

MT – OCR USANDO DISTÂNCIA DE HAMMING

Samuel Almeida de Barros Melo¹

Curso de Licenciatura em Ciências da Computação – Universidade Federal da Paraíba
(UFPB) – Campus IV – Litoral Norte 58297-000 – Rio Tinto – PB – Brasil
samuel.almeida@dcx.ufpb.br

Abstract.

In this work, Turing Machines will be used to simulate the optical character recognition process, which converts a text image into a machine-readable text format. For this, a representation system was developed, basically composed of a reference matrix for the representation of a character that will be compared to different other matrices where the characters to be recognized are written, and a system for comparing the patterns inscribed in these matrices based on the Hamming distance concept. Problems of this type are associated with a certain complexity and the construction of solutions in Turing Machines, which are theoretical symbolic devices capable of executing an effective procedure, offer a view of how these purely symbolic machines are capable of solving the most distinct tasks, enriching the idea fundamental of the Theory of Computation that any problem that can, in theory, be solved by a Turing Machine.

Keywords: Turing Machines, OCR, Hamming Distance

Resumo.

Neste trabalho serão utilizadas Máquinas de Turing para simular o processo de reconhecimento óptico de caracteres, que converte uma imagem de texto em um formato de texto legível por máquina. Para isso, foi desenvolvido um sistema de representação composto basicamente de uma matriz de referência para a representação de um caractere que será comparada a diferentes outras matrizes onde são escritos os caracteres a serem reconhecidos, e um sistema de comparação dos padrões inscritos nessas matrizes baseado no conceito de distância de Hamming. Problemas desse tipo são adstritos de certa complexidade e a construção de soluções em Máquinas de Turing, que são dispositivos simbólicos teóricos capazes de executar procedimento efetivo, oferecem uma visão de como essas máquinas puramente simbólicas são capazes de resolver as mais distintas tarefas, enriquecendo a ideia fundamental da Teoria da Computação de que qualquer problema **pode** ser resolvido por uma Máquinas de Turing.

Palavras-chave: Máquinas de Turing, OCR, Distância de Hamming

1 Introdução

1.1 Alan Turing

O matemático britânico Alan Mathison Turing nasceu em 23 de junho de 1912 em Londres, seu pai foi o oficial britânico Julius Mathison e sua mãe Ethel Sara Turing, nasceu na Índia e era de uma família nobre anglo-irlandesa (FRAZÃO, 2022).

¹ Trabalho de conclusão de curso, sob orientação do professor Joelson Nogueira Carvalho, submetido ao Curso de Licenciatura em Ciência da Computação do Centro de Ciências Aplicadas e Educação (CCA) da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de LICENCIADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO.

Turing não apresentava bom rendimento em disciplinas na área de humanas, como o Inglês, porém, desde muito jovem sua habilidade em matemática era notável; em consequência disso, ainda nos anos de internato em Sherborne, obteve uma bolsa para estudar matemática em King's College, na Universidade de Cambridge.

Desde muito jovem, Turing apresentava enorme interesse em física quântica e mais tarde, interessou-se também nos trabalhos de Von Neumann. Em 1936, com a idade de 24 anos, consagrou-se como um dos maiores matemáticos do seu tempo quando desenvolveu trabalhos mostrando a possibilidade de executar operações computacionais sobre a teoria dos números por meio de uma máquina que tivesse embutidas as regras de um sistema formal. Hoje, Alan Turing é considerado um dos responsáveis pelo desenvolvimento dos computadores digitais (PESSÔA, 2000).

Com sua máquina, Turing estabeleceu as bases fundamentais da ciência da computação moderna e contribuiu decisivamente para a teoria da computabilidade, que se refere à resolução automática de problemas, ou seja, a possibilidade de um problema ser resolvido por uma máquina. Assim, as MTs incorporam o princípio essencial do computador: uma máquina simples que poderá executar qualquer tarefa bem definida, desde que especificada como um programa apropriado, restringindo-se apenas aos aspectos lógicos do seu funcionamento, abstraindo a sua implementação física.

