

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**UM NOVO ALGORITMO BASEADO EM ENTROPIA
PARA FILTRAGEM DA INTERFERÊNCIA
FRENTE-VERSO**

por

JOÃO MARCELO MONTE DA SILVA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: PROF. DR. RAFAEL DUEIRE LINS

Recife, Outubro de 2005.

© João Marcelo Monte da Silva, 2005

Silva, João Marcelo Monte da

Um novo algoritmo baseado em entropia para filtragem da interferência frente-verso / João Marcelo Monte da Silva . – Recife : O Autor, 2005.

x, 95 folhas. : il., fig., tab.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Elétrica, 2005.

Inclui bibliografia e anexos.

1. Engenharia elétrica – Telecomunicações. 2. Processamento de imagens – Imagens monocromáticas – Análise. 3. Algoritmos de binarização – Estudo comparativo – Entropia do histograma da imagem . I. Título.

621.391

CDU (2.ed.)

UFPE

621.3822

CDD (22.ed.)

BC2005-663



Universidade Federal de Pernambuco

Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE
DISSERTAÇÃO DE Mestrado Acadêmico

JOÃO MARCELO MONTE DA SILVA

TÍTULO

“UM NOVO ALGORITMO BASEADO EM ENTROPIA PARA
FILTRAGEM DA INTERFERÊNCIA FRENTE/VERSO”

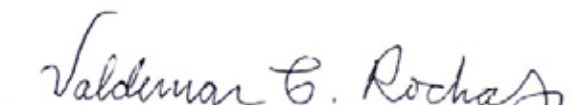
A comissão examinadora composta pelos professores: RAFAEL DUEIRE LINS, DES/UFPE, VALDEMAR CARDOSO DA ROCHA JÚNIOR, DES/UFPE e FRANCISCO MADEIRO BERNARDINO JÚNIOR, DEI/UNICAP, sob a presidência do primeiro, consideram o candidato **João Marcelo Monte da Silva APROVADO**.

Recife, 07 de outubro de 2005.


JOAQUIM FERREIRA MARTINS FILHO
Coordenador do PPGE


RAFAEL DUEIRE LINS
Orientador e Membro Titular Interno


FRANCISCO MADEIRO BERNARDINO
JUNIOR
Membro Titular Externo


VALDEMAR CARDOSO DA ROCHA JUNIOR
Membro Titular Interno

Dedicatória

Dedico este trabalho a Deus, provedor de nossa existência e racionalidade, e a minha família:

- a meus pais Leônidas José (*in memoriam*) e Marlene, por todo esforço na minha criação sempre dando os melhores exemplos possíveis;
- a meu irmão Leônidas Jr., companheiro de toda vida e sempre, sem dúvida o melhor amigo que tenho;
- a minha amada esposa Marilú, que divide comigo todas as emoções desta vida tornando-a fascinante;
- a meu querido filho Leoni Kurt, que me traz cada vez mais alegria e orgulho.

Agradecimentos

Sou grato extensivamente às pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta dissertação, em especial:

- à Profa. Márcia Mahon Campello de Souza, à Profa. Fernanda Alencar, ao Prof. Hélio Magalhães de Oliveira e ao Prof. Ricardo Meneses Campello de Souza, pela base concebida nas disciplinas cursadas durante o mestrado;
- à Banca Examinadora composta pelos professores Rafael Dueire Lins, Valdemar Cardoso da Rocha Júnior e Francisco Madeiro Bernardino Júnior pela colaboração através das suas críticas e sugestões;
- novamente ao Prof. Valdemar Cardoso da Rocha Júnior pela atenção, discussões e esclarecimentos que contribuíram para esta dissertação, além de ter participado, da formação da minha base através das aulas ministradas da disciplina de Teoria da Informação;
- à minha mãe Marlene Monte e aos pais da minha esposa Aimar Pimentel e Maria de Lourdes Gomes, que são uma *fidel* extensão da minha família, por nos dar (a mim, a minha esposa e ao meu filho) o apoio emocional e financeiro que necessitamos.
- aos amigos que sempre me apoiaram, sendo no lazer ou no amparo em situações difíceis. Não tendo como citar o nome de todos, gostaria de destacar Rosângela Freire, Ismael Gomes, Marcus Paulo Bezerra, Paulo Sivini, Kátia Bastos, os integrantes da banda A Mostra e os que cursaram comigo as disciplinas do programa.
- novamente ao Prof. Rafael Duere Lins, meu orientador, por ter me aceitado para o mestrado como seu orientado, pela disposição na busca dos recursos, pela colaboração intensa para a minha formação intelectual, por acreditar em mim quando eu mesmo pensava não conseguir, pela amizade desenvolvida e muito mais.

