3 Parte III: De Babbage a Hollerith

O Século XIX viu surgir o primeiro projeto de um computador de propósito universal: a Máquina Analítica de Charles Babbage. Neste século também se consolidaram as calculadoras mecânicas baseadas em engrenagens, que passaram a ser bastante utilizadas em empresas e organizações. Pesquisas iniciais com dispositivos elétricos como os relês, permitiram que ao final desse Século as primeiras máquinas somadoras ou contadoras com base eletromecânica fossem construídas por Hermann Hollerith. Não menos importante, durante o Século XIX ocorreram avanços nas ciências da Lógica e Matemática, devidos principalmente a Boole, Frege e outros, que lançaram os fundamentos teóricos para a Ciência da Computação que iria surgir no início do Século XX com trabalhos como o de Turing.

3.1 Máquina Diferencial de Babbage – 1821

Lembra das tabelas astronômicas de Kepler que motivaram a construção das calculadoras de Schickard e Pascal? Pois em 1821 o matemático e inventor Charles Babbage (Reino Unido, 1791-1871) estava revisando várias tabelas astronômicas calculadas a mão. Após encontrar vários erros, diz-se que ele exclamou “Por Deus! Eu queria que esses cálculos tivessem sido executados a vapor!”. Esse brado marcou o início de uma nova evolução no projeto das máquinas de calcular.

As máquinas de cálculo baseadas em engrenagens que efetuavam somas facilmente e lançavam o “vai um” para a esquerda sempre que necessário já tinham por essa época quase duzentos anos de existência. Mas a máquina que Babbage idealizou inicialmente, seria muito mais complexa.

A Máquina Diferencial (Difference Engine) seria capaz de computar mecanicamente séries de polinômios utilizando o método das diferenças, que permite calcular o valor de uma série de polinômios usando apenas somas, coisa que as máquinas da época já eram capazes de fazer, por exemplo, o polinômio $p(x) = x^2+1$, define uma série de valores para x valendo 1, 2, 3, etc. No caso:

- $p(1) = 1^2+1 = 2$
- $p(2) = 2^2+1 = 5$
- $p(3) = 3^2+1 = 10$
- etc.

O método das diferenças exige que se calcule manualmente ou que se saiba de antemão os n+1 primeiros valores da série, onde n é o grau do polinômio. Assim, como x^2+1 tem grau 2, precisamos calcular os 3 primeiros valores, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Três primeiros valores para o polinômio x^2+1.

x	$p(x)$
1	2

2	5
3	10

A primeira diferença $1d(x)$ é calculada como $p(x+1) - p(x)$. Assim, temos que calcular:

- $p(2) - p(1) = 5\text{-}2 = 3$
- $p(3) - p(2) = 10\text{-}5 = 5$.

Esses valores são mostrados na coluna "1*d*" da Tabela 2.

Tabela 2: Inclusão da primeira diferença.

x	$p(x)$	$1d(x)$
1	2	3 = 5-2
2	5	5 = 10-5
3	10	

Na sequência, o método exige que se calcule similarmente a segunda diferença, que é obtida subtraindo os valores das primeiras diferenças, ou seja, $1d(3) - 1d(2) = 5\text{-}3 = 2$. Esse valor é mostrado na coluna "2*d*" da Tabela 3.

Tabela 3: Inclusão da segunda diferença.

x	$p(x)$	$1d(x)$	$2d(x)$
1	2	3	2 = 5-3
2	5	5	
3	10		

Sabe-se que se o polinômio é de grau n, então a n-ésima diferença será constante, ou seja, terá sempre o mesmo valor. Assim, a coluna $2d(x)$ na tabela terá apenas o valor 2 em todas as suas linhas. Neste ponto, considera-se que a tabela está inicializada e pode-se proceder ao cálculo de todos os valores do polinômio para $n > 3$.

Fazendo primeiramente o cálculo para $p(4)$, o primeiro passo é colocar 2 (a constante) na posição $2d(2)$. Já a coluna das primeiras diferenças pode ter seus valores calculados como $1d(x) = 1d(x\text{-}1) + 2d(x\text{-}1)$. Assim, $1d(3) = 1d(2) + 2d(2) = 5+2 = 7$. O resultado é mostrado na Tabela 4.

Tabela 4: Calculando a $1d(3)$ a partir de $1d(2) + 2d(2)$.

x	$p(x)$	$1d(x)$	$2d(x)$
1	2	3	2
2	5	5	2
3	10	7 = 2+5	

De forma similar, $p(4)$ é calculado como $p(3) + 1d(3) = 10+7 = 17$, o que corresponde corretamente ao valor de 4^2+1. O resultado é mostrado na Tabela 5.

Tabela 5: Calculando *p*(4) a partir de *p*(3) + 1*d*(3) .

x	*p*(*x*)	1*d*(*x*)	2*d*(*x*)
1	2	3	2
2	5	5	2
3	10	7	
4	17 = 10+7		

Repetindo-se estes passos, pode-se calcular $p(5)$, $p(6)$, etc. até onde se queira ir. O importante é que esse método não exige multiplicações nem subtrações, coisa mais complicada para máquinas movidas a engrenagens, como vimos anteriormente. Assim, a tabulação de polinômios poderia ser feita caso uma máquina com a capacidade de efetuar estas somas e armazenar os resultados intermediários das diferenças pudesse ser construída.

Para polinômios de ordem mais alta seriam necessárias mais diferenças, por exemplo, para um polinômio de grau 7, seria necessário ir até a sétima diferença. Mas o importante é que ela seria uma constante e a partir daí a série polinomial inteira poderia ser calculada.

Esta foi a máquina que Babbage idealizou. Ela teria 8 acumuladores, sendo, portanto, capaz de calcular polinômios de ordem 7. Cada acumulador seria semelhante a uma calculadora de Leibniz em funcionalidade, permitindo que a cada giro da manivela um número fosse somado nele. No caso do exemplo acima, a máquina teria que ter os acumuladores 6, 7 e 8 inicializados com os valores 10, 5 e 2, respectivamente. No primeiro instante, a máquina faria o acumulador 8 ser somado no acumulador 7, o qual passa a valer 2+5 = 7. Em seguida, o acumulador 7 seria somado ao acumulador 6, que passaria a valor 7+10 = 17. Assim estaria calculado o valor do polinômio para x = 4. Em seguida repete-se a sequência: soma-se o valor do acumulador 7 no 6: 2+7 = 9, e o valor do acumulador 6 no 5: 17+9 = 26, ou seja, o valor do polinômio para $x = 5$.

A máquina de Babbage, porém, não faria essas somas sequencialmente do primeiro para o último acumulador. Ele idealizou um método que faria as adições em paralelo em dois ciclos: inicialmente somaria os valores dos acumuladores pares nos ímpares à sua esquerda e depois dos acumuladores ímpares nos pares à sua esquerda. Desta forma, a velocidade da máquina não seria afetada pela ordem do polinômio. Com a técnica sequencial, um polinômio de ordem 7 gastaria 7 ciclos da máquina, com a técnica paralela, apenas 2 ciclos. Mesmo que a máquina fosse construída com 100 acumuladores, ainda assim, ela usaria apenas 2 ciclos para gerar o próximo valor da sequência.

A rigor, a ideia de construir essa máquina era um pouco mais antiga. O primeiro a idealizar sua possibilidade foi Johann H. Müller como já vimos. A ideia foi publicada em um livro em 1786, mas ele não obteve recursos para fazer o projeto avançar.

Já Babbage, conseguiu recursos financeiros do governo inglês em 1823 para iniciar a construção de sua máquina. Porém, apenas partes dela (provas de conceito) foram construídas durante a vida de Babbage. Entre outros fatores, consta que ele se desmotivou em construir a máquina diferencial porque durante este projeto ele vislumbrou uma máquina totalmente inovadora: a máquina analítica, que tornaria a máquina diferencial supérflua. Porém, ele acabou não terminando nem uma nem outra. Em 1842, quando o governo inglês cancelou o projeto, o valor gasto de 17 mil libras equivalia ao preço de 22 locomotivas novas, uma verdadeira fortuna.

A partir da evolução das ideias de Babbage com a máquina analítica ele conseguiu conceber uma segunda versão da máquina diferencial, conhecida hoje como "Segunda Máquina Diferencial". Ela usaria apenas 8 mil peças, um terço do número de peças necessário para o projeto original. Mas infelizmente ele não conseguiu mais convencer ninguém a financiar seu projeto e morreu frustrado dizendo que a história o julgaria. De fato, cerca de 100 anos depois, seu projeto foi retomado com a construção dos primeiros computadores da era moderna.

Em 2002 o Museu de Ciências de Londres construiu a primeira versão totalmente operacional da segunda máquina diferencial, após um projeto de 17 anos. Ela funciona perfeitamente como previsto pelo seu criador. Inclusive foi construída a impressora que ele idealizou para imprimir as sequencias de números. A máquina é mostrada na Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-1.

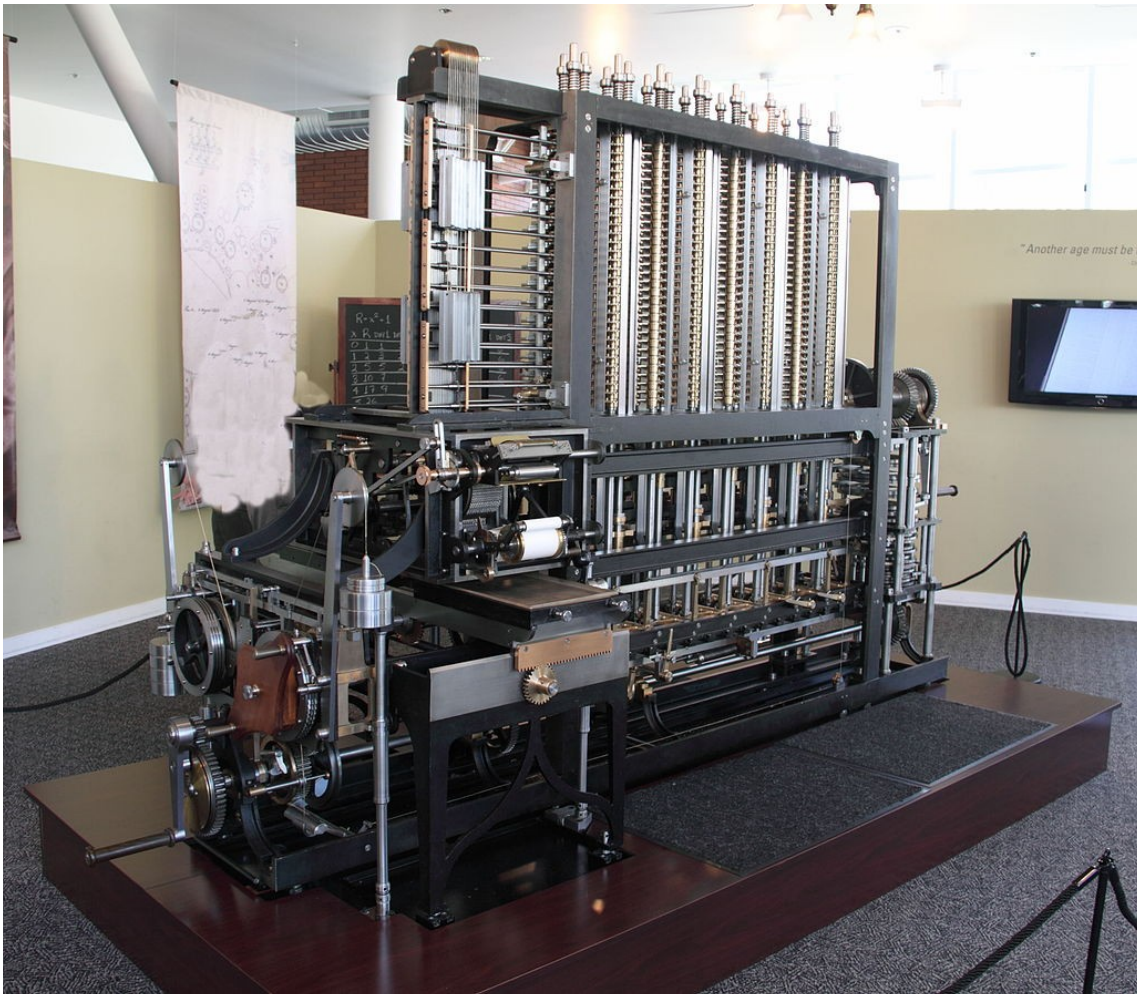


Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-1: Segunda máquina diferencial de Babbage construída entre 1985 e 2002 pelo Museu de Ciências de Londres.[1] 1/1

Babbage inventou o "travamento". Quando a máquina parava com alguma engrenagem em uma posição inválida (entre dois números), a máquina travava propositalmente para que o operador corrigisse o problema e evitasse a propagação do erro. Embora os engenheiros procurem minimizar esse tipo de situação, computadores modernos continuam fazendo isso até hoje, embora nem sempre de forma proposital.