Com isso, o desenvolvimento de MTs para resolver diversos tipos de problema, torna-se uma tarefa importante para modelar problemas que podem ser resolvidos por computadores, sendo especialmente útil para o estudo do processamento simbólico e das limitações da computação. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é construir uma Máquina de Turing capaz de reconhecer um padrão gráfico que representa um caractere, através de uma comparação com outros padrões previamente estabelecidos, utilizando um formalismo de comparação conhecido como distância de Hamming. Tal dispositivo foi pesquisado na Internet em busca de trabalhos similares, mas sem sucesso. Isso realça a importância desse trabalho para estabelecer uma referência como objeto de pesquisa para o problema específico.

1.2 Sistemas Formais

Um sistema formal é definido a partir de um conjunto de símbolos que podem ser manipulados por um conjunto finito e muito específico de regras. Pode ser visto como uma modelagem matemática de uma linguagem especializada, onde elementos linguísticos como palavras, frases, discursos, etc, são representados por objetos finitos, como números inteiros, sequências, árvores ou gráficos finitos, etc.

A característica de um sistema formal é que a correção no sentido gramatical de seus elementos é verificável algoritmicamente. Esses sistemas surgiram na lógica matemática para representar matematicamente a linguagem e o raciocínio matemático.

Nos primeiros anos da década de 1930, matemáticos de várias partes do mundo se esforçavam para reduzir a matemática a fundamentos lógicos seguros, o que levou a várias tentativas de se tratar a aritmética como um sistema formal (HILBERT, 2022).

1.3 A Máquina de Turing como um Sistema Formal

Máquinas de Turing (MTs) são dispositivos puramente teóricos, capazes de executar algoritmos, definindo assim formalmente o conceito de procedimentos efetivos. É um dos elementos fundamentais da Teoria da Computação. Todos os problemas que podem ser resolvidos na forma de algoritmos, podem ser implementados em Máquinas de Turing, a despeito de sua extrema simplicidade. Essas máquinas podem ser

classificadas em reconhecedoras em duas categorias funcionalmente distintas: Classificadoras de linguagens e Transdutores; no primeiro caso, a MT é utilizada para definir linguagens Turing-aceitáveis, emulando autômatos capazes de verificar se uma cadeia de caracteres pertencem a uma determinada linguagem; no segundo caso, convertem uma entrada fornecida em uma saída (resolvedora genérica de problemas). Portanto, MTs podem ser desenvolvidas para resolver os mais diversos problemas, como os computadores modernos, considerados máquinas de propósito geral (DIVERIO & MENEZES, 2008).

Turing provou que para qualquer sistema formal existe uma máquina de Turing que pode ser programada para imitá-lo, constituindo um sistema formal genérico, com a habilidade de emular qualquer outro sistema formal, Este é o conceito de Máquinas de Turing Universais. O lógico matemático Alonzo Church chegou a definir: “Qualquer processo aceito por nós homens como um algoritmo é precisamente o que uma máquina de Turing pode fazer”.

Embora as MTs não existissem fisicamente, Turing demonstrou que tais mecanismos poderiam ser construídos. Sua descoberta abriu uma nova perspectiva no esforço de formalizar a matemática que suporta o desenvolvimento de máquinas para resolver problemas (AZAMBUJA; RAMOS, 2022).

1.4 Referencial Teórico

1.4.1 Reconhecimento óptico de caractere (OCR)

O reconhecimento óptico de caracteres ou OCR (do inglês *Optical character recognition*) é o processo que converte uma imagem de texto em um formato de texto digitalizado, ou seja, legível por um editor de texto. Esse processo é composto por duas principais fases:

- A aquisição de dados, onde um dispositivo óptico emite um feixe de luz sobre um texto escrito e um conjunto de sensores detecta pontos pela diferença da reflexão, percebida pelos sensores e os representa digitalmente em uma forma de matriz de pontos.
- A interpretação da matriz de pontos à um padrão pré-estabelecido de caracteres, que pode ser feito através de vários algoritmos de casamento de padrões (*Pattern Matching*).