Resumo da Dissertação apresentada à UFPE como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

UM NOVO ALGORITMO BASEADO EM ENTROPIA PARA FILTRAGEM DA INTERFERÊNCIA FRENTE-VERSO

João Marcelo Monte da Silva

Outubro / 2005

Orientador: Prof. Dr. Rafael Dueire Lins.

Área de Concentração: Telecomunicações – Processamento de Sinais (Imagens).

Palavras-chave: Análise de Documentos Digitalizados, Binarização, Entropia, Interferência Frente-Verso e Imagens Monocromáticas.

Número de Páginas: 106.

A digitalização de documentos originariamente em papel é a maneira mais eficiente que dispomos hoje como meio de preservar o seu conteúdo para as gerações futuras, bem como possibilitar o acesso e disseminação às informações via redes de computadores.

A natureza do documento impõe técnicas diferentes para a digitalização e armazenagem destes. Em geral, objetivando possibilidades futuras, os documentos são digitalizados em cores (*true color*) e alta resolução (chegando hoje até mais de 1.000 pontos por polegada). Visando o acesso via redes, tais documentos são geralmente disponibilizados em sua versão monocromática, com 200 dpi de resolução e comprimidos em formato conveniente, geralmente TIFF (G4). Tal processo de diminuição do número de cores de documentos, no caso de conversão para monocromático conhecido como *binarização*, possui dificuldades para ser efetuado de maneira automática, caso o documento tenha sido escrito ou impresso em ambos os lados de papel translúcido, situação conhecida como *interferência frente-verso*. Os algoritmos de binarização hoje existentes nas ferramentas comerciais geram imagem onde as porções referentes à tinta na frente e no verso ficam sobrepostas, impossibilitando a leitura da imagem obtida. Embora tal problema tenha sido apresentado há mais de uma década, ainda hoje busca-se soluções melhores para ele. No caso de documentos históricos, a complexidade do problema é ainda maior, uma vez que há o escurecimento causado pelo envelhecimento do papel como fator complicador.

Esta dissertação propõe um novo algoritmo baseado na entropia do histograma da imagem para a binarização da imagem de documentos históricos com interferência frente-verso. O algoritmo proposto é comparado com os seus antecessores descritos na literatura, gerando imagens de melhor qualidade que os seus congêneres.

Abstract of Dissertation presented to UFPE as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Electrical Engineering.

A NEW ENTROPY-BASED ALGORITHM FOR BACK-TO-FRONT INTERFERENCE FILTERING

João Marcelo Monte da Silva

October / 2005

Supervisor(s): Rafael Dueire Lins, PhD.

Area of Concentration: Telecommunication – Signal Processing (Image).

Keywords: Digitalized Document Analyses, Binarization, Entropy, Back-to-Front Interference and Monochromatic Images

Number of Pages: 106.

The digitalization of documents originally printed in paper is the most efficient way one can find today to preserve their contents to future generations and to make them widely accessible including their dissemination via computer networks.

The particular features of each set of documents impose different techniques to document storage and digitalization. In general, to allow future possibilities documents are digitalized in true color (*16M colors*), and at a high resolution (reaching today over *1,000 dots per inch*). Aiming at widespreading document information through network access, documents are generally available in their monochromatic version, scanned with 200 dpi resolution and compressed in a convenient format, normally TIFF (G4).

The process of decreasing the palette of documents to monochromatic is known as *binarization*. Whenever a document is written or printed on both sides of translucent paper, there is a back-to-front interference. The standard binarization algorithms present at commercial tools generate images where the ink the front and back is overlapped, making unreadable the image obtained. Although this problem is over a decade old, better solutions to this problem are still of interest today. In historical documents, paper aging is a complicating factor.

