

# **COMPUTADORES CLÁSSICOS E QUÂNTICOS:**

ESTUDOS, IMPLEMENTAÇÕES E IMPACTOS SOCIAIS

**Gabriel R. Zsigmond**

INICIAÇÃO CIENTÍFICA



ESCOLA SUPERIOR DE PROPAGANDA E MARKETING

Sistemas de Informação em Comunicação e Gestão

Brasil

17 de agosto de 2020

Gabriel R. Zsigmond

# **COMPUTADORES CLÁSSICOS E QUÂNTICOS:**

ESTUDOS, IMPLEMENTAÇÕES E IMPACTOS SOCIAIS

*Relatório Parcial*

Projeto de Iniciação Científica para a Escola Superior de Propaganda e Marketing, sob a orientação do Professor Doutor Humberto Sandmann.

Orientador: Prof. Dr. Humberto Sandmann

Brasil

17 de agosto de 2020

# **ESTUDOS, IMPLEMENTAÇÕES E IMPACTOS SOCIAIS:**

## **ESTUDOS, IMPLEMENTAÇÕES E IMPACTOS SOCIAIS**

**Gabriel R. Zsigmond**

### **Resumo**

O presente projeto, “Computadores Clássicos e Quânticos: Estudos, Implementação, Simuladores e Impactos Sociais”, se propõe a estudar a história do computador e sua evolução. A mais recente inovação na área é a computação quântica, que certamente, inaugura a próxima geração de computadores. A computação quântica muda toda uma arquitetura na forma de computação, permitindo que os novos computadores sejam exponencialmente mais eficientes quando comparados aos mais modernos da atualidade. O projeto se propõe a entender e prototipar um computador tradicional de 8 bits em hardware, usando apenas portas lógicas simples, a fim de ilustrar, de forma clara, o funcionamento de um computador tradicional. Também, esse projeto busca entender e estimar as consequências sociais que os avanços da tecnologia e o desenvolvimento da computação quântica pode gerar. Entende-se que para essa análise, se faz necessário, inicialmente, uma ampla revisão bibliográfica, a fim de comparar esses dois tipos de computadores. Para ilustrar esta, será desenvolvida uma aplicação web que simula um computador tradicional e um computador quântico executando o mesmo algoritmo. É esperado que ao final do projeto, esse estudo traga um amplo e aprofundado conhecimento da área, além de, uma contribuição em relação ao impacto social do uso computação da quântica.

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>6</b>
1.1	Definição justificada dos objetivos e da sua relevância . . . . .	6
1.2	Metodologia a ser empregada . . . . .	10
<b>2</b>	<b>Computação Clássica</b>	<b>11</b>
2.1	A computação clássica e sua evolução . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Computação Quântica</b>	<b>22</b>
3.1	A computação quântica e sua evolução . . . . .	22
<b>4</b>	<b>Computador</b>	<b>23</b>
4.1	Módulos . . . . .	23
4.1.1	Clock . . . . .	23
4.1.2	Registers . . . . .	23
4.1.3	Arithmetic logic unit (ALU) . . . . .	24
4.1.4	Random access memory (RAM) . . . . .	24
4.1.5	Program counter . . . . .	24
4.1.6	Output register . . . . .	24
4.1.7	CPU control logic . . . . .	25
4.1.8	Materiais Necessários . . . . .	25
<b>5</b>	<b>Simulador</b>	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>Criptografia</b>	<b>27</b>
6.1	Conceitos básicos de criptografia . . . . .	28
6.1.1	Criptografia simétrica . . . . .	28
6.1.2	Criptografia assimétrica . . . . .	28
6.1.3	Funções de hash . . . . .	29
6.2	Rivest Shamir Adleman – RSA Criando chave publica e privada . . .	30
6.3	Criptografia aplicada computação clássica . . . . .	32
6.4	Criptografia aplicada computação quântica . . . . .	32

<b>7</b>	<b>Próximos passos</b>	<b>33</b>
7.1	Plano de Redação . . . . .	33
7.2	Cronograma . . . . .	33
7.3	Problemas . . . . .	35
<b>8</b>	<b>Impactos sociais</b>	<b>36</b>
<b>9</b>	<b>Conclusões</b>	<b>37</b>
9.1	Perspectivas . . . . .	37

## Lista de Tabelas

1	Registradores ASM 24 bit . . . . .	15
2	instruções ASM 24 bit . . . . .	17
3	Passo a passo para gerar par de chaves . . . . .	31
4	Como criptografar e decifrar . . . . .	32
5	Cronograma original . . . . .	33
6	Cronograma atualizado . . . . .	34

## Lista de Figuras

1	Desenho esquemático Máquina de Turing . . . . .	7
2	Desenho esquemático do ENIAC/US Center for Military History — Adele Goldstine . . . . .	9
3	Diagrama arquitetura de Von Neumann . . . . .	14
4	Conversão de 1101111010110110 para decimal e hexadecimal . . .	20
5	Ilustração da posição das chaves . . . . .	29

# 1 Introdução

## 1.1 Definição justificada dos objetivos e da sua relevância

A palavra “computador” é usada desde o século XVII, tendo a sua primeira referência escrita datada de 1613. No entanto, por muito tempo “computador” não tinha o mesmo significado que leva hoje, sendo utilizado, até a década de 1940, como nome da profissão de alguém que calcula, segundo o dicionário Michaelis: “Aquele ou aquilo que calcula baseado em valores digitais; calculador, calculista”. [6]

Tendo em vista o antigo significado da palavra “computador”, pode-se questionar sobre como passamos a utilizar uma palavra usada para se referir a pessoas, para máquinas. A fim de responder essa pergunta, recuperaremos a origem dos computadores. Pode parecer um questionamento simples, porém muitas pessoas não sabem a verdadeira resposta. Computadores existem há mais tempo que o transistor — dispositivo semicondutor usado para amplificar ou alternar sinais eletrônicos e eletricidade — na forma mecânica e teórica. A definição de “computador” foi elaborada por Alan Turing (Reino Unido, 1912—1954), um matemático, lógico, criptógrafo e herói de guerra que se preocupava exatamente com a questão relacionada ao que era computável e o que não era. Ele foi elaborou a definição de computador, descrevendo a Máquina de Turing, em um trabalho publicado em 1937. A origem dos computadores e celulares que você, leitor, pode estar usando para ler o presente trabalho é fruto do resultado deste trabalho.

A Máquina de Turing, considerada o modelo mais poderoso de computador, é similar a um autômato finito <sup>1</sup>, porém com uma memória ilimitada e irrestrita. Ela é composta por três principais componentes: fita infinita; processador; máquina de estado finito.

---

<sup>1</sup>Um sub-tópico da Ciência da computação teórica, também chamado máquina de estados finita determinística — é uma máquina de estados finita que aceita ou rejeita cadeias de símbolos gerando um único ramo de computação para cada cadeia de entrada.