1.5.1.1 Como funciona o OCR?

O mecanismo ou *software* de OCR funciona de acordo com as seguintes etapas (AWS, 2022):

- Aquisição de imagem: Um aparelho conhecido como *scanner* lê documentos e os converte em dados binários, mantendo uma correlação com o padrão de

entrada em uma determinada estrutura de dados, tipicamente em forma matricial. O programa que realiza essa tarefa analisa a imagem digitalizada e classifica as áreas claras como plano de fundo e as áreas escuras como texto.

- Pré-processamento: De início, o programa de OCR limpa a imagem e remove os erros para prepará-la para leitura. Algumas das técnicas de limpeza são:

Ajustar a imagem, mudando o ângulo de leitura, corrigindo problemas de alinhamento durante a digitalização.

Remover manchas ou borrões de imagens digitais ou suavizar as bordas das imagens de texto.

Outros recursos

- Reconhecimento de texto e Correspondência de padrões

Através de um dos vários algoritmos de casamento de padrões. A correspondência de padrões funciona com o isolamento de uma imagem de caractere, chamada de glifo, e a comparação dela com um glifo armazenado previamente de forma semelhante (padrão). O reconhecimento de padrões funciona apenas se o glifo armazenado tem uma fonte e uma escala semelhantes ao glifo de entrada.

- Pós-processamento

Após o reconhecimento, o sistema converte os dados de texto extraídos em um arquivo digital, que pode ser dos mais diversos tipos reconhecidos pelos mais diversos processadores de texto.

1.5.1.2 Reconhecimento de padrões

O reconhecimento de padrões pode ser definido como a classificação de dados com base no conhecimento já adquirido ou em informações estatísticas extraídas de padrões e/ou sua representação.

Um sistema completo de reconhecimento de padrões consiste de sensores que obtém observações a serem classificadas ou descritas; um mecanismo que possibilita a extração de características, mapeando-as para informações numéricas ou simbólicas; e um esquema de classificação, que é geralmente baseado na disponibilidade de um conjunto de padrões que foram anteriormente classificados, o "conjunto de treinamento".

Aplicações típicas do reconhecimento de padrões incluem reconhecimento de escrita (OCR), reconhecimento de fala, classificação de documentos em categorias (por exemplo, mensagens de correio eletrônico que são spam ou não), reconhecimento de faces, etc.

1.5 Distância de Hamming

A distância de Hamming é um método utilizado na Teoria da Informação que permite estabelecer a diferença entre duas strings de mesmo comprimento; é resumidamente, o número de posições nas quais elas diferem entre si. Assim, por exemplo, se as cadeias binárias 10011011 e 1110011 fossem comparadas usando a distância de Hamming, o resultado seria 4, que é justamente a quantidade de bits

diferentes em relação à sua respectiva posição em cada cadeia (TANNEMBAUM, 2003).

Este método de comparação foi criado pelo matemático americano *Richard Wesley Hamming* que é frequentemente empregado em vários tipos de correção de erros ou avaliação de cadeias ou partes de dados contrastantes.

1.6 Máquina de Turing

1.6.1 Noção Intuitiva

A ideia de Alan Turing foi analisar um cenário onde uma pessoa, equipada com um instrumento de escrita e um apagador, realiza cálculos em uma folha de papel organizada em quadrados; ele fez as seguintes considerações:

- A folha de papel é infinita, contém somente os dados iniciais do problema dispersos em espaços que comportam cada um, um único símbolo.
- O trabalho da pessoa pode ser resumido em sequências de operações simples como:
 - Identificar ou alterar um símbolo de um quadrado (espaço no papel);
 - Acessar outro quadrado de maneira sequencial, um após o outro;
 - Um conjunto de Estados indica que uma sequência de operações foi realizada.
 - Ao encontrar alguma representação satisfatória para a resposta desejada, a pessoa termina seus cálculos.