This dissertation proposes a new algorithm based on entropy of the image histogram to binarize historical documents with back-to-front interference. The proposed algorithm is compared with its predecessors described in the literature, yielding better quality images.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SIMBOLOS E SIGLAS	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 TENTATIVAS ANTECEDENTES	7
1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	10
2 ELEMENTOS DA TEORIA DA INFORMAÇÃO	12
2.1 AUTO-INFORMAÇÃO	12
2.2 ENTROPIA	14
2.3 FONTE DISCRETA SEM MEMÓRIA	14
2.3.1 Entropia <i>r</i> -ária	16
2.4 EXTENSÃO DE UMA FONTE DISCRETA SEM MEMÓRIA	16
3 ALGUNS ALGORITMOS DE BINARIZAÇÃO	18
3.1 ALGORITMO DE PUN	21
3.2 ALGORITMO DE KAPUR, SAHOO E WONG	22
3.3 ALGORITMO DE JOHANNSEN E BILLE	22
3.4 ALGORITMO DE YEN, CHANG E CHANG	23
3.5 ALGORITMO DE MELLO E LINS	24
3.6 ALGORITMO DE OTSU	24
4 UM NOVO ALGORITMO	26
5 ANÁLISE COMPARATIVA DOS ALGORITMOS DE FILTRAGEM	30
6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	39
REFERÊNCIAS	42
ANEXOS	45
1 RESULTADOS DAS APLICAÇÕES DOS ALGORITMOS DE FILTRAGEM.....	46
2 IMPLEMENTAÇÕES DOS ALGORITMOS UTILIZADOS.....	84

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Exemplo de um documento do acervo de Joaquim Nabuco com a interferência frente-verso.	6
Figura 1.2 – Resultado da aplicação direta do filtro de binarização na imagem da Figura 1.1 utilizando o Corel PHOTO-PAINT.....	8
Figura 1.3 – Parte da imagem da Figura 1.1 com amostras indicadas.	10
Figura 2.1 – Gráfico de $h(p)$ em função de p no intervalo $[0, 1]$	16
Figura 3.1 – (a) Imagem em níveis de cinza, (b) histograma da imagem e (c) imagem binarizada.	19
Figura 4.1 – Gráfico de $\alpha(H)$ em função de H	29
Figura 5.1 – Imagens originais – em true-color e em níveis de cinza – e binarizadas – de referência e resultantes das aplicação dos algoritmos.	31
Figura 5.2 – Partes das imagens da Figura 5.1.	32
Figura 5.3 – (a) imagem original, (b) imagem escurecida, (c) histograma da imagem original e (d) histograma da imagem escurecida.	34
Figura 5.4 – Resultados da aplicação do algoritmo de Mello e Lins (a) na imagem original e (b) na imagem escurecida.	35
Figura 5.5 – Resultados da aplicação do novo algoritmo (a) na imagem original e (b) na imagem escurecida.	35
Figura 5.6 – Imagens original e binarizadas pelos algoritmos com resultados não satisfatórios.....	37
Figura 5.7 – Área de interesse das imagens da Figura 5.6 (a) original e (b) binariza pelo novo algoritmo.	38
Figura A1.1 – Imagens do documento 273,6 do acervo de Joaquim Nabuco.	49
Figura A1.2 – Imagens do documento 605 do acervo de Joaquim Nabuco.	53
Figura A1.3 – Imagens do documento 276,1 do acervo de Joaquim Nabuco.	57
Figura A1.4 – Imagens do documento 521,7 do acervo de Joaquim Nabuco.	60
Figura A1.5 – Imagens do documento 1.221,2 do acervo de Joaquim Nabuco.	64
Figura A1.6 – Imagens do documento 1221,3 do acervo de Joaquim Nabuco.	68
Figura A1.7 – Imagens do documento 134,5 do acervo de Joaquim Nabuco.	72
Figura A1.8 – Imagens do documento 135,2 do acervo de Joaquim Nabuco.	75
Figura A1.9 – Imagens do documento 515,2 do acervo de Joaquim Nabuco.	78
Figura A1.10 – Imagens do documento 510,1 do acervo de Joaquim Nabuco.	82