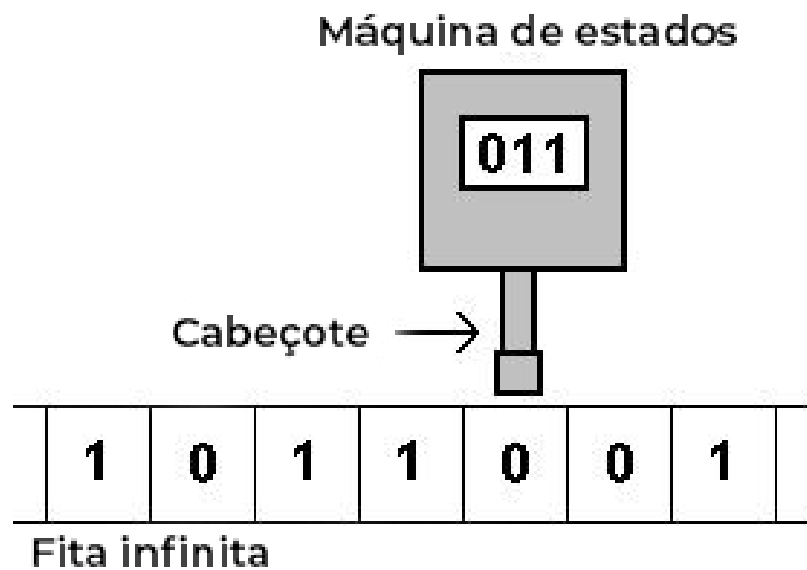


Figura 1: Desenho esquemático Máquina de Turing

A fita infinita é dividida em células, cada uma contendo um símbolo de um alfabeto finito. O processador é responsável por se deslocar para a direita ou para a esquerda e efetuar a leitura ou escrita em uma célula. Assim, o Prof. Dr. Fabio Gagliardi Cozman [3], ilustra seu funcionamento da seguinte forma:

1. Inicialmente a fita contém somente a cadeia de entrada, disposta no “meio”<sup>2</sup> da fita , com o processador posicionado no início da cadeia (o resto está em branco);
2. Para armazenar algo, a máquina escreve na fita;
3. O processador pode ser movido livremente para a esquerda ou direita, afim de ler ou escrever valores em qualquer célula;
4. As saídas “aceita” e “rejeita” são obtidas ao entrar nos estados de aceitação e rejeição;
5. Se não entrar em um estado de aceitação ou rejeição, continuará sua computação para sempre, em “loop infinito”.

---

<sup>2</sup>Meio é algo abstrato nesse sentido, pois não existe meio de um valor infinito

O primeiro computador digital eletrônico de grande escala foi criado em fevereiro de 1946 por cientistas norte-americanos, John Presper Eckert e John W. Mauchly, da Electronic Control Company. No final de sua operação em 1956, o ENIAC (Electrical Numerical Integrator and Calculator), continha 20.000 tubos de vácuo, 7.200 diodos de cristal, 1.500 relés, 70.000 resistores, 10.000 capacitores e aproximadamente 5.000.000 juntas soldadas à mão. Ele pesava mais de 27 toneladas, tinha aproximadamente 2,4m × 0,9m × 30m de tamanho, ocupava 167 m<sup>2</sup> e consumia 150 kW de eletricidade. [15]

A partir do ENIAC, as possibilidades tecnológicas tomaram uma nova proporção. Em 1969, apenas 13 anos após o desligamento do primeiro computador digital eletrônico, o computador de bordo da Apollo 11 — missão que levou o homem à Lua — tinha 32.768 bits <sup>3</sup> de RAM, o suficiente para armazenar apenas um texto não formatado, com cerca de 2.000 palavras. O que contrasta com o Iphone XS com 4gb de RAM, que em 2018, tinha cerca de 1 milhão de vezes mais de memória que o Apollo Guinche Computer. [11]

---

<sup>3</sup>Para uma explicação elaborada sobre bits refira-se ao capítulo 2 pagina 11

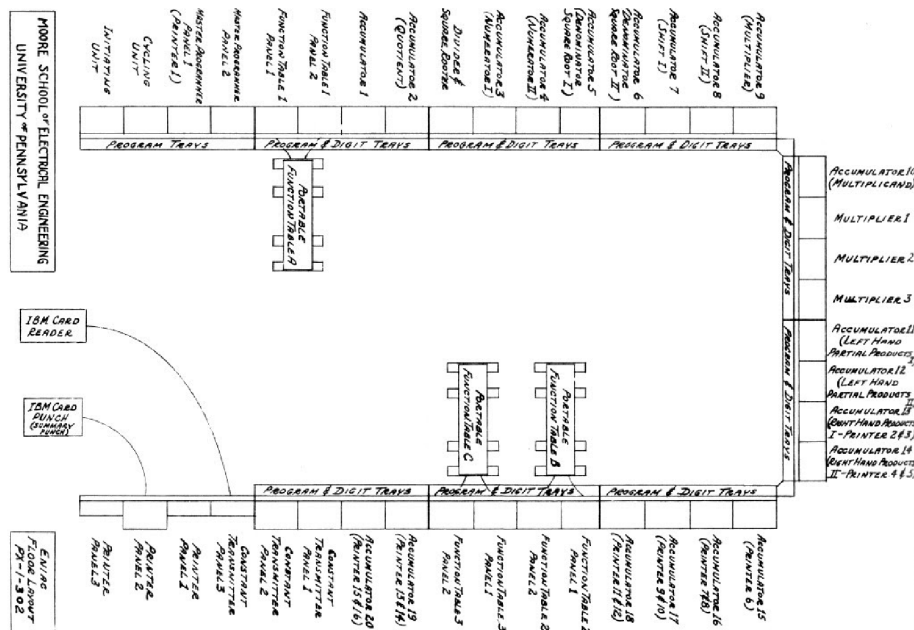


Figura 2: Desenho esquemático do ENIAC/US Center for Military History — Adele Goldstine

Durante o século XX, além do aumento do poder computacional dos dispositivos, outro fator impactante foi a refatoração de seus tamanhos. Assim, com tecnologias wearables <sup>4</sup>, os computadores se tornam ativamente presentes no cotidiano.

Levando em consideração o rápido avanço e desenvolvimento computacional, entende-se que os computadores trazem benefícios à sociedade, seja facilitando a comunicação e o compartilhamento de conhecimentos, como em outros aspectos. No entanto, a agilidade dessas **transformações da tecnologia da computação**, gera grandes expectativas e incertezas sobre o que ainda está por vir, tanto nas questões de mudanças tecnológicas quanto nos impactos na sociedade.