1.6.2 Definição Formal:

Uma Máquina de Turing pode ser representada formalmente por uma quintupla, do tipo:

$$MT = (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0)$$

onde:

- Q = Conjunto de estados
- Σ = Alfabeto de entrada (não contém o símbolo branco “•”)
- Γ = O alfabeto da fita, onde $\{\bullet\} \in \Gamma$ e $\Sigma \subseteq \Gamma$
- $\delta = Q \times \Gamma \rightarrow Q \times \Gamma \times \Delta$, onde $\Delta = \{\leftarrow, \rightarrow\}$
- q_0 = Estado inicial $q_0 \in Q$

O principal componente de uma MT é a função de transição δ , que define como a MT passa de um estado para outro.

A função programa δ tem a forma: $Q \times \Gamma \rightarrow Q \times \Gamma \times \Delta$; isso significa que

quando uma MT está em um estado q e a cabeça aponta para um símbolo a , e se $\delta(q,a) = \{r,b,L\}$, a MT escreve o símbolo b , substituindo o a , e vai para o estado r . o terceiro componente, Δ , indica a direção a tomar a operação do cabeçote - $\{\leftarrow, \rightarrow\}$ (DOS, 2004).

Essa definição formal está de acordo com a abstração gráfica, apresentada na figura

1.

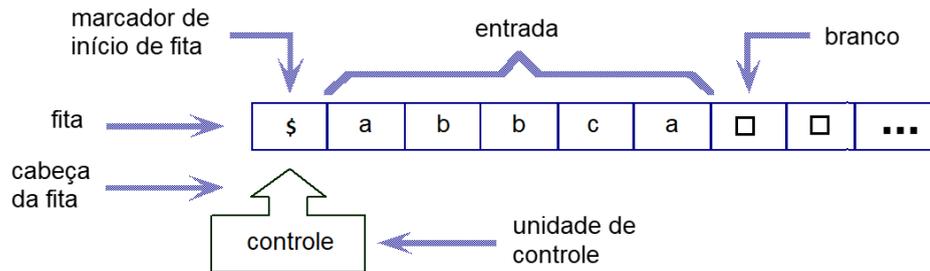


Figura 1 - Abstração de uma Máquina de Turing.

1.6.3 Máquina de Turing Multifitas

Uma versão Multifitas pode ser conseguida com uma modificação na MT original, multiplicando o número de fitas e modificando sua função programa de acordo, que toma a seguinte forma:

$$\delta = Q \times [\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4, \dots] \rightarrow Q \times [\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4, \dots], \Delta.$$

A função programa da MT_S realiza a transição a partir de um estado Q , lendo o conjunto de fitas Γ_i , para outro estado Q , imprimindo símbolos sobre Γ_i e deslocando-se segundo Δ . A MT Multifitas tem aspecto mostrado na figura 2.

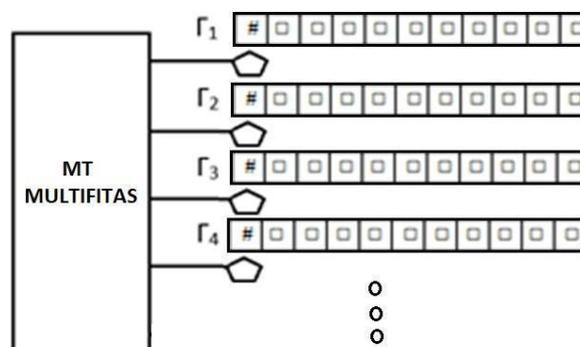


Figura 2 - Abstração de uma Máquina de Turing Multifitas.

2 Metodologia de desenvolvimento

2.1 Dimensionamento do problema

O presente trabalho consiste na construção de uma Máquina de Turing para simular um reconhecedor de padrões aplicado à identificação de caracteres.

É um fato notório que as implementações de algoritmos em Máquinas de Turing são onerosas em termos de número de operações da função programa, mesmo para resolver os problemas mais simples; do mesmo modo, os algoritmos OCR podem hoje operar em altíssimas resoluções, onde um caractere pode ser representado em uma área formada por um número muito alto de pontos.

