödel

Alan Turing, como já explicitámos anteriormente, foi um brilhante matemático, que fez a demonstração que os computadores não podem provar completamente todas as asserções matemáticas, como Gödel, mais tarde, demonstrará que a lógica não pode modelar completamente as verdades matemáticas. (WEGNER, 2017)

A conexão entre computadores e matemática foi mais tarde utilizada para desenvolver os fundamentos matemáticos da ciência dos computadores, da mesma forma que aconteceu nas ciências físicas, química, biologia e outras. (WEGNER, 2017)

Após da explicitação das teorias de Turing num *paper* datado de 1936, na década de 60, a ciência dos computadores surge com uma disciplina autónoma, nesse período as Universidades começaram a disponibilizar curso sem grau académico sobre computação. A partir de 1968, já existia um consenso generalizados que a computação deveria fazer parte dos currículos oficiais de determinados cursos com grau académico (WEGNER, 2017). Esta nova disciplina curricular começou por abordar questões relativas ao processamento de informação, transformação da informação e métodos de *input* e *output*. Na prática estas questões, na linguagem técnica de hoje, eram pura e simplesmente algoritmia.

As ciências da computação tiveram um enorme desenvolvimento e expansão na década de 60, é também a partir deste período que os conceitos e aplicações práticas relativas à inteligência artificial, como Alan Turing a tinha definido, observam grande desenvolvimento, gerando profundas divergências de opinião em relação ao seu usos e conceitos base (BROOKS, 1991).

A interação entre programas e realidade nos processos de computação tem especial relevo nessas divergências de opinião, no caso da inteligência artificial, a interação podia ser vista como um pré-requisito para o funcionamento comportamental dos sistemas inteligentes (BROOKS, 1991).

Em 1950, Gödel e Turing escrevem um conjunto de *papers* que foram lidos e estudados por vastas audiências. Gödel desenvolveu, em 1951, conclusões filosóficas a partir de formulações gerais sobre o seu segundo teorema. Estas conclusões diziam respeito à natureza da matemática e a mente humana. A formulação geral do segundo teorema baseava-se explicitamente na teoria da redução dos procedimentos finitos em máquinas computacionais (SIEG, 2010). Alan Turing, em 1953, disponibilizou uma análise sobre a finitude de procedimentos em termos de sistemas pós-produção computacional, análise que chamou a atenção de Gödel. Esta análise de Turing é relevante porque apresenta várias soluções para questões que provocaram controvérsia na sua teoria, de 1936. Explicita questões relativas à mente humana e inteligência no âmbito restrito das máquinas computacionais e a inteligência humana (SIEG, 2010). As teorias de Gödel e Turing, neste período, intersetam-se por um lado na análise do finito e os procedimentos mecânicos, e por outro lado, o fenómeno mental numa perspectiva científica (SIEG, 2010).

Sobre esta matéria, em 1947, Turing afirma: *“There can be no machine which will distinguish provable formulae of the system from unprovable... On the other hand if a mathematician is confronted with such a problem he would search around and find new methods of proof.”* (COPELAND, 2008).

Turing explicita muito melhor a questão, numa carta dirigida a Newman, quando estava no King’s College, em 1940: *“I think you take a much more radically Hilbertian attitude about mathematics than I do. You say ‘If all this whole formal outfit is not about finding proofs which can be checked on a machine it’s difficult to know what it is about’. Do you have in mind that there is (or should be or could be, but has not been actually describe anywhere) some fixed machine... and that the formal outfit is, as it were about this machine. If you take this attitude... there is little more to be said: we simply have to get used to the technique of this machine and resign ourselves to the fact that there are some problems to which we can never get the answer... However, I don’t think you really hold quite this attitude because you admit that in the case of the Gödel example... there is a fairly definite idea of a true formula which is quite different from the idea of a provable one...”* (COPELAND, 2008).