Tendo em vista a incerteza que acompanha o futuro da computação e de seus próximos avanços, a presente pesquisa se propôs a estudar os conceitos da física

<sup>4</sup>A tecnologia em questão não somente pode ser usada como uma peça de roupa ou um acessório, como também tem que possuir características que a conectem a outros aparelhos ou à internet.

clássica e da física quântica aplicados à computação, além do estudo dos princípios da criptografia <sup>5</sup>. Com base nesses conceitos será prototipado um computador clássico de 8 bits em hardware usando apenas portas lógicas simples, de forma a possibilitar uma ilustração clara do funcionamento. Junto a isso será desenvolvida uma aplicação web que ilustra o funcionamento de um processador quântico. Ao final, conceitos de criptografia serão utilizados para exemplificar possíveis mudanças sociais que os próximos avanços tecnológicos podem gerar.

## 1.2 Metodologia a ser empregada

Para a realização da pesquisa de iniciação científica, é indispensável o uso de pesquisa bibliográfica, afim de recuperar e se aprofundar no conhecimento científico. Segundo Telma Cristiane Sasso de Lima, o conhecimento da realidade não é apenas a simples transposição dessa realidade para o pensamento, mas sim a reflexão crítica, que se dá a partir de um conhecimento acumulado que irá gerar uma síntese, o concreto pensado [7]. E também a utilização do processo científico para a elaboração e efetivação do projeto em si. Ambas metodologias citadas acima são cruciais para o desenvolvimento do relatório final na área de pesquisa em computação, já que em grande parte dos estudos, a utilização do processo científico é frequentemente utilizada para um maior entendimento da obra e a construção do projeto se tornar mais facilmente executável.

Assim, para o desenvolvimento da entrega do protótipo — computador de 8-bits — e para o simulador do computador quântico web, a principal metodologia utilizada será Project Based Learning (PBL). De acordo com David Van Andel, o PBL envolve os alunos em um processo rigoroso de investigação, onde eles fazem perguntas, encontram recursos e aplicam informações para resolver problemas do mundo real [2]. Assim, entende-se que esta é a melhor metodologia para desenvolver um protótipo físico de um computador e programar um site.

Nos dois capítulos a seguir, Computação clássica <sup>2</sup> e Computação quântica<sup>3</sup>, é apresentada a revisão bibliográfica

---

<sup>5</sup>Criptografia é um sistema de algoritmos matemáticos que codificam dados para que só o destinatário possa ler.

## 2 Computação Clássica

Entende-se a importância de se compreender a origem e o desenvolvimento da computação clássica para o desenrolar da pesquisa, o que será apresentado em meio a este capítulo.

A computação clássica consiste em computadores que dependem da física clássica para operar. Estes são os computadores tradicionais que usamos em nosso dia-a-dia – sejam eles Apple, Samsung, Dell ou qualquer outro –, também classificados como computadores binários, pois processam as instruções a partir de números binários, compostos apenas pelos símbolos “1” e “0”, ligado e desligado, respectivamente. Assim, julga-se importante e de larga relevância ao tema compreender essa representação numérica.

Números binários ou números em base 2 são compostos por apenas dois dígitos, 0, 1. Dessa forma, seu funcionamento é similar ao sistema decimal, ou base 10, que são compostos por dez dígitos, 0; 9. No sistema decimal, é simples contar até nove, porém não existe um símbolo ou dígito para representar o número dez, sendo então representado por dois dígitos, “10”, sendo uma simples lógica de posicionamento. Mais uma vez, após o número “99”, é necessário utilizar da mesma regra para representar o número cem, “100”. Já em base 2, o número zero é representado pelo símbolo “0”, e o número um por “1”. O mesmo dilema é enfrentado ao chegar no próximo valor: dois. E então é usada a mesma lógica de posicionamento, em base dois. Desta forma, o número dois é representado por “10”, o três por “11”, quatro por “100” e assim por diante. Portanto, números binários podem se tornar longos e compostos por muitos dígitos que levam o nome de bits. [9] É com base nos bits <sup>6</sup> ligados e desligados que o computador baseia a sua linguagem. Para transforma-lo em base dez é preciso avaliar o valor de cada bit de acordo com a sua posição.

Exemplo: número binário 1011:

$$1011(b) = 1 * 2^3 + 0 * 2^2 + 1 * 2^1 + 1 * 2^0$$

---

<sup>6</sup>A menor unidade de informação que pode ser armazenada ou transmitida na comunicação de dados.

$$= 8 + 0 + 2 + 1 = 11(\text{decimal})$$

O peso de cada bit de um número binário depende da sua posição relativa ao número completo, sempre partindo da direita para a esquerda.

- O peso do primeiro bit é  $bit * 2^0$
- O peso do segundo bit é  $bit * 2^1$
- O peso do terceiro bit é  $bit * 2^2$
- O peso do quarto bit é  $bit * 2^3$

A fórmula ilustrada acima, pode ser exemplificada em uma fórmula genérica:

$$= nth\ bit * 2^{n-1}$$

É possível notar que a regra para números binários, se repete para números em base 10.

Exemplo: número decimal 4392:

- O peso do primeiro bit é  $2 * 10^0$
- O peso do segundo bit é  $9 * 10^1$
- O peso do terceiro bit é  $3 * 10^2$
- O peso do quarto bit é  $4 * 10^3$

$$4392 = 4 * 10^3 + 3 * 10^2 + 9 * 10^1 + 2 * 10^0$$

$$= nth\ bit * 10^{n-1}$$

Essa regra se mantém verdadeira para qualquer base numérica.

$$= nth\ bit * (base)^{n-1}$$

Ao decorrer do texto serão referidos números em base 2, 10 e 16.

## 2.1 A computação clássica e sua evolução

Alan Turing, matemático inglês, cientista da computação, lógico, criptoanalista, filósofo e biólogo teórico, publicou o artigo “On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungs-problem” [14] em 12 de novembro de 1937, artigo que viria a formar a teoria básica da computabilidade por várias décadas.

O mecanismo abstrato descrito no artigo de Turing fornece os conceitos fundamentais de computadores que outros engenheiros conceberam posteriormente. Na sua essência, uma Máquina de Turing é um dispositivo que manipula símbolos em uma tira de fita de acordo com uma tabela de regras. O cientista forneceu a formalização dos conceitos de “algoritmo” e “computação” na infância da ciência da computação. Apesar de sua simplicidade, uma Máquina de Turing pode ser adaptada para simular a lógica de qualquer algoritmo de computador e é útil para explicar as funções de uma CPU.