As seguintes premissas são estabelecidas:

1. Os caracteres a serem interpretados pela Máquina de Turing devem estar definidos graficamente em uma pequena matriz de 5×5 pontos. É evidente que esta matriz possui poucos pontos para representar devidamente vários caracteres, mas isso pode ser extrapolado para uma dimensão matricial superior.
2. Todo o aparato gráfico para aquisição da imagem formada por caracteres é abstraído, de forma que apenas a representação do caractere a ser reconhecido será inserida diretamente na matriz que representa o caractere.
3. Assim, o que resta é a comparação de duas matrizes, uma que representa o caractere padrão da máquina e outra que representa o caractere a ser interpretado.
4. O número de caracteres apresentado é bem limitado pois o processo de comparação e discernimento sobre os padrões das matrizes é custoso para a Máquina de Turing.

Sendo assim, o trabalho se concentra em realizar o reconhecimento de padrões gráficos, para determinar a semelhança entre as figuras que representam os caracteres. Logo, a Máquina de Turing proposta deve permitir a inserção de uma matriz de pontos para a informação de entrada (caractere a ser reconhecido).

2.2 Padrões de caracteres

Como proposto acima, os caracteres serão descritos em um plano gráfico bastante limitado de pontos, como mostra a figura 3.

	1	2	3	4	5
1					
2					
3					
4					
5					

Figura 3- Matriz para representação de caracteres

É possível considerar uma matriz 5x5, como uma estrutura para representar um conjunto de caracteres; assim, cada caractere terá uma resolução (baixa), mas será suficiente para demonstrar o princípio do funcionamento da MT.

Alguns dos padrões gráficos de caracteres que podem ser reconhecidos pela MT-OCR são mostrados na figura 4.

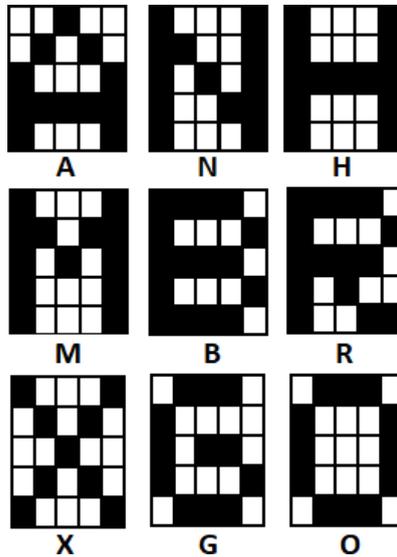


Figura 4 - Padrões de caracteres inscritos na MT-OCR

Um padrão de caracteres pré-estabelecido, constituído por uma série de diferentes matrizes representando caracteres, permitirá que um caractere supostamente desconhecido possa ser avaliado em termos de proximidade com algum pré-definido.

2.3 A MT-OCR

A MT-OCR pode ser desenhada a partir de uma estrutura multifitas, com controle de cabeçote de I/O assíncrono, como mostra a figura 5.

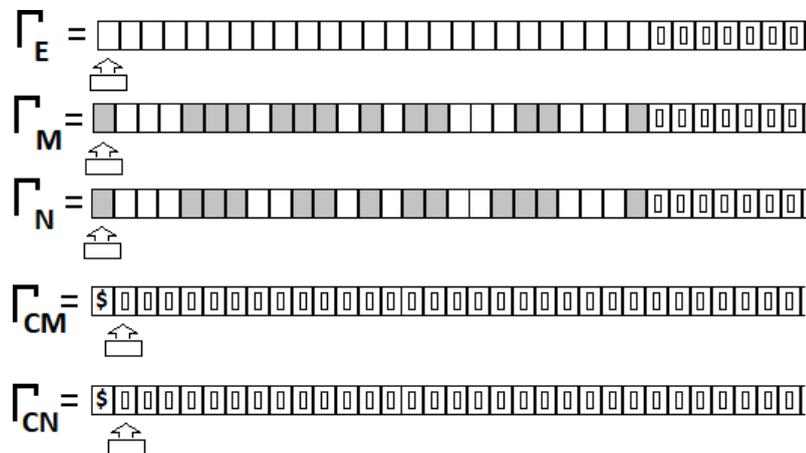


Figura 5 - MT-OCR Multifitas Assincrona, reconhecadora dos padrões N e M.