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 – <i>Características do scanner de mesa EPSON ES-300Cl.</i>	3
Tabela 1.2 – <i>Características do scanner de mesa HP ScanJet 4c.</i>	4
Tabela 5.1 – <i>Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura 5.1.</i>	32
Tabela 5.2 – <i>Dado dos PSNR's referentes às Figuras 5.4 e 5.5, nesta ordem.</i>	36
Tabela A1.1 – <i>Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.1.</i>	50
Tabela A1.2 – <i>Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.2.</i>	54
Tabela A1.3 – <i>Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.3.</i>	57
Tabela A1.4 – <i>Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.4.</i>	61
Tabela A1.5 – <i>Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.5.</i>	65
Tabela A1.6 – <i>Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.6.</i>	69
Tabela A1.7 – <i>Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.7.</i>	72
Tabela A1.8 – <i>Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.8.</i>	75
Tabela A1.9 – <i>Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.9.</i>	79
Tabela A1.10 – <i>Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.10.</i>	83

Lista de Símbolos e Siglas

dpi – pontos por polegada (*dots per inch*)
JPEG – Formato de armazenamento de imagem (*Joint Photographic Experts Group*)
RGB – Sistema de Cor (*Red-Green-Blue*)
 t – Limiar de Corte (*Threshold*)
nível de cinza – Nível de Cinza
 R – Componente Vermelha da cor do *pixel*
 G – Componente Verde de cor do *pixel*
 B – Componente Azul de cor do *pixel*
 p_i – Probabilidade de se encontrar um *pixel* de nível de cinza i
 n_i – Número de *pixels* de nível de cinza i
 N – Número de *pixels* total da imagem
 $P(t)$ – Probabilidade de se encontrar um *pixel* de nível de cinza menor ou igual a t
 H' – Entropia do histograma da imagem binarizada
 H – Entropia do histograma da imagem em níveis de cinza
 H_b – Entropia referente aos *pixels* que se tornarão pretos
 H_w – Entropia referente aos *pixels* que se tornarão brancos
 $p(i)$ – Distribuição do histograma proposta por Kapur, Sahoo e Wong
 $h(p)$ – Função Entropia
 $H_{\text{fonte binária a priori}}$ – Entropia da *fonte binária a priori*
 $\alpha(H_{\text{fonte binária a priori}})$ – Fator de Perda
 $e(t)$ – Função Erro
MSE – Erro Médio Quadrático (*Mean-Square-Error*)
PSNR – Razão Sinal-Ruído de Pico (*Peak Signal-to-Noise Ratio*)
dB – Unidade Decibel
OCR – Reconhecimento Óptico de Caracteres (*Optical Character Recognition*)

CAPÍTULO 1

Introdução

Inventado no Egito por volta de 4.000 a.C., o papel – pela sua praticidade, portabilidade e custo – representou uma das maiores revoluções tecnológicas da humanidade. Ele substituiu todas as formas de armazenamento de informações anteriores (entalhamento em pedra ou madeira, impressão em tijolos de argila, gravações em couro de animais, etc.), sendo, ainda hoje, o meio mais usado para armazenamento e difusão de informação. Isto não o torna, porém, o mais eficiente. Além da fragilidade inerente, a rápida ocupação de grandes espaços físicos e a dificuldade na busca por dados específicos são as principais desvantagens dessa forma de armazenamento de informações. Nos dias atuais, o uso dos recursos computacionais apresenta-se como alternativa viável e vantajosa para a solução de tais problemas.

A criação de dispositivos digitalizadores (*scanners* e câmeras digitais) tornou possível a transposição de documentos para computadores na forma de imagens. Assim, é possível o armazenamento de imagens de documentos, visando uma proteção mais eficiente ao desgaste provocado pelo tempo. Armazenados em dispositivos de memória secundária, sejam ópticos (como DVD's, CD-ROM's) ou magnéticos (como discos rígidos, fitas, discos Zip, Jaz *drives*, etc.), é inteiramente viável a cópia de acervos completos de documentos para outro dispositivo de armazenamento sem nenhuma perda de dados, posterior à digitalização.

Talvez o ponto crítico dessa tecnologia esteja na grande quantidade de espaço necessário para armazenar as imagens. Por exemplo, uma página em papel A4 digitalizada,

utilizando uma resolução para digitalização de 200 *dpi* (*dots per inch* – pontos por polegada) e 256 níveis de cinza, gera uma imagem de cerca de 1.700 x 2.400 pixels que ocupa 4.113 Kbytes, se armazenada no formato padrão do sistema Windows, o BMP. Isso torna o armazenamento direto, sem compressão e sem perdas, extremamente oneroso. Se a imagem for relativa a um texto, chamada algumas vezes de imagem textual, a informação contida nela pode ser armazenada em um formato de texto ocupando menos de 100 Kbytes.