Gödel por outro lado responde a estas questões, em 1948, da seguinte forma: *“On... the basis of what has been proved so far, its remains possible that there may exist (and even be empirically discoverable) a theorem-proving machine which in fact is equivalent to mathematical intuition, but cannot be proved to be so, nor even be proved to yield only correct theorems of finitary number theory. The incompleteness result do not rule out the possibility that there is a theorem proving computer which is in fact equivalent to mathematical intuition... If my result is taken together with the rationalistic attitude which Hilbert had and which was not refuted by my results, then the sharp result that mind is not mechanical. This is so, because, if the mind were a machine, there would, contrary to this rationalistic attitude, exist number-theoretic questions undecidable for the human mind”* (COPELAND, 2008)

Temos em confronto duas visões da computação e das suas possibilidades, bem como a essência da teoria da inteligência artificial. Turing discretamente já pressupunha que uma máquina futura poderia fazer o que o cérebro humano podia fazer. Gödel não aceitava a possibilidade de o cérebro humano ser considerado como uma máquina, porque dito de forma inversa também podia ser interpretado a partir das teorias de Turing. Hoje em dia ainda se discute a possibilidade ou não de a inteligência artificial poder equiparar-se á mente humana, aliás já se discute se existe a possibilidade de digitalizar a nossa mente.

Em 1950, Alan Turing esforça-se por provar que efetivamente a mente humano funciona de tal forma que podem ser criadas similitudes com máquinas e com as características de máquinas computacionais. Dá-nos uma versão possível para o facto de se considerar a mente humana como discreta funcionalmente, não menciona a questão dos neurónios, em vez disso apresenta uma assunção do que se deve aplicar a todos os sistemas contínuos, dinâmicos e não triviais: *“The displacement of a single elétron by a billionth of a centimetre a tone moment might make the difference between a man being killed by na avalanche a year later, or escaping. I tis na essential property of the mecahanical systems which we have called discrete state machines that this phenomenon does not occur”* (HODGES,

2007). Temos de reconhecer que nos nossos dias esta perspetiva pode aplicar-se completamente a um erro de conceção de um algoritmo de um programa para um computador. Era isto que Gödel não aceitava nem nunca veio a aceitar.

Gödel desenvolveu todos os seus teoremas da incompletude para tentar demonstrar que o cérebro humano ultrapassa sempre qualquer mecanismo ou sistema formal (HIPÓLITO, 2014). Turing tentou demonstrar o contrário, por esse facto sempre foi considerado o “pai” da Inteligência Artificial.

Este é um debate ainda em aberto, contudo a história e a investigação científica dos nossos dias está a pedre mais para os argumentos de Turing do que para os teoremas de Gödel.

Para concluir citamos a afirmação, recente, de um emérito professor do MIT: *“Turing is envisaging the possibility that the human mathematician can calculate any desired number of digits of an uncomputable sequence by virtue of creating new methods when necessary. Gödel, on the other hand, considered Turing to have offered an alleged proof that every mental procedure for producing an infinite series of integers is equivalent to a mechanical procedure”* (SHAGRIR, 2015)

## 5. Alan Turing – Datas de uma vida

**1926** – Aos catorze anos percorre 75 quilómetros de Southampton até à sua nova escola.

**1927/8** – Com quinze anos escreve um resumo publicado do livro de Einstein a Teoria da Relatividade.

**1929** – Os seus pais pagam para a sua candidatura ao King’s College em Cambridge.

**1930** – O seu colega e amigo Christopher Morcom morre de tuberculose.

**1931** – Começa a requestrar o King’s College com uma bolsa de estudo. Embrenha-se na matemática. Joga *bridge* e ténis, frequentador assíduo de teatro e opera, começa a praticar violino.

**1934** – Termina os exames em Cambridge com a menção “First-Class Honours with Distinction”.

**1935** – Eleito “Fellow” no King’s College com a idade de 22 anos, caso raro. Frequenta as aulas de Max Newman sobre os fundamentos da matemática. Inspirou-se para inventar a Máquina Universal de Turing.

**1936** – Terminou e publicou um dos seus famosos *papers* “On computable numbers, with na application to the Entscheidungsproblem”, onde estabelece os fundamentos da moderna ciência dos computadores. Viaja para os Estados Unidos da América para fazer um doutoramento na Universidade de Princeton. Trabalha na conceção de cifras em seu tempo livre.

**1937** – Dedicar-se a estudos na área a que os matemáticos designam por “intuição”. Estuda uma solução para o incompleto teorema de Gödel. Continua sempre com os hábitos de jogar ténis.

**1938** – Termina o doutoramento com uma tese cujo título é “Systems of logic based on ordinals”. Constrói uma máquina de cifragem elétrica. Deixa Princeton e volta para Cambridge, continuando no King’s College.