Apesar dos computadores clássicos serem atualmente descritos como tendo a chamada arquitetura de Von Neumann, acredita-se que o idealizador dessa arquitetura partiu dos modelos matemáticos desenvolvidos por Alan Turing, que incluía o conceito de programa armazenado, originado a partir da construção da Máquina de Turing. Conceito, também encontrado no projeto EDVAC de Von Neumann [8], que possibilita o armazenamento de instruções e dados na mesma memória, permitindo a manipulação de programas como dados, que se constitui como característica definidora do computador clássico. Assim, pode-se alegar que Turing é o pai do computador já que suas publicações antecederam a arquitetura de Von Neumann, além de existirem razões para se acreditar que este último não apenas conhecia como também se inspirou no trabalho de Alan Turing [1]. Outro fator que corrobora para este entendimento, é que Turing foi o primeiro a explorar a idéia de uma máquina de uso geral por meio de sua noção de máquina universal – que constitui a base do computador clássico ao possibilitar o funcionamento da CPU em conjunto com a memória RAM. Ainda, tendo em vista as contribuições do matemático para a construção de uma classe importante de dispositivos de computação, o Bombe – um dispositivo eletromecânico usado pelos criptologistas britânicos para ajudar a decifrar as mensagens secretas criptografadas pela

máquina alemã Enigma durante a Segunda Guerra Mundial – e posteriormente o seu design do ACE (Automatic Computing Engine), fica evidente as contribuições de Alan Turing para a invenção do computador moderno. A partir da fala de Turing abaixo, pode-se identificar o ACE como um tipo de realização física da máquina universal.

*“Some years ago I was researching on what might now be described as an investigation of the theoretical possibilities and limitations of digital computing machines. [...] Machines such as the ACE may be regarded as practical versions of this same type of machine.” [13]*

Por fim, entende-se que baseado na teoria da máquina de Turing, o físico e matemático John von Neumann desenvolveu uma arquitetura que consiste em uma única memória compartilhada para programas e dados, um único acesso à memória, uma unidade aritmética e uma unidade de controle de programa, como visto no diagrama abaixo.

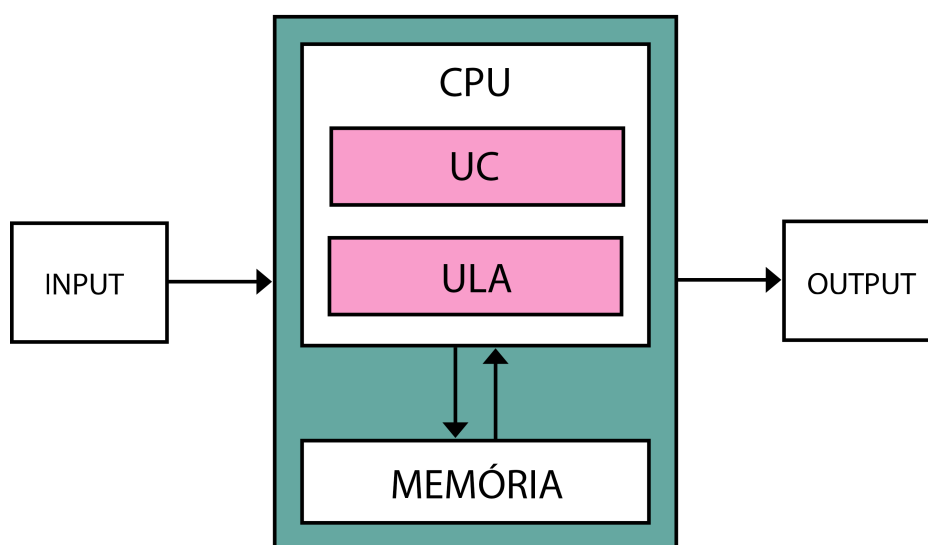


Figura 3: Diagrama arquitetura de Von Neumann

Nessa arquitetura, o cabeçote passa a ser uma CPU (Central Processing Unit), a fita se transforma em memória RAM e as operações são construídas e executadas em circuitos formados por portas lógicas chamadas de ALU (Arithmetic/Logic



Unit). [10]

Atualmente, a maioria dos computadores modernos são construídos sobre a prática da arquitetura von Neumann. A fim de simular um processador moderno de forma didática, foi elaborado o ASM 24bits que permite a sua programação utilizando um Assembly <sup>7</sup> de 20 instruções, sua Documentação. Similar à arquitetura de Von Neumann esse emulador é composto por memória e CPU, essa CPU simples possui dois registradores descritos abaixo:

Registradores	
Nome	Descrição
Accumulator (ACC)	Registro mais usado para armazenar dados extraídos da memória. Está em diferentes números em diferentes microprocessadores.
Instruction Register (IR)	Registro que contém a instrução que está sendo executada no momento.

Tabela 1: Registradores ASM 24 bit

Uma unidade lógica aritmética (ALU) é um circuito digital usado para realizar operações aritméticas e lógicas. Ele representa o bloco de construção fundamental da unidade central de processamento CPU. A ULA do ASM 24bits possui 20 instruções, sendo elas:

ULA	
Mnemônico	Descrição
nop	Slot de memória vazio

---

<sup>7</sup>Uma linguagem assembly é uma linguagem de programação de baixo nível projetada para um tipo específico de processador. Ele pode ser produzido compilando o código-fonte de uma linguagem de programação de alto nível (como C / C ++), mas também pode ser escrito do zero.

jmp	Salto incondicional. Recebe uma variável como parâmetro e executará o código a partir da linha abaixo.
jz	Salta se o valor do acumulador (AC) é 0. Recebe uma variável como parâmetro e executa o código a partir da linha abaixo se o valor do AC for zero. Se o valor de AC NÃO for zero, a próxima linha será executada.
jnz	Pula se o valor do acumulador (AC) NÃO é 0. Recebe uma variável como parâmetro e executa o código a partir da linha abaixo se o valor do AC não for zero. Se o valor de AC for zero, a próxima linha será executada.
lv	Carrega uma constante diretamente no acumulador. Recebe uma constante em notação hexadecimal 0x00F2 por exemplo.
add	Adiciona uma constante ao valor do acumulador. Recebe uma constante em notação hexadecimal 0x00FA por exemplo.
addm	Recebe uma variável como parâmetro e adiciona o valor da variável ao valor do acumulador.
sub	Subtrai uma constante do valor do acumulador. Recebe uma constante em notação hexadecimal 0x00FA por exemplo.
subm	Recebe uma variável como parâmetro e subtrai o valor da variável do valor do acumulador.
mul	Multiplica uma constante do valor do acumulador. Recebe uma constante em notação hexadecimal 0x00FA por exemplo.
mulm	Recebe uma variável como parâmetro e multiplica o valor da variável pelo valor do acumulador.

div	Divide o valor do acumulador por uma constante. Recebe uma constante em notação hexadecimal como parâmetro, 0x00FA por exemplo.
divm	Recebe uma variável como parâmetro e divide o valor do acumulador pelo valor da variável.
load	Recebe uma variável como parâmetro e carrega o valor da variável para o acumulador.
stor	Armazena o valor atual do acumulador em uma variável.
sc	Chamada de função.
rc	Retorno de função, irá pular para a linha abaixo da chamada de função mantendo o valor atual no acumulador.
end	Irá parar a execução do programa.
in	Solicita ao usuário uma entrada (o número inserido deve ser em hexadecimal) e carrega a entrada no acumulador.
out	Alerta o usuário com o valor atual do acumulador.