A criação de livros digitais surge hoje como uma área em grande expansão. Embora o ser humano esteja hoje mais acostumado com o uso de papel e ainda o considere o melhor método para leitura, os livros digitais têm evoluído bastante em termos de interface recentemente. Novos livros podem ser gerados diretamente no computador, mas a transposição para o universo digital da literatura já existente necessita do uso de ferramentas eficientes.

Uma outra questão bastante relevante nessa “inclusão digital” é a digitalização de acervos de documentos históricos. E é nesse ponto que o presente trabalho de dissertação, basicamente, tem seu foco. É apresentada, ao longo desta dissertação, uma descrição detalhada de alguns fatores fundamentais no estudo de tais imagens.

O Projeto Nabuco [1], idealizado originalmente pela Prof.^a Graziela Peregrino, teve início em 1992 e foi desenvolvido visando a atender às necessidades da Fundação Joaquim Nabuco em preservar o conteúdo do rico acervo, ali depositado, de documentos históricos e tornar mais fácil o acesso a estes, anteriormente restrito a consulta *in loco* de apenas alguns pesquisadores qualificados. A Fundação Joaquim Nabuco – FUNDAJ [2], um instituto de pesquisa social, situada em Recife, Pernambuco, possui coleções, com centenas de milhares de documentos pertencentes a figuras de destaque da história nacional, destacando dentre elas, seu patrono Joaquim Nabuco.

Joaquim Nabuco (1849-1910) – escritor, estadista e diplomata – teve um papel fundamental na campanha de libertação dos escravos no Brasil. Dentre os documentos pertencentes a seu acervo existem diversas cartas (manuscritas e datilografadas), cartões postais, etc. Particular destaque merece seu acervo de cartas com cerca de 6.500 documentos, perfazendo um total de aproximadamente 30.000 páginas. São desse acervo as imagens utilizadas nesta pesquisa. A Prof.^a Graziela Peregrino, então superintendente de informática da Fundação Joaquim Nabuco, convidou o Prof. Rafael Dueire Lins a assumir tal desafio, que em tal época mostrou-se iniciativa pioneira no Brasil.

Quando se trata de documentos históricos deve-se pensar em dois pontos:

- preservar o valor iconográfico do documento;
- tornar as informações desses documentos facilmente acessíveis, passíveis de distribuição via redes de computadores, FAX's, CD's, DVD's e etc. Nesse caso, imagens em preto e branco de boa definição devem ser geradas, possibilitando a leitura do conteúdo do documento, bem como a percepção de alguns elementos gráficos e iconográficos (desenhos, rasuras, etc.).

Quanto ao primeiro ponto, as imagens foram digitalizadas no início do Projeto Nabuco, pessoalmente pelo coordenador do projeto, após percorrer extenso tramite burocrático que permitia a retirada, da FUNDAJ para a UFPE – onde foram digitalizadas, de apenas 5 (cinco) documentos ao dia. Foi utilizado um *scanner* de mesa EPSON ES-300C. Esse modelo tinha as características mostradas na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – *Características do scanner de mesa EPSON ES-300C.*

Scanner	Resolução Óptica	Resolução de Cor Máxima	Área de Leitura
Epson ES-300C	300 dpi	24 bits/pixel	A4 ou Carta

Posteriormente, utilizou-se outro scanner de mesa HP ScanJet 4c com as características apresentadas na Tabela 1.2.

Tabela 1.2 – *Características do scanner de mesa HP ScanJet 4c.*

Scanner	Resolução Óptica	Resolução de Cor Máxima	Área de Leitura
HP ScanJet 4c	600 dpi	24 bits/pixel	8.5" x 14" (Legal)

Experimentos efetuados conjuntamente com os especialistas em documentos históricos da Fundação Joaquim Nabuco definiram um bom ponto de equilíbrio entre resolução de digitalização, tempo de digitalização, espaço para armazenamento e tempo de transmissão de documentos via rede. Para tanto, documentos representando os diversos tipos de papel, escrita, estado de degradação, etc. existentes no acervo foram digitalizados com diferentes resoluções e analisados pelos especialistas quanto à visualização em tela de vídeo (resolução de 640 x 480dpi) e re-impressão em impressoras jato de tinta e laser coloridas. Tais experimentos demonstraram que uma resolução de 150 dpi seria suficiente para preservar todos os aspectos iconográficos e de conteúdo do acervo em questão. Porém a resolução escolhida de 200 dpi não só apresenta maior redundância da informação, oferecendo maior margem de segurança para iniciativas futuras, mas também é compatível com a resolução adotada como padrão nos equipamentos de fax, sendo este, na época do início do Projeto Nabuco, o modo de consulta mais freqüente disponível, inclusive possibilitando atender as muitas solicitações formuladas por pesquisadores nacionais e estrangeiros.