Conteúdo das Fitas: A MT-OCR terá três partes distintas:

- Uma fita de entrada, contendo o símbolo que representa o caractere a ser reconhecido.
- Algumas fitas representando o padrão que a MT-OCR é capaz de reconhecer nessa implementação, como os caracteres N e M definidos na MT-OCR da figura 5.
- Fitas para registrar (marcar) as ocorrências das diferenças entre a entrada () e as demais fitas de padrões de caracteres da memória da máquina, calculadas pela distância de Hamming entre os padrões Γ_M e Γ_N que definem essas letras na máquina e a matriz de entrada especificada em Γ_E .

Γ_E – Entrada contendo o caractere a ser reconhecido

Γ_M – Memória padrão do caractere A, inscrito na MT. Γ_N – Memória padrão do caractere A, inscrito na MT.

Γ_{CM} – Registrador do número de caracteres diferentes entre Γ_E e

Γ_M . Γ_{CN} – Registrador do número de caracteres diferentes entre Γ_E e Γ_N .

Pode ser notado que apenas as duas últimas fitas possuem um símbolo marcador de início, cuja função será especificada posteriormente.

A MT-OCR deverá efetuar os seguintes procedimentos: Um caractere é fornecido na entrada, como por exemplo, o caractere gráfico inscrito na matriz apresentada na figura 6. Essa matriz é diretamente transportada para o registro em Γ_E com a inserção sequencial das linhas.

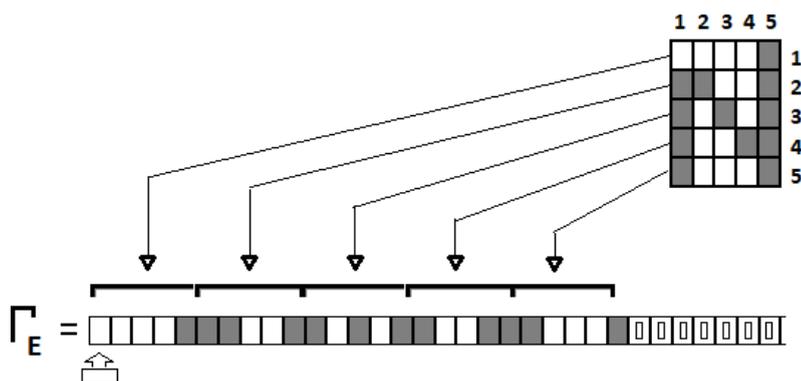


Figura 6 - Caractere de entrada a ser reconhecido.

As diferenças calculadas deverão ser registradas nas fitas de contagem para cada caractere Γ_{CM} e Γ_{CN} ; ao final, a aproximação dos caracteres de entrada se dará considerando o seguinte:

Sejam $|\Gamma_{CM}|$ e $|\Gamma_{CN}|$ indicadores da quantidade de símbolos nas fitas Γ_{CM} e Γ_{CN} , respectivamente; então:

- se $|\Gamma_{CM}| > |\Gamma_{CN}|$, então o caractere lido é N;

- se $|\Gamma_{CM}| < |\Gamma_{CN}|$, então o caractere lido é M;
- se $|\Gamma_{CM}| = |\Gamma_{CN}|$, então o caractere lido não pode ser definido entre M e N.

Deve ser observado que os cabeçotes são assíncronos; os cabeçotes responsáveis pela leitura dos padrões descritos em Γ_E , Γ_{CM} e Γ_{CN} movem-se simultaneamente, mas ainda assim são assíncronos.

A função de transição da MT-OCR (δ) é sem dúvida a parte mais complexa e importante; o quadro 1 apresenta a função δ para o problema de comparação de um padrão de entrada (Γ_E) e sua comparação com os padrões pré-definidos na MT (Γ_M e Γ_N).