Tabela 2: instruções ASM 24 bit

A Linguagem Assembly é utilizada para a criação do ASM 24bits (mencionado acima), e também é essencial para o funcionamento de qualquer computador clássico. Isso porque é indispensável durante a primeira etapa do 'boot', onde o hardware ainda não está configurado para o sistema operacional. A linguagem Assembly, frequentemente abreviada como "asm", é uma linguagem de programação de baixo nível em que há uma correspondência muito forte entre as instruções da linguagem e as instruções do código de máquina <sup>8</sup> A asm é também uma linguagem de computação altamente dependente do hardware que está sendo utilizado.

<sup>8</sup>Na programação de computadores, o código de máquina, que consiste em instruções em linguagem de máquina, é uma linguagem de programação de baixo nível usada para controlar diretamente uma CPU. Cada instrução faz com que a CPU execute uma tarefa muito específica, como uma carga, um armazenamento, um salto ou uma operação ALU em uma ou mais unidades de dados nos registros ou memória da CPU.

Ao ligar qualquer computador clássico da atualidade, ele passará por algumas etapas importantes antes de poder ser usado pelo seu usuário final.

Ao reiniciarmos um computador ele deverá carregar o sistema operacional de qualquer variante (Mac, Windows, Linux, etc.), a partir de algum dispositivo de armazenamento permanente que está atualmente conectado ao computador: seja um cd, um disco rígido, um USB, etc. O ambiente pré-SO oferece poucos serviços de alto nível. Neste estágio, mesmo um sistema de arquivos simples, que possa ler e gravar arquivos lógicos em um disco, seria um luxo. Felizmente, temos disponível o Basic Input/Output Software (BIOS), uma coleção de rotinas de software que são carregadas inicialmente de um chip para a memória e inicializadas quando o computador é ligado. O BIOS fornece detecção automática e controle básico dos dispositivos essenciais do seu computador, como tela, teclado e discos rígidos. Depois que este conclui alguns testes de baixo nível do hardware, principalmente se a memória instalada está funcionando corretamente ou não, ele deve iniciar o sistema operacional já armazenado em um de seus dispositivos. No entanto, precisamos lembrar que o BIOS não pode simplesmente carregar um arquivo que represente seu sistema operacional a partir de um disco, pois o ele não tem noção de um sistema de arquivos. Este deve ler setores específicos de dados (geralmente 512 bytes de tamanho) de localizações físicas específicas dos dispositivos de disco, para carregar do sistema operacional.

Anteriormente, já utilizamos exemplos de números hexadecimais, frequentemente usados na programação de baixo nível. No entanto, ainda não adentramos o porquê desse uso. É natural que optemos por usar os números em base 10 já que culturalmente estamos mais acostumados a eles. Georges Ifrah em seu livro, “The Universal History of Numbers” [5] aponta que:

“Traços da origem antropomórfica dos sistemas de contagem podem ser encontrados em muitas línguas. Na língua Ali (África Central), por exemplo, “cinco” e “dez” são respectivamente *moro* e *mbouna*: *moro* é na verdade a palavra para “mão” e *mbouna* é uma contração de *moro* (“cinco”) e *bouna*, que significa “dois” (portanto, “dez” = “duas mãos”).

Portanto, é muito provável que as palavras indo-européias, semíticas e mongóis

para os dez primeiros números derivem de expressões relacionadas à contagem dos dedos.”

Nesse sentido, Ifrah explica que:

“[...] a mão torna os dois aspectos complementares dos inteiros inteiramente intuitivos. Ele serve como um instrumento que permite o movimento natural entre a numeração cardinal e ordinal. Se você precisa mostrar que um conjunto contém três, quatro, sete ou dez elementos, você levanta ou dobra simultaneamente três, quatro, sete ou dez dedos, usando sua mão como mapeamento cardinal. Se quiser contar as mesmas coisas, dobre ou levante três, quatro, sete ou dez dedos em sucessão, usando a mão como ferramenta de contagem ordinal.”

Partindo dessa explicação, surge a ideia de números sendo representados a partir de 10 símbolos distintos: 0; 9. Assim, o número decimal tem uma base de dez (ou seja, dez símbolos de dígitos distintos), já o número hexadecimal tem uma base de 16, por tanto, sendo necessário criar seis novos símbolos numéricos para possibilitar a contagem de 0 a 15 com apenas um símbolo. A maneira mais simples é usando algumas letras, como: 0,1,2, ... 8,9, a, b, c, d, e, f, em que, por exemplo, o símbolo ‘d’, representaria uma contagem de 13.

Para distinguir entre hexadecimal e outros sistemas numéricos, costumamos usar o prefixo “0x”, que é especialmente importante para indicar dígitos hexadecimais que podem não conter nenhum dos dígitos da letra, por exemplo: 0x50 não é igual (decimal)50 – 0x50 é realmente (decimal)80.

A questão é que um computador representa um número como uma sequência de bits, uma vez que fundamentalmente seu circuito pode distinguir apenas entre dois estados elétricos: 0 e 1 – fazendo referência ao motivo pelo qual usamos base 10, é como se o computador tivesse um total de apenas dois dedos. Portanto, para representar um número maior que 1, o computador pode agrupar uma série de bits, assim como podemos contar para além de 9 agrupando dois ou mais símbolos, por exemplo, 456, 23, etc.

Para facilitar a conversa sobre o tamanho dos números com os quais estamos lidando foram adotadas nomenclaturas para séries de bits de certos comprimentos. As instruções da maioria dos computadores lidam com um mínimo de valores de 8

bits, que são denominados bytes. Outros agrupamentos são “short”, “int” e “long”, que geralmente representam valores de 16 bits, 32 bits e 64 bits, respectivamente. Também tem-se o termo “word”, que é usado para descrever o tamanho da unidade máxima de processamento do modo atual da CPU: portanto, no modo real de 16 bits, a “word” se refere a um valor de 16 bits, já no modo protegido de 32 bits, uma “word” se refere a um valor de 32 bits e assim por diante.

Desse modo, devido as sequências de bits serem compridas é mais fácil convertê-las para notação hexadecimal do que para o sistema decimal natural, ilustrado na imagem abaixo. Assim, é possível quebrar a conversão em segmentos menores de 4 bits do número binário, em vez de tentar somar todos os bits componentes em um total geral, o que seria muito mais difícil para cadeias de bits maiores, como para: 16, 32, 64, etc.