**1939** – Leciona um curso sobre lógica matemática. Assiste sistematicamente às aulas de Ludwig Wittgenstein. Inicia o trabalho sobre a máquina alemã de cifragem denominada

Enigma. Frequentemente os cursos do veterano “codebreaker” Dilly Knox no Government Code and Cypher School em Londres. Escreve e publica um *paper* com o título “A method for the calculation of the zeta-function”. Constroi um computador analógico mecânico para fazer cálculos sobre a função Zeta. A Segunda Guerra Mundial é declarada a três de Setembro. Turing começa a trabalhar para os serviços de Bletchley Park (aka Station X). Inicia os trabalhos aprofundados sobre a “German Naval Enigma”. Decifra o método especial de proteção para as transmissões dos submarinos alemães U-boats, que atuavam no Atlântico Norte. Inventa um método de ataque às mensagens dos U-Boats. Completa os estudos preliminares para a máquina de decifragem do código Enigma, que ficou denominada como a “Bombe”.

**1940** – Viaja para Paris e está presente quando os polacos fazem a primeira decifragem de uma mensagem Enigma. Decifra a chave Enigma denominada de “Light Blue”, mas conclui-se que se tratava apenas de uma chave de encriptação para treino. A sua primeira “Bombe” é instalada no pavilhão 1 “Hut 1”. Alista-se na “Home Guard” para aprender a disparar armas de fogo.

**1940** – Decifra totalmente e pela primeira vez as transmissões do U-Boats, permitindo aos combóis de navios no Atlântico Norte de evitarem os ataques dos submarinos. Assim, são capazes de ler as mensagens transmitidas pelos U-Boat ao mesmo tempo que os comandos alemães. Propôs casar-se com a sua colega Joan Clark, mas mais tarde desiste da ideia. Explora o conceito de “máquina inteligente”, estuda algoritmia com Jack Good.

**1942** – A sua máquina permite a vitória em África contra Rommel. Discute com Max Newman o desenvolvimento de máquinas para decifragem. Estuda os princípios de máquinas inteligentes com Donald Michie, aquilo que atualmente se denomina de “machine learning”. Deixa Bletchley Park e viaja para os Estados Unidos da América.

**1943** – Trabalha nos laboratórios Bell, em Nova Iorque, na encriptação de voz, onde conhece Claude Shannon. Regressa dos Estados Unidos para Bletchley Park ficando com a função de consultor científico de alto nível. Cria um laboratório para investigação na área da encriptação móvel de voz, em Hanslope Park, a pouca distância de Bletchley Park.

**1944** – O “Colossus”, o maior computador em tamanho e capacidade do mundo, na altura, funciona em Bletchley Park sob sua supervisão.

**1945** – Completa a documentação sobre o processo de encriptação de voz. Viaja para a Alemanha a fim de estudar o sistema de criptografia desenvolvido pelos alemães durante a Guerra. Desenha uma nova e completa “Máquina de Turing”. Vai morar para Londres. Termina o desenvolvimento do seu “Automatic Computing Engine” (ACE), com um processador de 1 MHz. Defende que os computadores podem ser programados, e que um dia podem apresentar inteligência, contudo isso envolve sérios riscos, pois os computadores com inteligência podem “occasional serious mistakes”. Descreve os conceitos de algoritmos que se podem alterar a eles mesmos e modificar outros programas, seria aquilo que hoje denominamos de compiladores.

**1946** – Apresenta um relatório sobre uma calculadora eletrónica, que contém o primeiro programa para instalação num computador. Recebe a OBE (Officer of the Order of the British Empire) atribuída pelo Rei Jorge VI, por serviços prestado durante a Guerra.

**1947** – Visita novamente os EUA para dar uma conferência na Harvard University. Faz a primeira comunicação sobre inteligência de computadores (é a primeira vez que este termo é utilizado), no Burlington House em Londres, tratou-se de um debate público famoso. Inicia trabalhos pioneiros em inteligência artificial em Cambridge. Inventa o LU (lower-

upper) um método de decomposição utilizado em análise numérica para resolver problemas de matrizes e equações.

**1948** – Escreve o primeiro manifesto sobre inteligência artificial. Neste documento apresenta a invenção conceptual de um algoritmo genérico “neuro-like computing” e as conexões de inteligência artificial. Propõe a utilização de câmaras de televisão, microfones, auscultadores e rodas para a construção de um robot. Aceita o convite de Max Newman para trabalhar no laboratório de computação na Manchester University.