3.2 Semyon Korsakov e o Registro de Informação em Cartões Perfurados – 1832

Semyon Korsakov (Ucrânia, 1787-1853) foi um funcionário público que trabalhava no departamento de estatística do Ministério da Polícia na ~~União Soviética~~Rússia. Em 1832 ele publicou série de métodos e mecanismos para armazenamento de informação em cartões perfurados. Tais cartões já eram usados desde os tempos de Jacquard, mas apenas na indústria têxtil. Korsakov teve o mérito de propor, pela

[1] "Difference engine" by Canticle at English Wikipedia. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Difference_engine.JPG#/media/File:Difference_engine.JPG

primeira vez, seu uso para armazenar e facilitar a busca de informação. Suas máquinas seriam capazes de localizar informações em cartões realizando aquilo que hoje fazemos com a pesquisa por palavras-chave na Internet.

Infelizmente ele não foi capaz de convencer a Imperial Academia de Ciências de São Petersburgo de que seu trabalho era importante, e suas invenções ficaram esquecidas até que na década de 1960 foram redescobertas a partir de um trabalho de revisão histórica.

Korsakov se referia às suas invenções como “máquinas para comparação de ideias” ou “máquinas inteligentes”. De fato, ele é considerado um dos precursores da área de sistemas especialistas. Mais de 100 anos antes dos primeiros sistemas especialistas médicos ele, que também tinha formação como médico homeopata, propôs que suas máquinas poderiam ser usadas para que um médico com pouca experiência pudesse perfurar os sintomas de um paciente em um cartão de papel e, a partir da busca, a máquina poderia localizar prescrever automaticamente um tratamento, agindo dessa forma como um sistema especialista.

Korsakov apresentou os projetos para cinco diferentes máquinas:

- Homeoscópio linear com partes móveis;
- Homeoscópio linear sem partes móveis;
- Homeoscópio plano;
- Ideoscópio; e
- Comparador simples.

A Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-2 mostra um desenho do homeoscópio linear sem partes móveis, feito pelo próprio Korsakov.

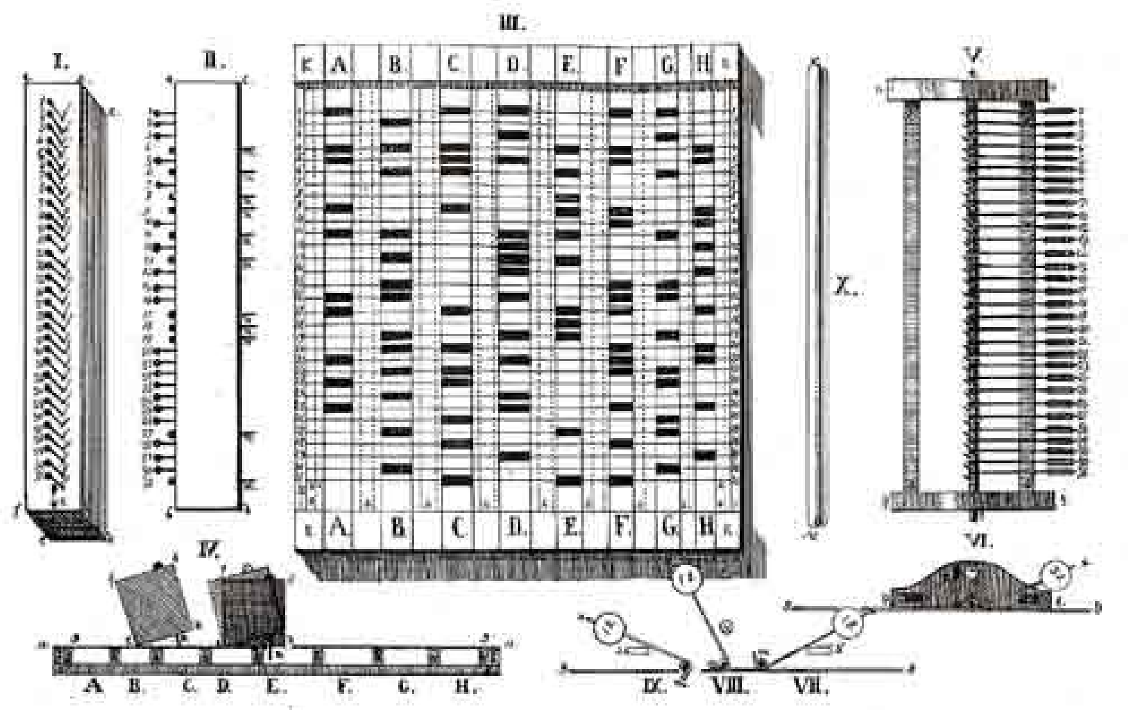


Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-2: Homeoscópio linear sem partes móveis.[2] 1/1

O funcionamento do homeoscópio linear sem partes móveis pode ser entendido da seguinte forma: imagine uma tabela na qual as linhas superiores são perfuradas cada uma com um padrão diferente e a linha inferior contém a informação associada ao padrão. Essa ideia, demonstrada na Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-3 é muito semelhante à estrutura de dados baseada em chave-valor (ou dicionário) usada nas modernas linguagens de programação. Na figura, as quatro primeiras linhas representam a chave e a quinta linha os dados associados à cada chave. Cada uma das quatro primeiras linhas poderia representar por exemplo um dos sintomas observados no paciente, e a linha inferior poderia conter, por exemplo, o tratamento. A coluna correspondente a um tratamento teria perfurados apenas os sintomas que eventualmente levariam a conclusão de que aquele era o tratamento adequado.

O		O		O		O	O	O	
	O					O	O		O
			O	O	O	O			
		O			O		O	O	O
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10

Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-3: Esquema representativo de uma tabela onde informação é acessada a partir de padrões perfurados. 1/2

O padrão de pesquisa então seria representado através de uma barra com pinos (Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-4) que poderiam ser baixados ou não de

[2] "Linear Homeoscope" by Semen Korsakov - Korsakov, Semen N. Apercu d`un procede nouveau d`investigation au moyen de machines a comparer les idees - St. Petersbourg, 1832 (downloaded from Russian WP and converted to PNG). Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Linear_Homeoscope.png#/media/File:Linear_Homeoscope.png

forma que quando a barra corresse sobre a tabela ela seria encaixada apenas na coluna na qual os furos correspondessem aos pinos abaixados. Assim, por exemplo, se os sintomas relativos à primeira e terceira linhas fossem registrados como pinos abaixados na primeira e terceira posição da barra, ao correr sobre a tabela da esquerda para a direita a barra iria parar apenas na coluna 5 e o tratamento aplicado seria D5.

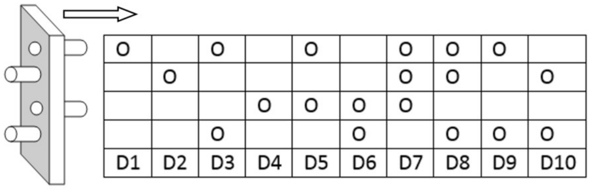


Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-4: Esquema da barra de leitura de padrão. 1/2

Para que esse mecanismo efetivamente funcionasse era necessário que as colunas fossem ordenadas de forma que as mais com mais furos ficassem à direita das com menos furos. Por exemplo, com os mesmos pinos 1 e 3 abaixados, caso a coluna 7 fosse encontrada antes da coluna 5, o tratamento indicado seria D7 e não D5, já que a coluna 7 tem três furos, dois dos quais correspondem ao padrão de pesquisa.

O próprio Korsakov percebeu que seu mecanismo poderia ser aplicado em uma infinidade de áreas e não apenas em diagnóstico médico.

3.3 Calculadora com Teclado de Torchi – 1834

Até a invenção do teclado, trabalhar com calculadoras ainda era muito difícil. Especialmente pelo fato de que as vezes a precisão com que os discos ou barras eram movidos poderia afetar o funcionamento das máquinas, causando emperramentos ou resultados errados.

A invenção da primeira calculadora com teclado (Macchina pei Conteggi) é atribuída a Luigi Torchi (Itália, 1812-?). Assim, como no caso de Schickard, trata-se de uma invenção que foi redescoberta muitos anos depois e que provavelmente, apesar de ter sido a primeira, não chegou a influenciar decisivamente os desenvolvimentos posteriores, visto que as ideias que ela realizou inicialmente acabaram sendo inventadas de forma independente por outros cientistas algumas décadas mais tarde.

De fato, Torchi sequer era cientista; ele era um construtor de moinhos de apenas 22 anos quando apresentou ao Instituto Real-Imperial Lombardo de Ciências, Letras e Artes o protótipo de uma máquina calculadora com teclado, pelo qual ele recebeu a medalha de ouro em 1834.

Existem apenas duas descrições conhecidas da máquina de Torchi: a descrição do prêmio recebido em 1834 escrita à mão pela banca avaliadora e um artigo anônimo publicado na revista “La Fama” em 1840, a qual apresentava uma concepção da máquina feita por um artista.

Por recomendação da banca que o premiou, Torchi teria recebido 1000 liras para construir uma versão em metal mais robusta de sua máquina, mas não existe registro de que ela tenha sido construída algum dia. O protótipo original, feito com madeira e arame ficou em exposição de 1834 a 1837 no Palácio de Ciência e Artes de Brera. Infelizmente a informação disponível sobre a máquina é muito pouca para que se possa saber com precisão como ela funcionava, e o protótipo original, reexaminado em 1872 já havia perdido muitas peças, tornando impossível sua reconstrução.

3.4 Relê Eletromecânico de Joseph Henry – 1835

Joseph Henry (Estados Unidos, 1797-1878) foi um cientista americano que estudou o eletromagnetismo, vindo a descobrir um fenômeno muito interessante, chamado indução eletromagnética. Uma bobina, ou seja, um fio condutor enrolado várias vezes ao longo de um cilindro, quando ativada com energia elétrica, forma um campo magnético capaz de atrair metais. Com este fenômeno pode-se, por exemplo, usar bobinas elétricas para atrair placas metálicas que funcionam como interruptores de corrente em circuitos independentes.