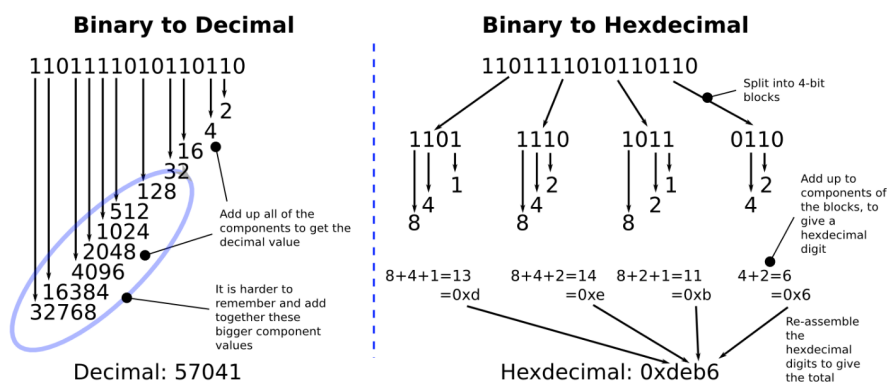


Figura 4: Conversão de 1101111010110110 para decimal e hexadecimal

Esse capítulo constituiu-se em apresentar conteúdos básicos e essenciais para possibilitar a compreensão do funcionamento de computadores clássicos. Conteúdos que foram compreendidos a partir do desenvolvimento de um sistema operacional simples que passa por todas as etapas essenciais do processo de “boot” do *state-of-art* de computadores clássicos: ligando em ‘modo real de 16 bits’, transferindo-se para ‘modo protegido de 32 bits’ e ‘gerenciando interrupções’.

Uma vez que o conteúdo sobre a computação clássica foi absorvido, podemos

avançar para a próxima geração: computadores quânticos.

## **3 Computação Quântica**

### **3.1 A computação quântica e sua evolução**



## 4 Computador

**Ressalva:** *Esse capítulo foi reservado para descrever o passo a passo de como desenvolver um computador clássico apenas com portas lógicas simples. Devido a alguns problemas esclarecidos na seção 7.3 e tendo em vista que o protótipo ainda não foi desenvolvido, é proposto que essa parte seja adiada para um possível futuro trabalho.*

Construir um computador parece uma tarefa complicada e ousada. Porém, uma CPU <sup>9</sup> é bastante simples em operação depois que os fundamentos por trás de todos os seus processos são compreendidos. Desta maneira, este capítulo destina-se em explicar o passo a passo para que qualquer pessoa interessada, seja capaz de construir seu próprio computador e obter o conhecimento que acompanha o processo.

### 4.1 Módulos

Para facilitar a compreensão e também o desenvolvimento do computador, este capítulo será dividido em alguns subcapítulos, cada qual abordando uma parte do computador.

#### 4.1.1 Clock

O clock do computador é uma parte essencial para o seu funcionamento. Este tem a função de sincronizar todas as operações. A ação mais rápida que o computador consegue executar é equivalente a uma vibração do seu clock.

#### 4.1.2 Registers

A maioria das CPUs possuem vários registradores que armazenam pequenas quantidades de dados processados pela CPU. Em nossa CPU de breadboard, cri-

---

<sup>9</sup>CPU é a sigla para Central Process Unit, ou Unidade Central de Processamento. É o principal item de hardware do computador, que também é conhecido como processador, essa é a parte responsável por calcular e realizar tarefas determinadas pelo usuário.

aremos três registradores de 8 bits: A, B e IR. Os registradores A e B são para uso geral. Já o IR (instruction register), apesar de funcionar da mesma forma, é usado para armazenar a instrução atual que está sendo executada.

#### **4.1.3 Arithmetic logic unit (ALU)**

A parte da unidade lógica aritmética (ALU) de uma CPU geralmente é capaz de executar várias operações aritméticas, bit a bit e de comparação em números binários. Em nossa CPU de breadboard, a ALU pode apenas adicionar e subtrair. Ele está conectado aos registradores A e B e gera a soma de  $A + B$  ou a diferença de  $A - B$ .

#### **4.1.4 Random access memory (RAM)**

A memória de acesso aleatório (RAM) armazena o programa que o computador está executando, bem como todos os dados que o programa precisa. Nosso computador de breadboard utiliza endereços de 4 bits, o que significa que ele terá apenas 16 bytes de RAM, limitando o tamanho e a complexidade dos programas que poderá executar.

#### **4.1.5 Program counter**

O contador do programa (Program counter) conta em binário para acompanhar qual instrução o computador está executando no momento.

#### **4.1.6 Output register**

O registrador de saída é semelhante a qualquer outro registrador (como os registradores A e B), exceto que, em vez de exibir seu conteúdo em binário em 8 LEDs, ele exibe seu conteúdo de forma decimal em um display de 7 segmentos, o que requer uma lógica complexa.

#### **4.1.7 CPU control logic**

A lógica de controle é o coração da CPU. É o que define os códigos de operação (opcode) que o processador reconhece e o que acontece quando ele executa cada instrução.

#### **4.1.8 Materiais Necessários**

## **5 Simulador**

## 6 Criptografia

Conforme definido por Bruce Schneier *“The art and science of keeping messages secure is cryptography [...]”* [12] Embora a criptografia seja considerada fundamental em nossas vidas digitais, ela não está especificamente relacionada à computação. A criptografia existe há milênios.

Na segurança cibernética, há uma série de preocupações quando se trata de dados. Isso inclui confidencialidade, integridade, disponibilidade e não repúdio.

**A confidencialidade** significa que nossos dados não podem ser acessados / lidos por usuários não autorizados.

**A integridade** do dado diz respeito à originalidade na qual os dados chegam a nós, estando 100% intactos, sem terem sido modificados – seja por um ato malicioso, perda de dados ou por algum outro fator.

**A disponibilidade** se refere à acessibilidade dos dados quando necessário.

Examinaremos as várias formas de criptografia digital e como elas podem nos ajudar a alcançar os três objetivos listados acima. Quando falamos de criptografia digital, geralmente nos referimos aos conceitos abaixo, que serão especificados posteriormente.

1. Criptografia simétrica
2. Criptografia assimétrica
3. Funções de hash

Temos receio que os computadores quânticos sejam capazes de decifrar certos códigos usados para enviar mensagens seguras. Esses códigos criptografam dados usando funções matemáticas de “trapdoor” que funcionam facilmente em uma direção, mas não em outra. Isso facilita a criptografia de dados, mas a decodificação é extremamente difícil sem a ajuda de uma chave especial.

Esses sistemas de criptografia não são inquebráveis e sua segurança se baseia na enorme quantidade de tempo que um computador clássico levaria para fazer o trabalho. Os métodos modernos de criptografia são projetados para que a decodificação demore tanto tempo que se tornem praticamente inquebráveis.