**1949** – Executa o seu programa “Mersenne Express” para encontrar números primos. Constrói a primeira máquina para encontrar erros em programação. Numa entrevista ao Times afirma: “There is no reason why computers Will not eventually compute on equal terms with the human intellect”. Elabora um gerador de números aleatórios para o computador Ferranti Mark I.

**1950** – Escreve o famoso e primeiro manual de programação. Executa um programa para calcular valores da função Zeta. Publica um paper com o título “Computing machinery and intelligence” no jornal Mind, assegurando a sua reputação de “pai2 da Inteligência Artificial.

**1951** – É eleito como membro da Royal Society of London. Dá um conjunto de programas de rádio, na BBC, com o nome “Can digital computers think?”. Conhece Christopher Strachey no Manchester Computing Machine laboratory, e começam a trabalhar num programa algorítmico que se verificasse a ele mesmo.

**1952** – Continua com os programas sobre inteligência artificial na BBC. Publica o livro “The chemical basis of morphogenesis”, tornando-se pioneiro na biologia matemática e vida artificial. Admite publicamente ter uma relação homossexual com Murray. É julgado e condenado por Indecência Grave. Sentenciado a terapia, durante doze meses, e castração química.

**1953** – Utiliza o computador Ferranti Mark I para comprovar o seu modelo biológico. Inventa um processador de texto.

**1954** – Publica o seu último paper com o título “Solvable and unsolvable problems”. Morre a sete de junho na sua casa em Wilmslow. O seu corpo é encontrado no dia seguinte por Eliza Clayton. A autópsia prova que a causa da sua morte foi resultado da ingestão de cianeto. Num inquérito realizado a dez de junho é referenciada a sua morte como suicídio. Foi cremado a doze de junho no Woking Crematorium perto da casa de Sara Guildford. Tinha morrido o homem que inventou o computador moderno e a inteligência artificial.

## **6. Conclusão**

O papel de Alan Turing nos esforços de terminar mais rapidamente com a Segunda Guerra Mundial, através de uma vitória dos aliados é incontestável. Mesmo tendo ficado décadas em total segredo.

O desenvolvimento da computação fica a dever-lhe um dos maiores impulsos, decisivo para a fase computacional em que vivemos.

Se hoje investigamos, estudamos e discutimos a questão da Inteligência Artificial devemos-lo a Alan Turing.

A discussão entre Alan Turing e Kurt Gödel não está encerrada, contudo as implementações tecnológicas atuais e a investigação científica tendem a dar razão ao primeiro.

### **Agradecimentos**

Artigo publicado originalmente na revista 'Jornal de Notícias - História' N.º 11, de dezembro de 2017. (Com exceção do tópico 5)

### **Referências**

BROOKS, R. (1991). *Intelligence Without Reason*. Boston: MIT Press.

COPELAND, J. (2008). The Mathematical Objection: Turing, Gödel, and Penrose on the Mind.

HIPÓLITO, I. (2014). Gödel on the mathematician's mind and Turing Machines. *Univeridade Nova de Lisboa, Instituto de Filosofia*.

HODGES, A. (2007). Alan Turing: the logical and the physical basis of computing. *University of Oxford*.

SHAGRIR, O. (2015). Turing versus Gödel and the Mind. Em O. SHAGRIR, J.

COPELAND, & C. POSY, *Computability* (pp. 1-35 of 355). Boston: MIT Press.

SIEG, W. (2010). Gödel on computability. *Carnegie Mellon University*.

WEGNER, P. (2017). Computation Beyond Turing Machines. *Brown University*.



**Pedro Ramos Brandão:** Presidente do Conselho Científico do ISTEC. Diretor da Pós-Graduação em Virtualização e Cloud Computing no ISTEC. Professor Coordenador do ISTEC. Investigador da Universidade de Évora (CIDEHUS). Doutorado em História Política Contemporânea (ISCTE), Doutoramento em Ciências da Informação (Universidade de Évora), Mestre em História Moderna e Contemporânea (ISCTE), Licenciado em História (UL), Licenciado em Engenharia Multimédia (ISTEC), *Post Graduate Training - Cybersecurity: Technology, Application and Policy (Massachusetts Institute of Technology - MIT)*, *Post Graduate Training - Cybersecurity Risk Management (Rochester Institute of Technology - RIT)*. Diretor da Revista com Arbitragem Científica: Kriativ-Tech.