Como mostra o lado esquerdo da , se não houver energia na bobina (1), não haverá indução eletromagnética no núcleo (2) e assim, a placa metálica (3) não é atraída e não passa corrente no circuito (4) que está aberto, ou seja, sem contato. No lado direito da figura, aplica-se energia à bobina (1). Isso faz com que o núcleo (2) atraia a placa metálica (3) e esta, devido ao seu movimento, faz fechar o contato no circuito (4), que passa a conduzir energia.

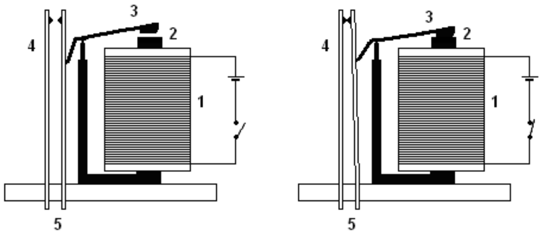


Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-5: Relê eletromecânico.[3] 1/2

Diz-se que Henry não percebeu as possíveis implicações de sua invenção e que a apresentava apenas como uma curiosidade para seus alunos. Porém, o relê eletromecânico foi a base tecnológica para a invenção do telégrafo por Samuel Morse (Estados Unidos, 1791-1872), ainda no século XIX.

Além disso, o relê eletromecânico foi usado para a construção dos primeiros computadores do Século XX, como o Z2 e Z3, os Harvard Mark I e II e outros. Acontece que embora um conjunto de relês fosse mais caro de implementar do que um sistema de engrenagens, como no caso das calculadoras mecânicas no estilo da Arithmometer, era muito mais fácil reconfigurar um conjunto de relês usando conectores e cabos elétricos. Dessa forma, novos circuitos poderiam ser facilmente construídos ou “programados” nos computadores a relê, coisa que com calculadoras mecânicas seria impraticável.

---

[3] By cs:Wikipedista:Jamottl, corrected by Jx - cs:Image:Schéma relé.PNG, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4823359

Os computadores a relê, porém, tiveram vida curta, pois a invenção e uso da válvula eletrônica rapidamente tornou-se o padrão para a construção de computadores no início dos anos 1950.

3.5 Máquina Analítica de Babbage – 1837

Charles Babbage ficou famoso por duas grandes criações: a máquina diferencial, que já vimos, e a máquina analítica, parte da qual é mostrada na Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-6. Enquanto a máquina diferencial era simplesmente um calculador de polinômios, a máquina analítica que ele imaginou era um computador completo no sentido moderno, ou seja, uma máquina capaz de computar qualquer função computável por uma máquina de Turing, conceito que aliás só seria definido quase 100 anos depois.

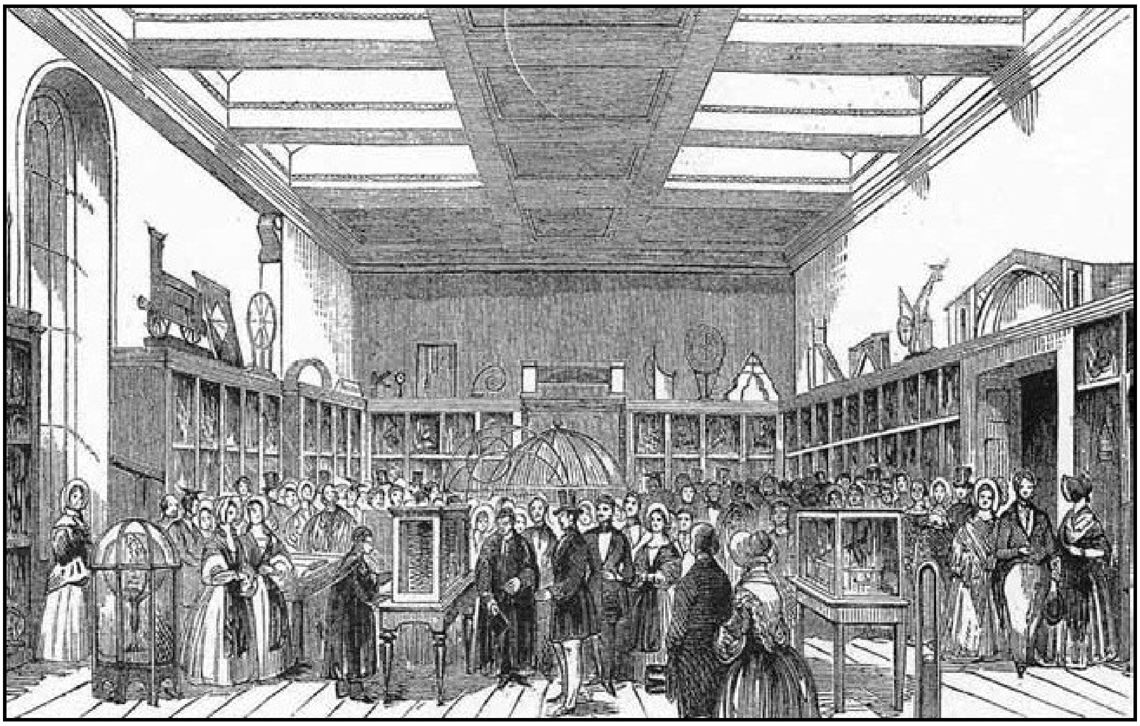


Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-6: Parte da máquina analítica em demonstração.[4] 1/1

A máquina analítica era programável. Ela nunca foi construída até hoje; apenas pequenas partes foram feitas ao longo dos anos, mas nunca uma máquina completa. Ela seria programável com o uso de cartões perfurados. Babbage inspirou-se efetivamente nos teares de Jacquard para criar o mecanismo que permitiria que sua máquina fosse programável e, portanto, um computador de propósito geral. Diz-se até que ele teria em sua sala uma cópia do tecido no qual aparecia a imagem de Jacquard, aquele tecido automaticamente a partir de 10 mil cartões e apresentado na Figura 2.19.

[4] By Unknown engraver - http://www.academia.edu/1853185/Premises_for_exhibition_and_use_Kings_College_London_Museum_mid-_to_late_19th_century, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25667658

A máquina era descrita como tendo um conjunto de registradores compostos por colunas de discos numerados, cada coluna representaria um número em base decimal. Como Babbage provavelmente não tinha conhecimento da invenção do relê, ocorrida quase que concomitantemente à sua criação, ele baseou seu design no conceito das calculadoras mecânicas, que na época eram tecnologia já dominada e consistente. A máquina teria ainda uma unidade de processamento denominada "moinho", a qual seria capaz de realizar pelo menos as quatro operações básicas da aritmética.

Para multiplicar dois números, por exemplo, a máquina deveria ser alimentada com 4 cartões: um para indicar que a operação é de multiplicação, dois que indicariam em quais registradores estariam os operandos e um último indicando em qual registrador o resultado deveria ser armazenado.

Assim, embora Babbage nunca tenha definido uma linguagem de programação específica para sua máquina, especula-se que ela teria sido muito parecida com a linguagem de máquina (Assembly) usada pelos computadores modernos. Por exemplo, para calcular o resultado da expressão $(ax+y)^2$, a máquina poderia ser programada com o seguinte conjunto de instruções:

- Armazenar a no registrador V_0.
- Armazenar x no registrador V_1.
- Armazenar y no registrador V_2.
- Multiplicar V_0 por V_1, armazenando o resultado em V_3 (ax).
- Somar V_2 e V_3, armazenando o resultado em V_4 ($ax+y$).
- Copiar V_4 para V_5.
- Multiplicar V_4 por V_5 armazenando o resultado em V_6 $(ax+y)^2$.

Essa forma de resolver um problema, trabalhando uma parte de cada vez, é denominada de "análise"; daí a máquina ser chamada de "máquina analítica", pois foi concebida para realizar não apenas um cálculo isolado ou pré-programado, mas para realizar qualquer tipo de cálculo que possa ser feito usando-se o processo de análise. Para fazer diferentes processos de cálculo bastaria alimentar a máquina com um conjunto diferente de cartões.

Os registradores foram nomeados com a letra V, mesmo no tempo de Babbage, visto que eles estariam representando "variáveis", nome ainda hoje usado. Ainda uma distinção importante foi feita em relação a essas variáveis. No exemplo acima, as variáveis V_0 a V_2 são denominadas "variáveis de entrada", pois elas contém os dados iniciais com os quais a máquina é carregada. As variáveis V_3 a V_5 são denominadas de "variáveis intermediárias", porque elas contêm valores intermediários do cálculo e finalmente a variável V_5, neste exemplo, seria a "variável de saída", pois ela contém o resultado final do cálculo.

A máquina analítica também cunhou no século XIX o termo "memória" (*storage*), fundamental para os computadores modernos. A memória da máquina era considerada como sendo o conjunto das colunas que continham os números, ou seja, o conjunto dos registradores.

O tratamento de números negativos seria feito considerando-se que o disco mais no alto da coluna, ou seja, o de mais alta ordem, indicaria a condição do número ali inscrito; se ele fosse par, o número da coluna seria positivo, se ele fosse ímpar, o número seria negativo. Essa codificação ainda é usada nos computadores atuais, apenas com a ressalva de que como eles trabalham com base binária, o dígito de mais alta ordem sendo zero indica número positivo e sendo um indica número negativo.

A máquina seria capaz também de realizar operações mais complexas, como a potenciação. Para calcular a^n, por exemplo, bastaria carregar o valor de *a* em V_0 e *n* em V_1. O cartão de operação indicaria a potenciação aplicada a essas duas variáveis, e indicaria que o valor final deve ser armazenado em V_2. Assim, a máquina faria o seguinte: ela carregaria o valor n-1 em um aparato especial de contagem ao mesmo tempo em que armazenaria o valor de *a* em V_2. Na sequência, a máquina verificaria o valor contido nesse contador; se fosse igual a zero a operação estaria concluída. Caso contrário a máquina iria subtrair um do contador e multiplicar V_2 pelo valor de *a* armazenado em V_0. Procedendo dessa forma até que o contador fosse igual a zero, a máquina acabaria registrando em V_2 o valor de a^n.

Caso o número *n* fosse negativo, a máquina procederia a uma sequência de divisões ao invés de multiplicações.

Outro conceito que surgiu com essa máquina foi o de constantes em programação. Valores como *pi*, por exemplo, poderiam ser introduzidos diretamente no moinho a partir de cartões especiais, sem precisar ser introduzidos em um dos registradores ou variáveis. Assim, para multiplicar, por exemplo, V_0 por *pi* bastaria introduzir um cartão de operação de multiplicação, o cartão que indica que um dos operandos está em V_0, o cartão que indica que o segundo operando é a constante *pi* e o cartão que indica em qual variável o resultado deve ser armazenado.

3.6 A Primeira Programadora: Ada Lovelace – 1842

Ada Augusta Byron King (Inglaterra, 1815-1852), mais conhecida como Ada Lovelace, pois foi Condessa de Lovelace, desde cedo interessou-se pelo trabalho de Babbage. Ela traduziu para o inglês um artigo escrito em francês pelo italiano L. F. Menabrea em 1842 ao qual ela adicionou tantas notas que chegaram a exceder o tamanho do próprio artigo. Matemática amadora, Ada é considerada a primeira programadora de computadores da história por sua capacidade de imaginar e descrever estruturas como o desvio condicional, o laço condicional e as sub-rotinas, conceitos que foram incorporados aos computadores modernos e que são essenciais para seu funcionamento.