A chegada dos computadores quânticos mudou esse pensamento. Essas máquinas são muito mais poderosas que os computadores clássicos, tornando possível o rompimento desses códigos com facilidade, já que realizam contas matemáticas de forma mais eficiente e significativamente mais rápido que os computadores clássicos.

## **6.1 Conceitos básicos de criptografia**

Antes de mergulharmos no conceito de criptografia, precisamos saber o que exatamente ela significa. Criptografar uma mensagem significa torná-la ilegível para partes não autorizadas usando uma cifra (o método específico para fazer isso). Descriptografar a mensagem significa reverter o processo e tornar os dados legíveis, decifrando-os mais uma vez.

### **6.1.1 Criptografia simétrica**

Para criptografar e descriptografar corretamente nossos dados, precisamos de uma chave (que determina a saída da nossa cifra). Na criptografia simétrica, a chave usada para criptografar e decifrar os dados é a mesma.

### **6.1.2 Criptografia assimétrica**

A criptografia assimétrica surge para resolver o problema da simétrica – se for preciso enviar dados com segurança em um ambiente hostil, como a Internet, como faria? Se a mesma chave for usada para criptografar e decifrar dados, primeiro precisaríamos enviar a chave de descriptografia para estabelecer uma conexão segura. Mas isso significa que estaríamos enviando a chave por uma conexão insegura, e assim a chave pode ser interceptada e usada por terceiros! Como contornar isso?

Para exemplificar, usaremos um cadeado que possui três estados: A (bloqueado), B (desbloqueado) e C (bloqueado). E tem duas chaves distintas. A primeira pode girar apenas no sentido horário (de A a B a C) e a segunda pode girar apenas no sentido anti-horário (de C a B a A).

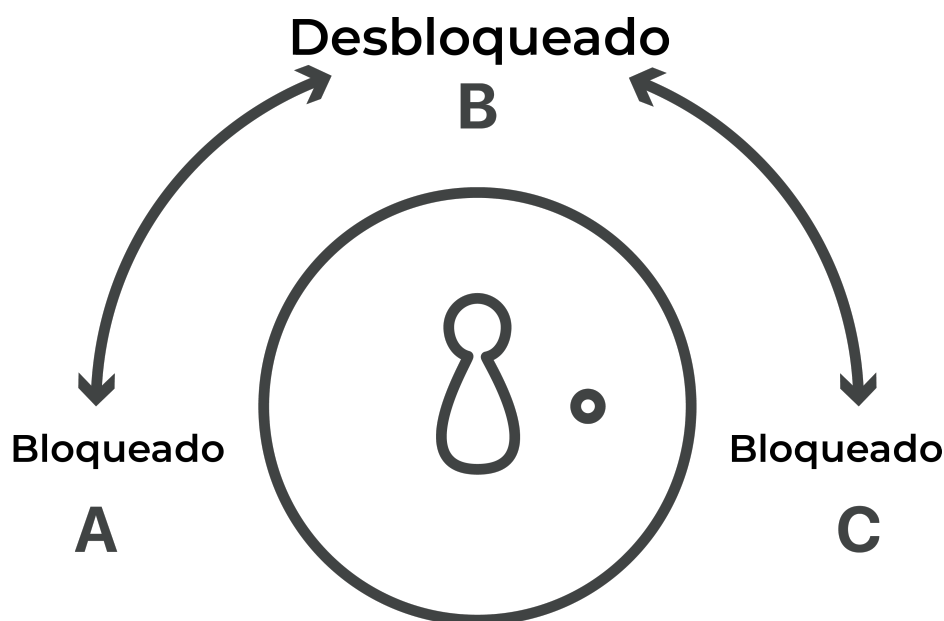


Figura 5: Ilustração da posição das chaves

Ao criptografar uma mensagem, o usuário pega a primeira chave e guarda para si mesmo. Essa chave, sua chave “privada” - porque apenas ele a possui.

A segunda chave, sua chave “pública”: Pode ser distribuída para qualquer pessoa. Assim, o usuário tem sua chave privada que pode mudar de A para B para C. E todos os outros têm sua chave pública que pode mudar de C para B para A.

Colocando isso em prática, imagine que você queira enviar um documento privado para o usuário. Você coloca o documento na caixa e usa uma cópia da chave pública dele para bloqueá-lo. Lembre-se de que a chave pública dele gira apenas no sentido anti-horário, e você a coloca na posição A. Agora a caixa está bloqueada. A única chave que pode passar de A para B é a chave privada, a que ele guardou para si.

### 6.1.3 Funções de hash

Uma função de hash, diferente da criptografia simétrica / assimétrica, é uma função unidirecional. Você pode criar um hash a partir de alguns dados, mas não há como reverter o processo. Como tal, não é uma maneira útil de armazenar dados, mas é uma maneira útil de verificar a integridade de alguns dados. Uma

função de hash recebe alguns dados como entrada e gera uma string aparentemente aleatória (mas nem tanto) que sempre terá o mesmo comprimento. Uma função de hash ideal cria valores exclusivos para diferentes entradas. A mesma entrada exata sempre produzirá exatamente o mesmo hash - e é por isso que podemos usá-la para verificar a integridade dos dados.

## 6.2 Rivest Shamir Adleman – RSA Criando chave publica e privada

RSA – Cryptosystem	
Descrição	matemática
Escolher dois números primos	$p = 2$ $q = 7$
Produto dos números escolhidos	$n = 14$
função Phi $\Phi(n) = (p - 1)(q - 1)$	$\Phi(14) = (7 - 1)(2 - 1)$ $\Phi(14) = (6)(1)$ $\Phi(14) = 6$ <p><i>Coprimos de 14 : 1, 3, 5, 9, 11, 13</i></p>



<p>Escolher o numero e 'encryption'</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1 &lt; e &lt; \Phi(n)</math></li> <li>• <i>coprime de : n e <math>\Phi(n)</math></i></li> </ul>	<p><i>Coprimos de 14 : 1, 3, 5, 9, 11, 13</i></p> <p><i>Coprimos de 6 : 1, 5</i></p> <p><i>Menor que 6 e coprime de 14 e de 6 : 5</i></p> <p><math>e = 5</math></p>
Chave publica	(5, 14)
<p>Escolher o numero d 'decryption'</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>d * e(mod\Phi(n)) = 1</math></li> </ul>	<p><math>d * 5(mod6) = 1</math></p> <p><math>5 * d = 5, 10, 15, 20, 25 \dots 55</math></p> <p><math>5 * 1(mod6) = 5</math></p> <p><math>5 * 2(mod6) = 4</math></p> <p><math>5 * 3(mod6) = 3</math></p> <p><math>5 * 4(mod6) = 2</math></p> <p><math>5 * 5(mod6) = 1</math></p> <p><math>5 * 6(mod6) = 0</math></p> <p>...</p> <p><math>5 * 11(mod6) = 1</math></p>
Chave privada	(11, 14)