#	Q	Γ_E	Γ_M	Γ_N	Γ_{CM}	Γ_{CN}	\rightarrow	Q	Γ_E	Γ_M	Γ_N	Γ_{CM}	Γ_{CN}	Δ_E	Δ_M	Δ_N	Δ_{CM}	Δ_{CN}
1	q_1				-	-		q_1				-	-	\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow	-	-
2	q_1				-	-		q_1				-		\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow	-	\rightarrow
3	q_1				-	-		q_1					-	\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow	-
4	q_1				-	-		q_1					-	\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow
5	q_1				-	-		q_1						\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow
6	q_1				-	-		q_1					-	\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow	-	\rightarrow
7	q_1				-	-		q_1				-		\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow	-	\rightarrow
8	q_1				-	-		q_1				-	-	\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow	-	-
9	q_1				-	-		q_f						-	-	-	\leftarrow	\leftarrow
1	q_f					\$		q_{fn}						-	-	-	-	-
0	q_f				\$			q_{fn}						-	-	-	-	-
1	q_f							q_f						-	-	-	\leftarrow	\leftarrow
2	q_f				\$	\$		q_{fe}				\$	\$	-	-	-	-	-
3	q_f				\$	\$		q_{fe}				\$	\$	-	-	-	-	-

Quadro 1 - MT-OCR: Diagrama de Transição δ

Descrição dos símbolos e estados da MT-OCR:

O conjunto de símbolos da MT-OCR está descrito no quadro 2; todos fazem parte do conjunto de símbolos das fitas, com exceção do símbolo “ \square ”, que representa justamente a ausência de qualquer símbolo na fita.

SÍMBOLOS	
	Célula não marcada
	Célula marcada
	Célula em branco (sem símbolos)
	Célula de contagem marcada
\$	Marcador inicial das fitas contadoras

Quadro 2- Símbolos utilizados pela MT-OCR

ESTADOS	
q_1	Estado de varredura da fita de entrada; transita todas as 25 células da entrada, modificando as demais fitas de acordo com a função programa δ .
q_f	Estado final; indica o final da varredura de entrada e início da função de contagem sobre as fitas contadoras.
q_{fn}	Estado final indicador do reconhecimento do caractere N
q_{fm}	Estado final indicador do reconhecimento do caractere M
q_{fe}	Estado final indicador de equidistância da entrada para os caracteres M e N

3 Resultados

Para aferir o funcionamento da máquina, um caractere é inserido na entrada da MT-OCR (Γ_E); vamos estabelecer uma entrada como descrita na matriz da figura 6 e então verificar a sequência de estados da MT para a mesma.

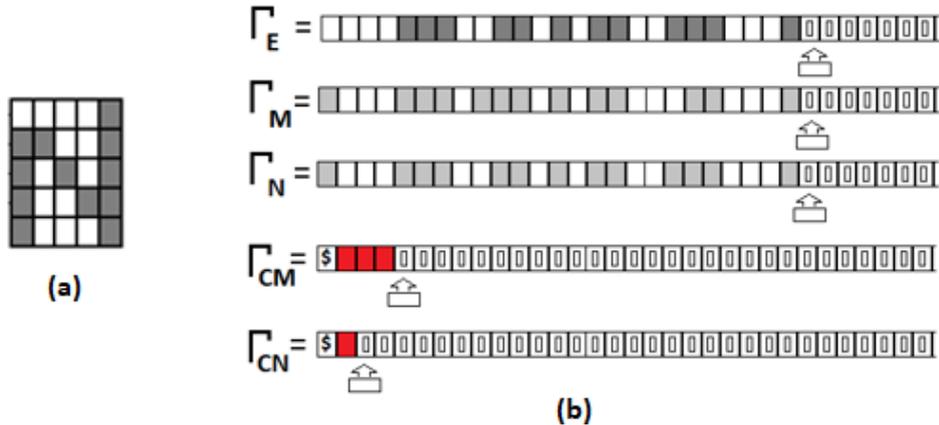


Figura 7 - Entrada e seu resultado respectivo após funcionamento da MT-OCR

Para a entrada especificada na figura 7(a), o processamento da MT-OCR produz ao final, o aspecto mostrado na figura 7(b). Pode ser notado que $|\Gamma_{CM}| > |\Gamma_{CN}|$, indicando que o padrão de entrada está mais próximo ao caractere N.