Entre várias contribuições, Ada percebeu que a máquina era mais do que uma mera calculadora, como a máquina diferencial, capaz apenas de computar polinômios: ela era uma máquina capaz de simular qualquer outra máquina de computação desde que programada com os cartões corretos. Ela percebeu que a sequência de cartões (programa) era independente dos valores efetivamente operados (aqueles armazenados nas variáveis de entrada), dando origem ao conceito de "procedimento", fundamental nas linguagens de programação: "*The operating mechanism can even be thrown into action independently of any object to operate upon* (*although of course no result could then be developed*)."[5].

Ada destacou também que tal máquina seria facilmente capaz de trabalhar com símbolos quaisquer e não apenas com números. Se uma linguagem simbólica fosse criada, por exemplo, para representar as harmonias musicais, ela acreditava que a máquina seria capaz de compor quaisquer músicas, desse que devidamente instruída para isso. "*Supposing, for instance, that the fundamental relations of pitched sounds in the science of harmony and of musical composition were susceptible of such expression and adaptations, the engine might compose elaborate and scientific pieces of music of any degree of complexity or extent.*"[6].

Outro exemplo desta capacidade de tratamento simbólico da máquina foi a alusão ao sinal positivo ou negativo dos números nas colunas de variáveis; os números pares e ímpares poderiam ser facilmente substituídos pelos sinais "+" e "-" (Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-7).

$$\begin{array}{ccccc} \mathrm{V}_1 & \mathrm{V}_2 & \mathrm{V}_3 & \mathrm{V}_4 & \&\mathrm{c.} \\ + & + & + & + & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \&\mathrm{c.} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 9 & 0 & \\ 5 & 7 & 8 & 0 & \&\mathrm{c.} \\ \boxed{a} & \boxed{n} & \boxed{x} & \boxed{ax^n} & \\ \multicolumn{3}{c}{\underbrace{\hphantom{aaaaaaaaaaaa}}_{ax^n}} & & \end{array}$$

Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-7: Representação de símbolos (os sinais "+" no alto) e números nas colunas de variáveis.[7] 1/3

Em uma de suas notas, Ada define claramente o comando de atribuição, inclusive fazendo a distinção necessária com relação à expressão algébrica similar. Ela observa

[5] Nota *A* ao manuscrito de Menabrea. Tradução: "O mecanismo operacional pode mesmo ser colocado em ação independentemente de qualquer objeto para operar (embora, certamente, nenhum resultado seja então obtido)".

[6] Nota *A* ao manuscrito de Menabrea. Tradução: "Suponha, por exemplo, que as relações fundamentais entre as tonalidades na ciência da harmonia e a composição musical fossem susceptíveis a tais expressões e adaptações; a máquina poderia compor peças musicais elaboradas e científicas em qualquer grau de complexidade ou duração".

[7] Imagem de domínio público. Fonte: Menabrea, L. F. (1842). Sketch of the Analytical Engine Invented by Charles Babbage. Bibliothèque Universelle de Genève, October, No. 82. Disponível em: http://www.fourmilab.ch/babbage/sketch.html

que as colunas de discos que contém as variáveis são efetivamente depósitos de números (*storehouse*) e que alguns destes depósitos, especialmente os utilizados para armazenar valores intermediários nos cálculos, podem ser utilizados mais de uma vez. Por exemplo, se V_3 já armazenou um valor intermediário que não vai mais ser necessário nos cálculos, então uma próxima computação pode armazenar na mesma variável V_3 o valor de um novo cálculo. Assim, as variáveis realmente podem assumir vários significados diferentes ao longo do tempo e não necessariamente o valor de uma combinação específica de outras variáveis.

Para indicar os vários instantes de tempo ou estados dessas variáveis ela utiliza índices sobrescritos. Assim, o estado inicial de uma variável, quando ela contém apenas zeros, seria indicado por ${}^0V$. Depois de armazenar um valor qualquer nessa variável, ela passaria a ser indicada como ${}^1V$. Se posteriormente outro valor qualquer fosse armazenado na mesma variável, ela passaria a ser denominada ${}^2V$, e assim por diante.

Assim, a definição de uma variável passando de um estado no qual ela tem um valor específico para um novo estado, é indicada, por exemplo, da seguinte forma: ${}^{m+1}V_n = {}^{q}V_p + {}^{m}V_n$. Esse é exatamente o significado da instrução de atribuição, conforme utilizado nas modernas linguagens de programação. Ada observa que a notação algébrica usual $V_n = V_p + V_n$ seria inadequada, pois se a atribuição fosse entendida como igualdade essa equação seria verdadeira apenas de V_p fosse zero, o que não é a intensão.

Em função da possibilidade de realizar diferentes escolhas na ordem em que as operações são realizadas, ela tece comentários referentes à otimização de tempo da operação da máquina: "*In almost every computation a great variety of arrangements for the succession of the processes is possible, and various considerations must influence the selection amongst them for the purposes of a Calculating Engine. One essential object is to choose that arrangement which shall tend to reduce to a minimum the time necessary for completing the calculation*."[8].

Ao explicar como calcular uma série finita de termos matemáticos, ela cunha o conceito de ciclo ou laço repetitivo: "*A cycle of operations, then, must be understood to signify any set of operations which is repeated more than once*."[9]. Ela não apenas define o laço repetitivo, mas apresenta um exemplo de um laço dentro de outro laço e especula que poderiam haver mesmo problemas que exigissem "ciclos de ciclos de ciclos" em uma regressão indeterminada (como de fato acontece com programas de

---

[8] Nota *D* ao manuscrito de Menabrea. Tradução: "Em quase toda computação, uma grande variedade de arranjos para a sucessão de processos é possível, e várias considerações devem influenciar a seleção entre eles para os propósitos da Máquina Calculadora. Um elemento essencial é escolher o arranjo que tenderá a reduzir a um mínimo o tempo necessário para completar o cálculo".

[9] Nota *E* ao manuscrito de Menabrea. Tradução: "Um ciclo de operações então deve ser entendido como significando qualquer conjunto de operações que é repetido mais do que uma vez".

computador). O mecanismo de laço poderia ser implementado pela máquina caso ela pudesse retroceder o conjunto de cartões *n* posições e reiniciar dali sua operação. Tecnicamente isso era possível.

Na nota G ao manuscrito de Menabrea, Ada apresenta um algoritmo completo para computar os números de Bernoulli, o qual é mostrado na Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-8. Esse algoritmo especificamente é considerado o primeiro programa de computador já escrito no mundo.

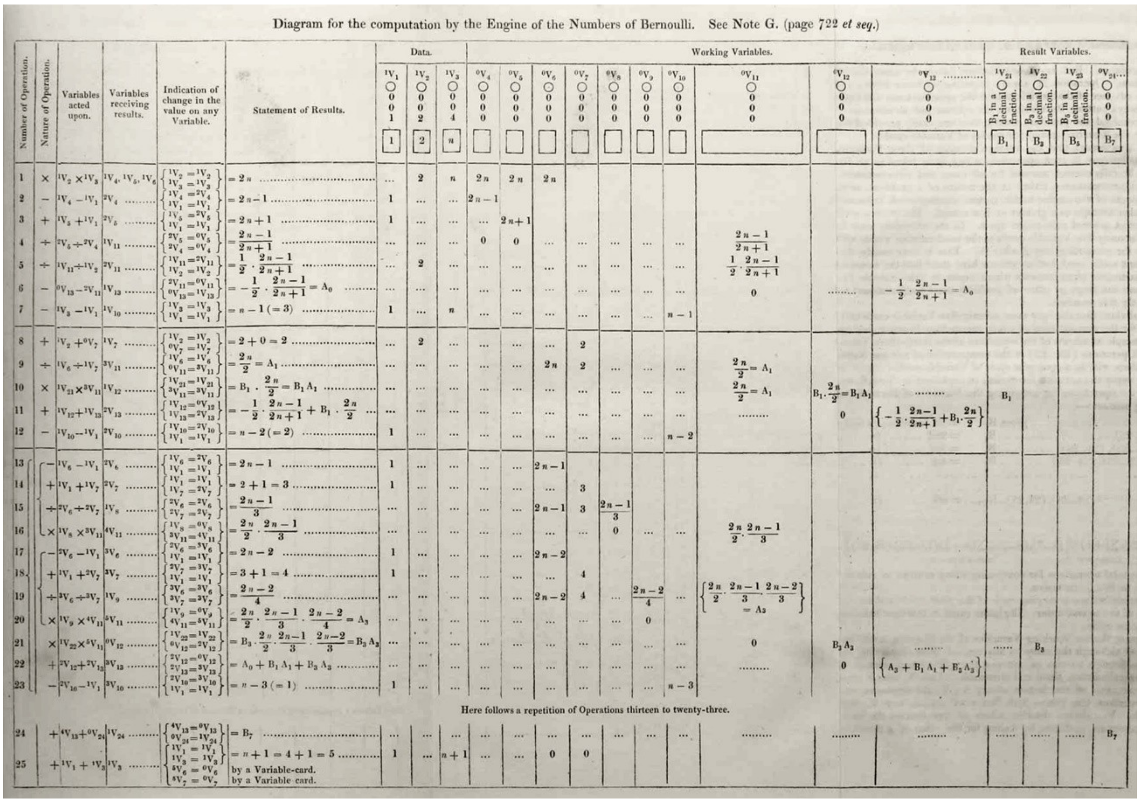


Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-8: O primeiro programa de computador.[10] 1/1

3.7 A Máquina Relacional de Alfred Smee – 1851

Um contemporâneo de Babbage e Lovelace, o Dr. Alfred Smee (Inglaterra, 1818-1877) foi também um visionário que seguindo a linha de Hobbes, Llull, Kircher e outros, sonhou com a possibilidade de automatizar não apenas o cálculo matemático, mas toda a forma de raciocínio humano. Em 1851 ele publicou um importante livro ("O processo do pensamento adaptado às palavras e linguagem") que além de ser um tratado sobre lógica e raciocínio, especulou sobre a possibilidade de que o pensamento humano seja reproduzível mecanicamente ou eletricamente. Diz ele: "Pelas leis que já foram detalhadas, parece que o pensamento é regido por princípios fixos. Em função do conhecimento destes princípios, ocorreu-me que dispositivos

[10] "Diagram for the computation of Bernoulli numbers" by Ada Lovelace - http://www.sophiararebooks.com/pictures/3544a.jpg. Licenced under Public Domain via Wikimedia Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagram_for_the_computation_of_Bernoulli_numbers.jpg#/media/File:Diagram_for_the_computation_of_Bernoulli_numbers.jpg

mecânicos poderiam ser construídos para obedecer às mesmas leis, e produzir os resultados que se consideraria obteníveis apenas pela operação da própria mente"[11].

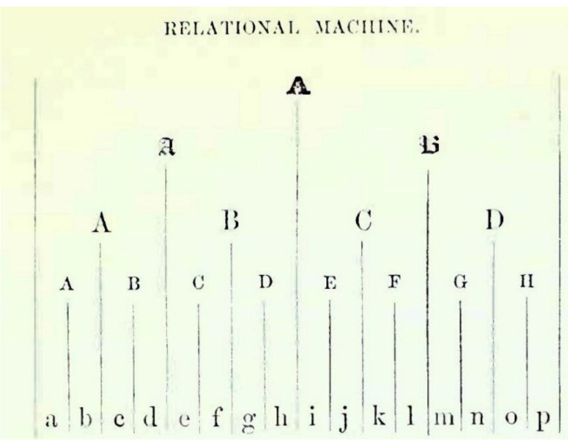
Inicialmente ele propunha que ideias eram formadas a partir de propriedades cuja presença ou ausência poderia ser verificada, como por exemplo, aspereza, cor, transparência etc. Cada palavra teria que ser denotada por um símbolo e esses símbolos seriam arranjados de forma que suas relações com outros símbolos pudessem ser representadas. Assim, o arranjo geométrico dos símbolos seria fundamental para o correto funcionamento da máquina.