Tabela 3: Passo a passo para gerar par de chaves

RSA – Cryptosystem	
Descrição	matemática
<p>Criptografar</p> <p>Chave publica: (5, 14)</p> <p>mensagem: “B”</p> <p><math>A \rightarrow 1</math></p> <p><math>B \rightarrow 2</math></p> <p><math>C \rightarrow 3</math></p> <p><math>D \rightarrow 4</math></p>	<p><math>2^5(mod14)</math></p> <p><math>32(mod14)</math></p> <p><math>4(mod14)</math></p> <p>Mensagem criptografada: <math>4 \rightarrow D</math></p>
<p>Decifrar</p> <p>Chave privada: (11, 14)</p> <p>mensagem: “D”</p> <p><math>A \rightarrow 1</math></p> <p><math>B \rightarrow 2</math></p> <p><math>C \rightarrow 3</math></p> <p><math>D \rightarrow 4</math></p>	<p><math>4^{11}(mod14)</math></p> <p><math>4194304(mod14)</math></p> <p><math>2(mod14)</math></p> <p>Mensagem original: <math>2 \rightarrow B</math></p>

Tabela 4: Como criptografar e decifrar

### 6.3 Criptografia aplicada computação clássica

### 6.4 Criptografia aplicada computação quântica

## 7 Próximos passos

### 7.1 Plano de Redação

### 7.2 Cronograma

Etapas	2020											2021	
	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev
Clássica													
Quântico													
Protótipo													
Entrega Par- cial													
Comparação													
Web App													
Impacto So- cial													
Entrega Final													

Tabela 5: Cronograma original

Acima está uma réplica do cronograma originalmente proposto para este projeto. Na tabela a seguir está mesmo cronograma porém com algumas alterações pontuais:

Justificativa de cada alteração:

1. **O projeto não começou em fevereiro de 2020** pois foi aprovado com ressalvas pela banca, assim esse mês foi voltado ao aprimoramento da proposta.
2. **O projeto foi separado em duas grandes partes** 2020.1 foi voltado a computação clássica, e o plano é que 2020.2 seja focada em computação quântica. Essa

mudança relevante se dá pelo entendimento de que uma pesquisa de apenas dois meses no ramo da computação se tornaria algo raso e os principais conceitos não seriam abordados com a devida intensidade.

3. **O não desenvolvimento do protótipo** se dá pelo atraso da compra dos materiais.
4. **A inclusão do Sistema Operacional e Simulador 24bits** foi uma forma de manter a metodologia “*Project Based Learning*” para o aprendizado na área de computação clássica sem ter os materiais desejados em mãos.

Etapas	2020												2021	
	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	
Clássica														
Quântico														
Protótipo														
Entrega Parcial														
Comparação														
Códigos														
Sistema Operacional														
Simulador 24bits														
Criptografia didática														
Impacto Social														
Entrega Final														

Tabela 6: Cronograma atualizado

### **7.3 Problemas**

Devido a pandemia e principalmente ao atraso não previsto de quatro meses da compra dos materiais para o desenvolvimento do protótipo, este, que estava no cronograma de 2020.1 ainda não foi desenvolvido. Em seu lugar outros projetos como um sistema operacional e um simulador de processador moderno foram feitos – dessa forma é proposto que essa parte da pesquisa seja adiada para um possível projeto no futuro. Com isso, deixarei o segundo semestre de 2020 integralmente voltado à computação quântica, pois, entende-se que é um tema de alta complexidade e relevância nos dias atuais.

## 8 Impactos sociais

O que os computadores quânticos podem fazer? Eles podem facilmente fazer o que parece ser uma tarefa impossível para computadores clássicos. Eles conseguem resolver e quebrar algoritmos de criptografia que protegem os dados de um usuário e a infraestrutura da Internet.

EX: Em outubro de 2019, o Google revelou sua bem-sucedida experiência “Quantum Supremacy” alegando que um problema particularmente difícil foi resolvido em 200 segundos. [4]

A criptografia atual é baseada em matemática e decodificação e essa é uma tarefa bastante complicada para computadores clássicos, já os computadores quânticos a executam com grande facilidade.

EX: O algoritmo de fatoração de Shor <sup>10</sup> é de particular importância porque esse algoritmo quântico significa que a criptografia de chave pública pode ser facilmente quebrada caso o computador quântico seja suficientemente grande.

---

<sup>10</sup>Um algoritmo de computador quântico de tempo polinomial para fatoração de número inteiro. Informalmente, resolve o seguinte problema: Dado um número inteiro, encontre seus fatores primos. Foi inventado em 1994 pelo matemático americano Peter Shor

## **9 Conclusões**

### **9.1 Perspectivas**

## Referências

- [1] *A Half-Century Survey on The Universal Turing Machine*, USA, 1988. Oxford University Press, Inc.
- [2] Grand Rapids Business Journal – David Van Andel. Project-based learning is the future of education, out. 2019.
- [3] Fabio Gagliardi Cozman. Turing e complexidade. University Lecture, 2000.
- [4] Elizabeth Gibney. Hello quantum world! google publishes landmark quantum supremacy claim. *Nature*, 2019.
- [5] G. Ifrah. *The Universal History of Numbers: From Prehistory to the Invention of the Computer*. Wiley, 2000.
- [6] Melhoramentos Ltda. – Michaels. Computador, out. 2019.
- [7] Regina Célia Tamasso Miotto. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. *Revista Katálisis*, 10(SPE):37–45, 2007.
- [8] John von Neumann. First draft of a report on the edvac. Technical report, 1945.
- [9] B. Ram. *Computer Fundamentals: Architecture and Organization*. New Age International, 2000.
- [10] Humberto Rodrigo Sandmann. Ambiente de produção. personal website, 2019.
- [11] UOL – Bruno Santana. Iphone 6 é 120 milhões de vezes mais poderoso que o computador de bordo da apollo 11, jul. 2019.
- [12] Bruce Schneier and Phil Sutherland. *Applied Cryptography: Protocols, Algorithms, and Source Code in C*. John Wiley and Sons, Inc., USA, 2nd edition, 1995.



- [13] A. M. Turing, Michael Woodger, B. E. Carpenter, and R. W. Doran. *A. M. Turing's ACE Report of 1946 and Other Papers*. The MIT Press, Cambridge, Mass. : Los Angeles, April 1986.
- [14] Alan M. Turing. On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 2:230–265, 1936.
- [15] Paul Wazlawick. *História da computação*. Elsevier, Rio de Janeiro, RJ, 2016.