4 Discussão

A implementação da MT-OCR foi inicialmente pensada com um algoritmo diferente, onde a função programa realizava o cálculo da distância de Hamming em cada célula da entrada, armazenando o resultado da melhor aproximação em cada instante de maneira subjacente ao estado, gerando assim um grande número de estados e uma explosão combinatória de possibilidades de comparações para cada nova célula.

O algoritmo foi melhorado para uma abordagem mais inteligente, comparando linearmente a entrada, com os padrões gravados na MT-OCR, marcando em novas fitas designadas para registro do número de células idênticas. No final da passagem de entrada, ou seja, após comparar linearmente cada uma das 25 células da entrada com os padrões das máquinas, o conteúdo das fitas de registro é verificado, para que se tenha como resultado, a fita de contagem referente ao símbolo identificado com menor número de registros dados pela distância de Hamming, ou seja, o padrão do símbolo da MT-OCR que apresenta a menor distância de Hamming para a entrada.

Assim, a complexidade do processamento da MT-OCR para uma entrada é linear, calculada em apenas $(n+1)$, onde n = número de células a serem comparadas.

5 Conclusão

Este trabalho apresentou como construir uma Máquina de Turing capaz de realizar a parte do processo de reconhecimento óptico de caracteres, referente ao mecanismo de casamento de padrões (*Pattern Matching*), utilizando como comparação, a distância de Hamming.

O processo de identificação é realizado apenas com manipulação simbólica, sem o uso de qualquer função algébrica, nem mesmo a mais simples, como a contagem.

O exemplo da aplicação, embora resumido, devido às exigências dos detalhes impostos pela limitação da Máquina de Turing, demonstra a sua característica de resolver algoritmicamente os mais diversos problemas, abstraindo totalmente a matemática e os mecanismos físicos, demonstrando a natureza simples e operacional dos algoritmos como operações efetivas sobre elementos simbólicos.

Um trabalho subsequente será, obviamente, completar o quadro de padrões da MT-OCR, a fim de que possa reconhecer todos os caracteres do alfabeto, além de caracteres numéricos e alguns símbolos especiais, como operadores, delimitadores, etc.

6 Referências Bibliográficas:

SIPSER, Michael: Introdução à Teoria da Computação, São Paulo: Thomson, 2007.

AWS Amazon: O que é reconhecimento de caractere óptico (OCR)? Artigo disponível na URL <https://aws.amazon.com/pt/what-is/ocr/>, acessado em Agosto/2022

AZAMBUJA, R.X; RAMOS, E.: A Máquina de Turing. Artigo disponível na URL: https://www.ufrgs.br/alanturingbrasil2012/Maquina_de_Turing.pdf, acessado em 12/11/2022.

DIVERIO, T. A.; MENEZES, P.F.B.: Teoria da Computação – Máquinas Universais e Computabilidade. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FRAZÃO, D.: Biografia de Alan Turing – eBiografia, disponível na URL: https://www.ebiografia.com/alan_turing/, Acessado em 20 de outubro de 2022.

HILBERT, D.: “*Axiomatisches Denken*”, *Mathematische Annalen* 78, páginas 405-415, 1917, disponível na URL: <https://eudml.org/doc/158776>, acessado em 25 de Outubro de 2022.

PESSÔA, C.: Alan Turing: quem foi, vida e trajetória no mundo da tecnologia. Disponível na URL: <https://www.alura.com.br>. Acessado em 20 de outubro de 2022.

TANENBAUM, A. S.: Redes de Computadores - 4ªEd. - Ed. Elsevier – 2003.

DOS, C. **Máquina de Turing**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_de_Turing>.