Essa observação ele obteve a partir da suposição de que a presença ou ausência de uma propriedade seria registrada no cérebro a partir da presença ou ausência de um sinal elétrico em um nervo. Assim, vários nervos ativados a partir de sensores de visão, tato, audição etc. poderiam, por sua combinação, produzir as ideias mais complexas que o cérebro é capaz de idealizar. Tal princípio não se diferencia muito das modernas redes neurais artificiais.

Ele imaginava ainda que a memória (por exemplo, lembrar de um objeto redondo e quente) poderia ser o resultado da reativação das fibras nervosas correspondentes pelo próprio cérebro, sem que o estímulo sensorial estivesse necessariamente presente.

Smee faz em seu livro ainda uma interessante análise das classes de palavras, como substantivos, adjetivos, verbos, pronomes etc. e sua possível representação no arcabouço teórico da representação de ideias.

Em relação às máquinas, a primeira máquina proposta por Smee foi chamada de Máquina Relacional (Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-9). Essa máquina estaria representando fisicamente uma hierarquia com todas as propriedades possíveis e suas combinações em ideias de nível cada vez mais alto; na prática, seria a representação física de uma espécie de taxonomia sistemática. A presença ou ausência de uma propriedade em qualquer nível seria representada pelo movimento de dobradiças. Estando a dobradiça na posição "aberta", a propriedade estaria presente, estando fechada, a propriedade estaria ausente.



[11] Tradução nossa da sessão 73 do livro de Smee.

Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-9: Esboço da máquina relacional de Smee.[12] 1/2

Smee também propôs uma máquina chamada máquina diferencial, mas que nada tem de relação com a máquina diferencial de Müller e Babbage. A máquina diferencial de Smee seria capaz de calcular a diferença entre dois conceitos. Com essa máquina ele poderia representar em duas partes, através de barras móveis, duas asserções que seriam comparadas. Assim, o movimento das barras indicaria se cada propriedade possível é absolutamente conhecida ou desconhecida.

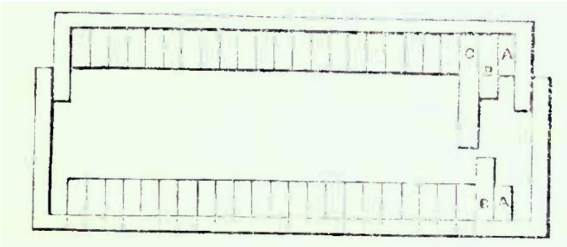


Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-10: Máquina diferencial de Smee.[13] 1/2

Na parte de cima da figura as barras poderiam ser colocadas em 3 posições possíveis, indicando similaridade, dissimilaridade ou desconhecido (posições A, B e C) em relação à cada uma das propriedades. Colocando as duas séries juntas, em função dos encaixes, poder-se-ia ler a resposta que indicaria se a similaridade é total, provável, possível ou não existente. Assim, se as duas partes da máquina se encaixassem perfeitamente, as ideias seriam perfeitamente compatíveis (por exemplo, “dor de cabeça e febre” com “gripe”). Se em um dos lados uma das propriedades fosse desconhecida de forma que quando juntadas as metades não encaixassem perfeitamente, ficando um espaço entre elas, a resposta seria “provável”. Se nos dois lados na máquina a propriedade fosse desconhecida, então o espaço seria ainda maior e a resposta “possível”. Finalmente, se nos dois lados da máquina as propriedades discordassem, a resposta seria “não”, indicando a incompatibilidade das ideias. Assim como no caso das máquinas de Korsakov, essa máquina estaria comparando padrões mecanicamente.

Embora não haja evidências de que as máquinas tenham sido efetivamente construídas, exceto talvez por pequenos protótipos, já que o próprio autor duvidava de sua viabilidade técnica, o livro foi uma leitura bastante popular no final do Século XIX e possivelmente influenciou outras mentes na direção da criação de máquinas efetivamente capazes de raciocinar.

3.8 Teletrofone de Antonio Meucci – 1856

Interessante observar que a maioria das linhas de tempo da história da computação não inclui a invenção do telefone, embora hoje a telecomunicação seja um dos seus componentes mais importantes. Afinal, computadores sem conectividade não eram tão populares, não é mesmo?

---

[12] Domínio público. Cortesia de Georgi Dalakov. Disponível em: http://history-computer.com/Library/Smee_thought_adapted.pdf

[13] Domínio público. Cortesia de Georgi Dalakov. Disponível em: http://history-computer.com/Library/Smee_thought_adapted.pdf

Quem inventou o telefone? Cuidado! Antes de responder Alexander Graham Bell, saiba que o verdadeiro inventor do telefone foi Antonio Meucci (Italia, 1808-1889). Meucci migrou para os Estados Unidos em 1850. Consta que em 1856, cansado de subir e descer escadas e ao mesmo tempo preocupado com sua esposa que devido a uma paralisia estava permanentemente de cama, ele inventou um dispositivo chamado "teletrofone" (telégrafo falante) para poder se comunicar de seu escritório com a esposa no quarto que ficava na parte superior da casa.

Ele conseguiu conceber este dispositivo ao perceber que sinais elétricos podiam conduzir e reproduzir sons enviados por um fio de telégrafo.

Meucci era pobre e conseguiu apenas registrar uma patente provisória (Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-11), mas não tinha meios de pagar a patente definitiva. Assim, acabou vendendo seu protótipo para Alexander Graham Bell (Reino Unido, 1847-1922) que o patenteou em 1876. Ao ver o sucesso que a invenção fez, Meucci processou Graham Bell pelos direitos da invenção, mas faleceu durante o processo e em função disso, o caso foi encerrado.

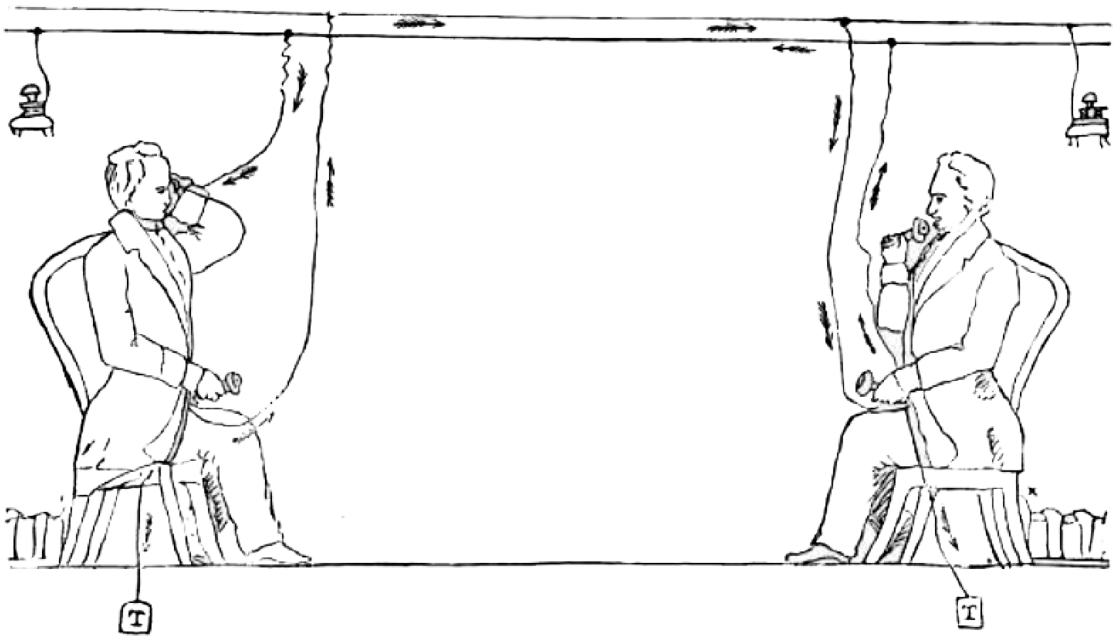


Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-11: Desenho da patente provisória de Meucci.[14] 1/1

Porém, em 2002 o Congresso Americano reconheceu formalmente que o inventor do telefone foi mesmo Meucci, e que a patente de Graham Bell se baseava em afirmações falsas. No final, se Meucci tivesse os 10 dólares necessários para pagar sua patente teria provavelmente ficado rico e reconhecido em seu tempo.

3.9 Álgebra Booleana – 1854

George Boole (Inglaterra, 1815-1864) deu uma contribuição fundamental à história da lógica e posteriormente da computação ao perceber, acredita-se pela primeira vez na história, que as leis da lógica se comportam como uma álgebra, ou seja, de forma

[14] Domínio público. Disponível em: http://motherboard.vice.com/blog/alexander-graham-bell-did-not-invent-the-telephone

semelhante à aritmética. Em seu livro de 1854[15] ele observa, entre outras coisas que se x e y são ideias como “homem” e “mulher”, e se o sinal “+” representar uma operação lógica como “e” ou “ou”, então pode-se afirmar que $x+y = y+x$, ou seja “homens e mulheres” é igual a “mulheres e homens” ou ainda “homens ou mulheres” é igual a “mulheres ou homens”. Dessa forma, os operadores lógicos “e” e “ou” seriam comutativos.

Rapidamente ele concluiu também que esses operadores podem ser distribuídos algebricamente. Por exemplo, se z significa “europeu”, então, “homens europeus e mulheres europeias” é também equivalente a “homens e mulheres europeus”, ou seja, $zx+zy = z(x+y)$.

Ele ainda observa que afirmar a mesma coisa duas vezes equivale a simplesmente afirmar a coisa, assim, em sua álgebra $x+x = x$ ou ainda $x^2 = x$. Como a álgebra de Boole lida apenas com valores verdade (verdadeiro ou falso), ele associa tais valores a 0 e 1 e observa que coincidentemente ou não $0^2 = 0$ e $1^2 = 1$. Assim, ele criou uma álgebra com apenas dois valores: 0 e 1.

A álgebra de Boole foi aperfeiçoada ao longo do século XIX por outros matemáticos como William Stanley Jevons (Inglaterra, 1835-1882), Friedrich W. K. Ernst Schröder (Alemanha, 1841-1902), Edward V. Huntington (Estados Unidos, 1874-1952) e Marshall H. Stone (Estados Unidos, 1903-1989), até chegar à forma moderna como a conhecemos hoje. Em especial, Stone demonstrou que a álgebra de Boole é isomórfica (equivalente) à álgebra dos conjuntos.

A álgebra de Boole teve forte influência na construção dos computadores e linguagens de programação pelo menos desde a década de 1930, quando Claude Shannon (Estados Unidos, 1916-2001) defendeu sua dissertação de mestrado no MIT (Massachusetts Institute of Technology), demonstrando que circuitos elétricos baseados na álgebra de Boole poderiam representar quaisquer relações lógicas ou aritméticas, criando assim a base teórica para a construção de computadores eletrônicos.

Tão importante e influente foi o trabalho de Boole que quase todas as modernas linguagens de programação têm um tipo de dados especial cujos valores são 0 e 1 ou verdadeiro e falso. Esse tipo é denominado em quase todas as linguagens como tipo “booleano”.

3.10 Calculadora de Coluna Única de Caroline Winter – 1859

Durante o Século XIX foram desenvolvidos vários modelos de calculadoras mecânicas que eram, em termos de projeto, bem mais simples do que os modelos de Schickard, Pascal e Leibniz: eram as chamadas “calculadoras de coluna única”, porque ao invés de somarem números de vários dígitos um de cada vez, elas permitiam apenas somar uma coluna de dígitos de cada vez. Por exemplo, para somar:

---

[15] Uma versão mais aprimorada de um trabalho publicado em 1847 denominado “Mathematical Analysis of Logic”.

  678
  134
<u>+389</u>

Seria necessário primeiramente somar 8+4+9 (coluna das unidades) e anotar o resultado 21 em uma folha de papel. Depois, soma-se 7+3+8+2 (coluna das dezenas, sendo 2 o “carry”) e anota-se o resultado 20 no papel. Finalmente soma-se 6+1+3+2 (sendo 2 o carry) e anota-se o resultado 12 no papel. O resultado final é o resultado da última soma (coluna das centenas, no exemplo) e o último dígito de cada uma das outras colunas até a coluna das unidades, chegando-se assim a 1201, neste exemplo.

Considerando-se que séries muito longas de números poderiam ter que ser somadas (por exemplo, uma lista de compras em um mercado), o carry poderia ser muito grande. Mas, ainda assim, essas calculadoras extremamente simples, caso funcionassem, poderiam ser bem úteis para quem precisasse somar longas séries de números que estivessem convenientemente anotados em uma lista.

Uma dessas calculadoras de coluna única pode ter sido inventada por uma mulher, segundo especulações do historiador Georgi Dalakov (2015). Trata-se de uma patente emitida nos Estados Unidos em 1859 para uma pessoa misteriosamente chamada de “C. Winter”, da cidade de Piqua, Ohio. Não se pode ter certeza sobre quem foi essa pessoa, mas a única C. Winter mencionada nos registros de Piqua nesta época foi Caroline Winter, uma comerciante, que possivelmente veria grande utilidade para uma máquina calculadora simples capaz de somar colunas de números de 1 a 9. Como a máquina permitia chegar até 699, pode-se especular que ela poderia dar conta de qualquer lista de compras possivelmente realizada no Século XIX.

A máquina baseava-se em um mecanismo muito simples, no qual nove teclas, cada uma representando um dígito de 1 a 9 moviam de uma a nove posições uma engrenagem com 100 posições (100 dentes). Isso era conseguido fazendo-se com que cada tecla fosse movida até o ponto de parada, que era incrementalmente maior de 1 até 9 para permitir o movimento exato dos dentes conforme o dígito somado, segundo pode ser visto na Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-12.

Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-12: Calculadora original de C. Winter.[16] 1/2

Assim, a tecla *n* moveria *n* dentes da engrenagem de 100 dentes que por sua vez estava ligada ao ponteiro que se vê no alto da figura. O mostrador grande no qual esse ponteiro se move tem 100 divisões que estão numeradas de 5 em 5: 0, 5, 10, 15, etc.

Um mecanismo simples de transmissão de movimento fazia um ponteiro em um mostrador menor mover-se também. Esse mostrador menor, visível na figura dentro do mostrador maior, tinha marcações de 0 a 6 e movia-se uma posição cada vez que o ponteiro maior dava uma volta completa, ou seja, quando passasse de 100.

Completa o mecanismo da máquina um conjunto de molas, colocado na parte traseira das alavancas que fazia com que cada tecla retornasse à sua posição original após ter sido pressionada, como pode ser visto na Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-13.

[16] © 2009 by Auction Team Breker, Koeln, Germany, www.breker.com. Cortesia.

Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-13: Parte traseira da calculadora de Winter mostrando as molas que levavam as teclas de volta à sua posição original.[17] 1/2

Este projeto foi o quarto de uma somadora mecânica a ser patenteado nos Estados Unidos, sucedendo aos projetos de Du Bois D. Parmelee (1850), Orlando Lane Castle (1857) e Leonard Nutz (1858). No mundo, teria sido a sexta patente do tipo, sendo precedida por Luigi Torchi (1834) e Jean-Baptiste Schwilgué (1844). Porém, não há registro de nenhuma outra patente desse tipo obtida por uma mulher na história da computação.

3.11 A Máquina de Escrever – 1867

A máquina de escrever, seja mecânica ou elétrica, certamente pode ser considerada uma antecessora dos atuais teclados e impressoras de computador. Em uma charge moderna um pai apresenta uma máquina de escrever ao seu filho pequeno que fica impressionado com a capacidade que ela tem de imprimir ao mesmo tempo em que se digita.

A máquina de escrever pode ser considerada um marco tão importante para a história da escrita quanto o foi a imprensa de Gutemberg. Porém, seu início não é muito preciso. O registro mais antigo de uma máquina deste tipo vem de uma patente Britânica, concedida ao inventor Henry Mill (Inglaterra, 1683-1771) em 1714. O registro da patente informava que ele "...inventou e aperfeiçoou uma máquina ou método artificial para impressão ou transcrição de letras, uma após a outra, como na escrita..."[18]. Porém, nenhum registro de que essa máquina tenha sido algum dia construída existe, nem mesmo um esquema mais detalhado de seu funcionamento.

A primeira máquina de escrever que, apesar de não ter sobrevivido aos nossos dias deixou rastros de sua existência foi inventada pelo italiano Pellegrino Turri em 1808. Segundo a história, essa invenção teria ocorrido em função de uma paixão. Conta-se que Turri era apaixonado pela Condessa Carolina Fantoni da Fivizzono, e que frequentemente se correspondiam por carta. Ocorre que Carolina foi ficando cega, e chegou a um ponto em que ela não sabia mais se estava escrevendo em linha reta, nem se estava borrando tinta sobre o papel. Pessoas cegas ou iletradas, naquela época, usualmente ditavam suas cartas a quem pudesse escrever, mas isso, possivelmente seria uma indiscrição neste caso. Assim, Turri inventou e construiu uma máquina capaz de imprimir letras no papel utilizando um sistema de impressão baseado em papel carbono, cuja invenção é também atribuída a ele. De fato, a grande maioria das máquinas de escrever até o final do Século XX baseou-se em martelos nos quais a forma da letra moldada batia em uma fita embebida em tinta, semelhante ao papel carbono, deixando sua marca sobre o papel.

Nem a máquina de Turri nem seu projeto sobreviveram ao tempo, mas as evidências de que ela realmente existiu são fragmentos de cartas escritas por Carolina. Pode-se considerar assim que essa foi uma das primeiras interfaces especificamente criadas para pessoas com necessidades especiais.

---

[17] © 2009 by Auction Team Breker, Koeln, Germany, www.breker.com. Cortesia.
[18] Tradução nossa.

Suspeita-se também que na verdade a máquina tenha sido inventada em 1802 por Agostino Fantoni para ajudar a sua irmã também cega, e que Turri teria apenas aperfeiçoado o projeto ao criar e introduzir o papel carbono.

A primeira máquina comercialmente explorada e que sobreviveu até os nossos dias foi a “bola de escrever” (Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-14) de Rasmus Malling-Hansen (Dinamarca, 1835-1890), que começou a ser produzida e vendida em 1865. Consta que o filósofo Nietzsche teria ganhado uma dessas de sua mãe e sua irmã e que a teria odiado.

Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-14: Bola de escrever de Malling-Hansen.[19] 1/2

No Brasil, considera-se que a máquina de escrever tenha sido inventada pelo Padre Francisco João de Azevedo (Brasil, 1814-1880) em 1865, que a teria construído em madeira apenas com canivetes e lixas. Consta que apesar de o padre ter até recebido uma medalha do Imperador Dom Pedro II pela sua invenção, ela jamais foi patenteada e assim, acabou não recebendo o reconhecimento internacional que lhe era devido.

Apenas 3 anos depois, os americanos Christopher Latham Sholes (Estdos Unidos, 1819-1890), Carlos Glidden (Estados Unidos, 1834-1877) e Samuel W. Soule (Estados Unidos, 1830-1875) projetaram uma máquina deles bastante semelhante à do Padre Francisco. Ela começou a ser produzida pelo departamento de máquinas de costura da Remington, fabricante de armas fundada em 1816.

Talvez por isso as primeiras máquinas tivessem seu *carriage return* (o comando que fazia a máquina avançar para a linha seguinte e retornar ao início da linha) implementado como um pedal, como nas máquinas de costura (Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-15). Pode-se dizer então que no início a tecla “Return”, ancestral do “Enter” era acionada com o pé.

[19] "Writing ball keyboard 3". Licensed under Public Domain via Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Writing_ball_keyboard_3.jpg#/media/File:Writing_ball_keyboard_3.jpg

Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-15: Máquina de escrever Sholes & Glidden, fabricada pela Remington.[20] 1/3

Esta máquina foi um sucesso comercial, e ela já utilizava o padrão QWERTY de disposição das teclas, até hoje usado na maioria dos teclados de computador. Originalmente o objetivo dessa disposição era evitar que duas teclas vizinhas fossem acionadas em sequência, pois se isso ocorresse haveria uma grande chance de que seus respectivos martelos se chocassem ou se emaranhassem. Assim, a disposição das teclas visava minimizar a possibilidade de tais sequencias de letras, além de distribuir as teclas mais frequentes nos lados direito e esquerdo do teclado, de forma a equilibrar a quantidade de ações realizadas por cada uma das mãos e por cada um dos dedos.

A Sholes & Glidden imprimia apenas letras maiúsculas. Mas sua sucessora a Caligraph 2 de 1882 já imprimia maiúsculas e minúsculas. Porém, ao invés da tecla *shift*, ela tinha uma tecla específica para cada letra maiúscula e cada letra minúscula, o que fazia dela uma máquina bastante grande.

Um dos maiores problemas com as primeiras máquinas é que como os martelos batiam na fita carbono que estava sobre o papel, o datilógrafo não conseguia ver o que ele estava escrevendo até que ele rolasse o papel para cima. Esse problema foi resolvido a partir de 1891 com a Daugherty Visible, a qual, com um mecanismo diferenciado de ação, permitia que o datilógrafo visse a letra que acabava de ser batida.

---

[20] "Sholesglidden2" by Unknown - Smith, Clarence Charles (1922). The Expert Typist. New York: The Macmillan Company, p. 4 Melville, Arthur (1923). "The Machine Gun of Commerce" The Rotarian (Rotary International) 23, p. 18. Licenced under Public Domain via Wikimedia Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sholesglidden2.png#/media/File:Sholesglidden2.png

Embora a produção de máquinas de escrever em larga escala tenha praticamente acabado no mundo no início do Século XXI, elas ainda são bastante usadas nas zonas mais pobres do planeta, especialmente porque as máquinas puramente mecânicas não necessitam de eletricidade para funcionar.

3.12 O Piano Lógico de Jevons – 1869

William Stanley Jevons (Inglaterra, 1835–1882) foi um economista que além de ter apresentado contribuições significativas ao trabalho de Boole, propôs e construiu uma máquina capaz de realizar inferências lógicas. Interessante observar o início do artigo de Jevons (1869), no qual ele apresenta o projeto desta máquina, visto ele fazer referência a vários outros inventos relatados nesta história: ábaco, bastões de Napier, calculadoras de Pascal, Morland, Leibniz e Colmar, máquina diferencial e analítica de Babbage, silogismos, demonstrador de Stanhope e até a Ars Magna de LLull.

A máquina de Jevons era capaz de eliminar, em uma tabela-verdade todas as opções que fossem contraditórias a uma expressão lógica que fosse inserida em seu teclado, restando assim apenas as opções compatíveis com a expressão lógica.

De forma simplificada, a máquina que chegou a ser construída, conforme mostrado na Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-16, permitia representar em seu painel todas as combinações de até quatro premissas: A, B, C e D, e suas negações a, b, c e d. Suponha, por exemplo, que A=animal, B=marinho, C=mamífero e D=extinto, então ABCd representaria os animais que são marinhos, mamíferos e que não estão extintos. Por outro lado, a expressão C→A (C implica A, ou seja, todos os mamíferos são animais) faz com que quaisquer combinações de símbolos que contenham aC (mamífero que não é animal) sejam inválidas, ou seja, aBCD, abCD, aBCd e abCd.

Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-16: Piano Lógico de Jevons.[21] 1/2

Assim, a máquina de Jevons tinha em seu painel frontal todas as 16 combinações possíveis de valores-verdade para as quatro premissas:

A	A	A	A	A	A	A	A	a	a	a	a	a	a	a	a
B	B	B	B	b	b	b	b	B	B	B	B	b	b	b	b
C	C	c	c	C	C	c	c	C	C	c	c	C	C	c	c
D	d	D	d	D	d	D	d	D	d	D	d	D	d	D	d

Se fosse indicado no seu teclado que C→A, por exemplo, um sistema de alavancas e polias faria desaparecer todas as combinações inconsistentes com essa afirmativa, resultando em um quadro como o seguinte:

A	A	A	A	A	A	A	A			a	a			a	a
B	B	B	B	b	b	b	b			B	B			b	b
C	C	c	c	C	C	c	c			c	c			c	c
D	d	D	d	D	d	D	d			D	d			D	d

[21] "William Stanley Jevons Logic Piano" by Original uploader was Nelson at en.wikipedia - Transferred from en.wikipedia; transferred to Commons by User:Shizhao using CommonsHelper.. Licensed under CC BY-SA 2.0 via Wikimedia Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:William_Stanley_Jevons_Logic_Piano.jpg#/media/File:William_Stanley_Jevons_Logic_Piano.jpg

A entrada subsequente de outras afirmações faria a máquina eliminar outras opções, restando apenas as opções consistentes com todas as afirmações. Por exemplo, se na sequencia fosse entrado “a ou b”, seriam eliminadas quaisquer combinações com A e B simultaneamente, resultado em:

				A	A	A	A			a	a			a	a
				b	b	b	b			B	B			b	b
				C	C	c	c			c	c			c	c
				D	d	D	d			D	d			D	d

Assim, apenas as 8 combinações restantes no painel são consistentes com (C→A) e (a ou b).

Essa máquina, embora tenha utilidade limitada, foi muito útil a Jevons, segundo ele, em suas aulas de lógica. Além disso, ela é digna de nota pois foi a primeira máquina efetivamente capaz de realizar inferências lógicas mais rápido do que um humano seria.

3.13 Multiplicação Direta de Edmund Barbour – 1872

Edmund Dana Barbour (Estados Unidos, 1841-1925) recebeu uma patente em 1872 pela invenção de uma calculadora capaz de realizar multiplicações e divisões com um único giro de manivela. Basicamente, ele percebeu que para multiplicar 7x6, por exemplo, não era necessário somar 7 na coluna das unidades 6 vezes, mas bastaria somar 4 na coluna das dezenas e 2 na coluna das unidades, já que 7x6=42.

A dificuldade maior na construção desta máquina estava no fato de que era necessário ter todas as combinações da tabuada fisicamente representadas. Mas isso era possível com um engenhoso arranjo de cilindros escalonados, como os de Leibniz com registros para dezenas e unidades. O arranjo físico destes números era bem semelhante ao arranjo dos bastões de Napier. A Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-17 mostra um detalhe do projeto de Barbour com os vários cilindros escalonados.

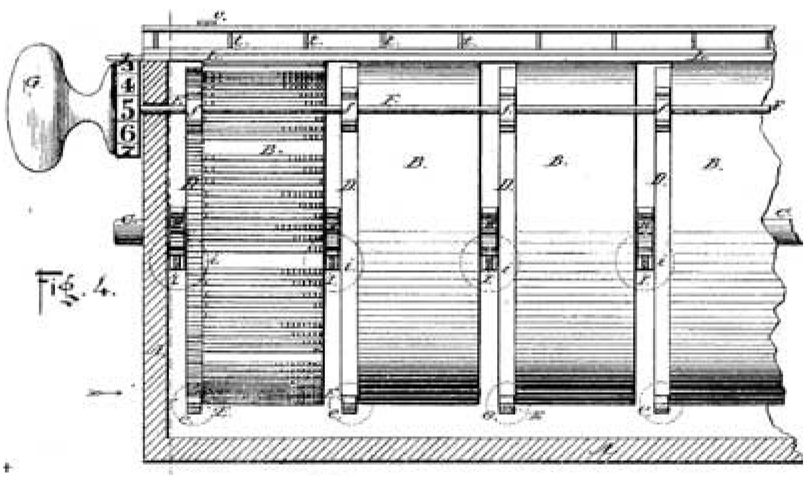


Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-17: Detalhe do projeto de calculadora de Barbour.[22] 2/3

Assim, para multiplicar 567x3, por exemplo, a máquina seria posicionada de forma que o cilindro das unidades ficasse na posição 7, o das dezenas na posição 6 e o das centenas na posição 5. O multiplicador seria então posicionado para a posição 3 e com um único giro de manivela os cilindros do acumulador seriam movimentados da seguinte forma:

- Para o cilindro das unidades, 2 nas dezenas e 1 nas unidades: 3x7 = 21.
- Para o cilindro das dezenas, 1 nas centenas e mais 8 nas dezenas: 3x6 = 18, totalizando 180+21 = 201.
- Para o cilindro das centenas, 1 nos milhares e 5 nas centenas: 3x5 = 15, totalizando 1500+201 = 1701.

Para multiplicadores com mais de um dígito, a máquina permitia que se fosse passando um de cada vez e acumulando o resultado. Por exemplo, para multiplicar 123x456, inicialmente colocava-se o multiplicando 123 e o último dígito do multiplicador (6) na casa das unidades, assim, com um giro se obteria o resultado 123x6 = 738. Em seguida, colocar-se-ia o segundo dígito do multiplicador (5) na casa das dezenas, obtendo-se 123x50 = 6150, e acumulando 738+6150 = 6888. Finalmente colocar-se-ia o terceiro dígito do multiplicador (4) na casa das centenas, obtendo-se 123x400 = 49200 e acumulando 6888+49200 = 56088, ou seja, o resultado de 123x456.

Após Babbage e Müller, Barbour teria sido um dos primeiros a propor um mecanismo de impressão para sua máquina. Porém, não há evidências fortes de que alguma das máquinas concebidas por Barbour tenha sido efetivamente construída por ele.

O mecanismo de Barbour, embora não implementado por ele, foi aperfeiçoado por outros e passou a ser a forma padrão de implementação de multiplicação. Otto Steiger (Suíça, 1858-1923), baseado no mecanismo de Barbour, criou uma calculadora de multiplicação direta, chamada “Millionaire”, que foi um sucesso de vendas, apesar de custar o equivalente ao preço de um carro na época. Ela foi produzida até 1935.

3.14 Lógica de Predicados de Frege – 1879

No ano de 1879, o matemático Gottlob Frege (Alemanha, 1848-1925) publicou um livro chamado Begriffsschrift, que é considerado como a contribuição mais importante na história da lógica formal desde os silogismos de Aristóteles. A palavra, em alemão, parece não ter uma tradução exata em português, mas significa algo como “escrita de conceitos” e sua importância vem do fato de ter sido o primeiro trabalho a sistematizar com sucesso a lógica de predicados.

[22] Domínio público. Fonte: Dalakov, G. History of Computers, Hardware, Software, Internet... Disponível em: http://history-computer.com/MechanicalCalculators/19thCentury/Barbour.html (Consultado em 01/09/2015).

Frege foi o primeiro a introduzir o conceito de variáveis quantificadas universal e existencialmente. Sua notação original era bidimensional e estranha (Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-18), mas atualmente esses quantificadores são representados pelos símbolos ∀ e ∃. Pode-se escrever, por exemplo, ∀(*x*) *x* é humano → *x* é mortal, ou seja, "para todo *x*, se *x* é humano, *x* é mortal". Na moderna lógica de predicados a atribuição de uma propriedade *p* a uma variável *x* usualmente é escrita como *p*(*x*), assim, a expressão acima também poderia ser representada como ∀(*x*) humano(*x*) → mortal(*x*).

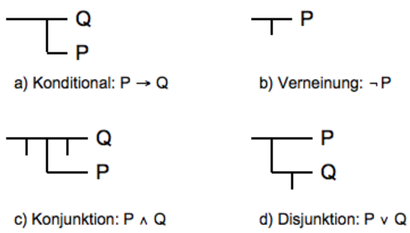


Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-18: Exemplos na notação de Frege.[23] 1/3

Com a notação formal de Frege tornou-se possível eliminar certas ambiguidades com as quais trabalhos anteriores de lógica não lidavam bem. Por exemplo, poder-se-ia dizer que "todos os rapazes amam uma moça". Mas não fica claro se cada um ama uma moça diferente ou se todos amam a mesma moça. Com a lógica de predicados de Frege a sentença teria que ser escrita como ∀(*x*) rapaz(*x*) → ∃(*y*) moça(*y*) ^ ama(*x*,*y*), significando "para todo rapaz existe uma moça a qual ele ama", ou ∃(*y*) moça(*y*) ^ ∀(*x*) rapaz(*x*) → ama(*x*,*y*), significando "existe uma moça a qual todos os rapazes amam". A lógica formal de predicados elimina, assim, certas formas de ambiguidade e imprecisão que muitas vezes a linguagem natural não consegue evitar.

Essa nova forma de escrever proposições lógicas, além de permitir o desenvolvimento da matemática e da lógica no início do século XX também foi a base para muitas formas de representação de conhecimento em computadores mais tarde, inclusive em linguagens de programação como PROLOG. Além disso, os conceitos de função e variável usados por Frege tornaram-se parte da maioria das linguagens de programação existentes.

Embora haja autores que discordem disso, parece que o trabalho de Frege não foi muito bem recebido por seus colegas no início. Coube a Bertrand Russel (Reino Unido, 1872-1970) colocar o trabalho no seu devido destaque ao publicar os Principia Mathematica entre 1910 e 1913. Em função disso, Frege absteve-se de tentar publicar vários de seus textos, mas consciente de seu valor, pediu a seu filho adotivo Alfred que guardasse muito bem estes escritos, para que nenhum se perdesse, pois um dia seu valor seria muito mais apreciado do que poderia ser em seus dias. Alfred levou os escritos para a Universidade de Münster para que fossem bem guardados, mas

[23] "Begriffsschriftnotation". Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Begriffsschriftnotation.png#/media/File:Begriffsschriftnotation.png

infelizmente um bombardeio aliado destruiu a universidade e os escritos em 1945. Apesar de algumas cópias terem sido feitas de alguns documentos, boa parte do que Frege escreveu infelizmente perdeu-se.

3.15 NE e NOU – 1880

Por volta de 1880, Charles Peirce (Estados Unidos, 1839-1914) fez uma descoberta no mínimo interessante. Ele observou as tabelas verdade para operadores lógicos booleanos de duas variáveis. Já se sabia que era possível conceber 16 diferentes operadores lógicos para duas variáveis. Alguns desses operadores são facilmente descritos em língua natural, como por exemplo:

- Conjunção: "A e B" é verdadeiro se ambos os valores de A e B forem verdadeiros.
- Disjunção: "A ou B" é verdadeiro se pelo menos um dos dois valores for verdadeiro.
- Implicação: "A → B" é verdadeiro se ambos forem verdadeiros ou se A for falso. Essa expressão, portanto, só é falsa se A for verdadeiro e B falso.
- Negação: "não A" é verdadeiro se A for falso, não importando o valor de B.

Mais 12 outros operadores podem ser construídos para diferentes definições sobre as condições dos valores de A e B. Mas Peirce percebeu que 2 desses operadores são muito especiais: NE e NOU (em inglês, NOR e NAND). Por definição, "A *ne* B" é verdadeiro se A ou B ou ambos forem falsos. Assim, "A *ne* B" será falso se A e B forem verdadeiros. Portanto essa expressão é equivalente a "não (A e B)".

Até aí nada demais. Mas essa operação tem uma propriedade singular já que combinações de NEs permitem simular todos os outros 16 operadores lógicos como "e", "ou", "não" etc. A mesma propriedade vale para o operador "NOU". Por exemplo, "A e B" é equivalente a "(A *nou* A) *nou* (B *nou* B)", "A ou B" é equivalente a "(A *nou* B) *nou* (A *nou* B)" etc.

Em notação formal, o NOU é representado por uma seta: "A ↓ B", chamada de "seta de Peirce" em homenagem ao seu descobridor.

Essa característica especial desses operadores foi utilizada para a concepção das portas lógicas dos computadores, décadas mais tarde, o que possibilitou a construção de memórias e processadores.

3.16 A Calculadora Brasileira de Azevedo Coutinho – 1884

Há um relato curioso sobre um projeto de calculadora mecânica que teria sido patenteado no Brasil por Azevedo Coutinho (Portugal, 1860-1918) em 1884. O projeto era simples e parecia confiável, mas aparentemente nunca chegou a ser construído.

A máquina era capaz de executar várias somas seguidas e tinha um botão para zerar os mostradores. A Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-19 constava no registro de patente. Ela permite ver que a máquina tinha botões (a) para entrar com os algarismos, um de cada vez. Cada um destes botões acionava uma engrenagem incompleta com um número de dentes igual ao algarismo que estava sendo pressionado. Esse movimento era transmitido por engrenagens (d) ao mostrador adequado (i), que era definido pelo movimento horizontal do eixo (g), que engrenava apenas um mostrador de cada vez.

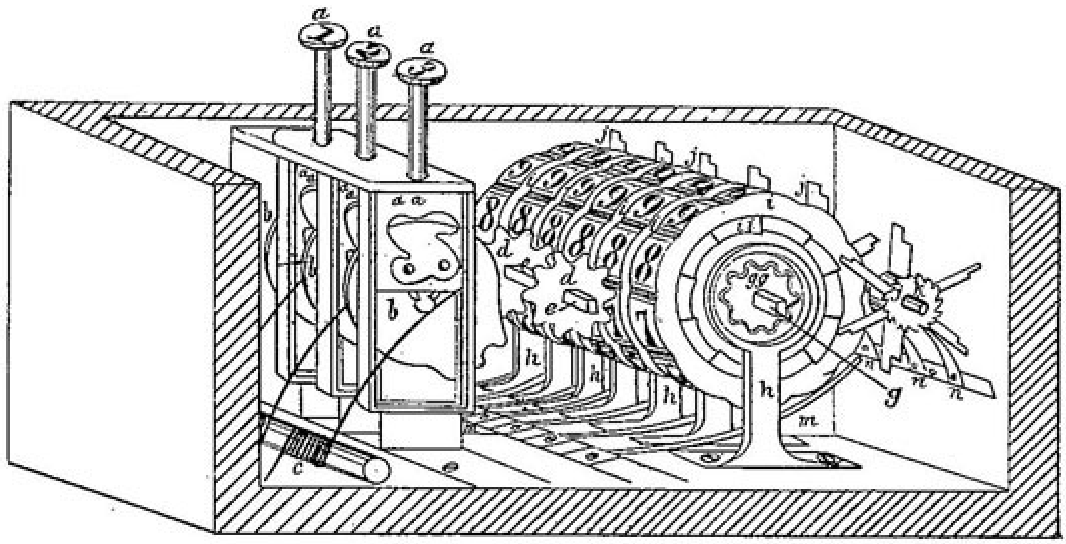


Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-19: Máquina de Somar de Azevedo Coutinho.[24] 1/1

Um sistema de molas (c) fazia os botões retornarem à posição inicial e o *carry* era efetuado pelos dentes de engrenagens (j) acopladas aos mostradores.

Assim, para entrar com um número como 456, coloca-se o eixo (g) na posição das centenas e aperta-se o botão 4, depois na posição das dezenas e aperta-se o botão 5, finalmente coloca-se na posição das unidades e aperta-se o botão 6. Se a máquina não for zerada, o próximo número inserido será somado ao anterior. Assim, vários números em sequência podem ser inseridos e a máquina vai acumulando o resultado.

3.17 Máquina Tabuladora de Hollerith – 1884

Em 1879, Herman Hollerith (Estados Unidos, 1860-1929) após se graduar na Escola de Minas da Universidade de Columbia arrumou emprego no escritório do censo americano. O censo de 1880 estava prestes a ser iniciado e embora os dados tenham sido coletados em poucos meses, sua análise demandaria vários anos e, de fato, levou 8 anos para ser concluída. Como a população americana crescia por essa época aos milhões devido principalmente às várias ondas de imigração, o fato era que os dados, quando finalmente compilados já estariam bastante desatualizados. De fato, esperava-se que os resultados do censo pudessem pelo menos ser divulgados antes do censo seguinte, que aconteceria em 1890. Ainda, como a população iria crescer bastante nesta década, já se imaginava que o censo de 1890 levaria ainda mais tempo para ser compilado.

Hollerith criou um projeto para realizar a compilação do censo de 1890 que foi um grande marco para a história da computação. Ele propôs que as informações

---

[24] Domínio Público. Fonte: Dalakov, G. *History of Computers, Hardware, Software, Internet*... Disponível em: http://history-computer.com/CalculatingTools/Gadgets/Azevedo.html

coletadas no censo fossem registradas em cartões de papel perfurado nos quais determinadas posições representariam diferentes respostas para as várias questões colocadas pelo censo. A Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-20 mostra um destes cartões. Certamente Hollerith teria sido inspirado pelo sistema de cartões dos teares de Jacquard, já em uso há quase um século. Ele se decidiu pelo sistema de cartões após algumas tentativas frustradas com fitas de papel. O cartão de Hollerith tinha 24 colunas e 12 linhas.

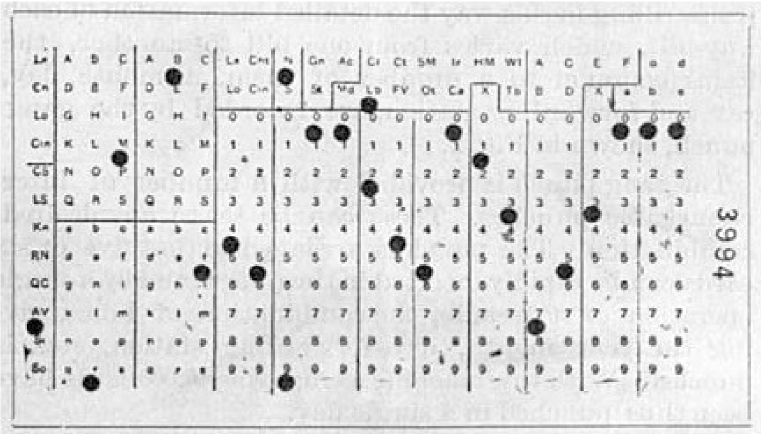


Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-20: Um dos cartões perfurados de Hollerith usados no censo de 1890.[25] 2/3

Assim, com todas as respostas ao censo representadas através de cartões perfurados, Hollerith propôs uma máquina que poderia ler e totalizar todas as respostas de uma única vez. Sua máquina tinha uma matriz de 12x24 agulhas metálicas. Essas agulhas eram baixadas todas de uma vez sobre cada cartão e apenas aquelas que atingissem os furos fariam contato com um recipiente cheio de mercúrio (um metal líquido) colocado abaixo do cartão. Cada agulha que fizesse esse contato ativava um circuito elétrico baseado em relês eletromecânicos que fazia um ponteiro avançar uma posição em um mostrador.

Os mostradores podiam ser associados a um furo específico ou até a uma combinação de furos. Cada ponteiro marcava 100 posições e como havia um ponteiro maior e um menor, como em um relógio, cada mostrador era capaz de contar até 10.000. A Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-21 mostra um detalhe dessa máquina. Em primeiro plano aparece o local onde os cartões são colocados, um a um, e a matriz de agulhas. Em segundo plano aparecem os mostradores acionados por cada agulha, os quais efetivam a contagem de cada um dos furos.

[25] "Hollerith punched card" by Herman Hollerith - Railroad Gazette. Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hollerith_punched_card.jpg#/media/File:Hollerith_punched_card.jpg

Figura Parte III: De Babbage a Hollerith-21: Detalhe da máquina tabuladora de Hollerith.[26] 1/2

O uso dessa máquina fez com que o censo de 1890 fosse calculado de forma bem mais rápida do que teria sido caso fosse feito manualmente. A literatura diverge quanto ao tempo exato, mas o processo parece ter levado de 6 meses a cerca de 2 anos no máximo.

Hollerith acabou até recebendo um doutorado pela universidade de Columbia em 1890 em função da invenção desta máquina. Esse foi o primeiro sistema de processamento de informação a substituir com sucesso o papel e caneta.

Outras máquinas semelhantes a essa foram construídas e usadas no processamento do censo em vários outros países, e também no censo americano de 1900.

Em 1896 Hollerith fundou a TMC (Tabulating Machine Company), considerada antecessora direta da IBM. No mesmo ano ele criou uma máquina capaz de somar números codificados nos cartões, não apenas contar os furos.

Além disso, para o censo de 1900, como a quantidade de informação crescia muito, ele criou uma máquina para fazer automaticamente a alimentação de cartões na tabuladora, tornando o processo ainda mais rápido. Em 1901 ele também criou uma

---

[26] "Hollerith card reader closeup" by Marcin Wichary - Flickr: Hollerith census machine. Licenced under CC BY 2.0 via Wikimedia Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hollerith_card_reader_closeup.jpg#/media/File:Hollerith_card_reader_closeup.jpg

máquina perfuradora de cartões, a qual possuía um teclado numérico e traduzia as cifras digitadas pelos operadores em furos nos locais apropriados.

Em 1911 a TMC fundiu-se a outras empresas e assim surgiu a CTR (Computing-Tabulating-Recording Company). Essa empresa mudou seu nome em 1924 para IBM (International Business Machines Corporation).

3.18 Até Aqui...

Vimos que durante o Século XIX vários avanços e tecnologias contribuíram para o futuro desenvolvimento da computação. Charles Babbage e Ada Lovelace conceberam a máquina analítica, capaz de efetuar qualquer computação, 100 anos antes de que sua construção fosse possível. Suas publicações e ideias continuaram sendo citadas por pesquisadores ao longo destes 100 anos cada vez que uma nova contribuição para a automatização do cálculo ou do raciocínio era proposta.

A lógica também teve uma importante evolução nesse período, não só pela criação da lógica de predicados de Frege quanto também pela contribuição de Peirce com a descoberta de que um único operador lógico (um NE ou um NOU) pode ser usado para simular qualquer um dos outros operadores.

A criação do relê eletromagnético e outras evoluções na área de eletricidade e eletrônica, permitiram que Hollerith criasse uma máquina capaz de agilizar o processamento do censo. Essa, máquina, o tabulador, não era mais do que uma calculadora eletromecânica; na verdade, sua primeira versão não passava e um simples contador. Mas os conceitos da tabuladora e da máquina analítica de Babbage puderam depois ser combinados no início do Século XX, dando origem aos modernos computadores eletrônicos, como veremos a seguir.