Dessa forma, os documentos do acervo foram digitalizados em 16 milhões de cores (formato computacional chamado de *true color*). Tais experimentos também apontaram para a conveniência e adequação do formato de armazenamento JPEG com uma taxa de perda de cerca de 1%. Nesse formato, as imagens foram armazenadas em CD-ROM's com finalidades de preservação. Segundo os especialistas da FUNDAJ, a luz proveniente do *scanner* para fins de digitalização não apresentou níveis representativos de degradação nos documentos.

Em relação ao segundo ponto, obter boa qualidade em imagens preto e branco não é uma tarefa trivial. Boa parte das imagens dos documentos manuscritos apresenta, além da degradação sofrida pelo papel devido à alta alcalinidade empregada no processo químico de sua formação no final do século XIX e início do século XX, uma visibilidade da escrita ou impressão de uma face sobreposta de maneira esmaecida sobre a outra. Tal fenômeno, que também ocorre em documentos atuais se escrito em papel translúcido, é mais crítico em alguns documentos antigos (históricos), pois a tinta permeia o papel. Um exemplo de uma carta pertencente ao acervo da Fundação Joaquim Nabuco que apresenta essa interferência é mostrado na Figura 1.1. Esse fenômeno, chamado *interferência frente-verso*, foi pioneiramente descrito na literatura e inicialmente tratado por LINS [1].

Mais exemplos de documentos pertencentes ao acervo podem ser vistos no Anexo 1, no final desta dissertação. Esses documentos foram impressos em uma impressora Canon Pixma IP1000 jato de tinta com resolução máxima de 4.800 x 1.200dpi.

Apesar da baixa legibilidade, oriunda da interferência frente-verso, na grande maioria dos documentos o olho humano possibilita o seu entendimento efetuando a “filtragem”, separando o conteúdo das distintas faces do documento.

Seria de se esperar que os documentos que apresentam interferência frente-verso possuíssem três distribuições referentes às cores dos pixels. A primeira delas correspondente à cor do papel (fundo), a segunda associada à tinta na frente e a terceira referente à tinta interferente (interferência frente-verso). Se tais distribuições estivessem bem caracterizadas, o processo de *binarização* mapearia a segunda em pixels pretos e as demais em pixels brancos. Infelizmente, tais distribuições aparecem sobrepostas. Alguns dos pixels da tinta na imagem de uma face possuem as mesmas componentes *RGB* (sistema de cor: *R* – red, *G* – green e *B* – blue), da tinta transpassada (interferência frente-verso) dificultando a definição do ponto de corte.

29 July 1908
 JW
 CAP 57 doc. (1.130)
 BRAZILIAN EMBASSY. a4g2
 WASHINGTON. Hamilton,
 Mass.

Dear Mr. Barrett,

I have read your contribution to Spare Moments.
 It is a master-piece of Propagandism, of the art of inspiring to others ^{earnest} love and interest for the cause one has at heart. You are really wonderful! It is striking, lucid, convincing!

Figura 1.1 – Exemplo de um documento do acervo de Joaquim Nabuco com a interferência frente-verso.

As ferramentas de filtragem de imagens existentes atualmente nos *softwares* comerciais, como Corel PHOTO-PAINT® [3], para processamento de imagens não são completamente apropriadas para a binarização das imagens em questão, requerendo usuários especializados para sua aquisição e filtragem. Na Figura 1.2 podemos ver o resultado obtido pela aplicação direta do filtro de binarização dessa ferramenta na imagem do documento apresentado na Figura 1.1. Essa filtragem sobrepõe grosseiramente as tintas da grafia de ambos os lados e, às vezes, inclui partes do papel escurecido pelos anos, fungos e mofos, mapeando esses elementos em *pixels* negros e, portanto, gerando imagens completamente ilegíveis.

1.1 Tentativas Antecedentes

Como primeira solução para esse problema LINS *et. al* [1] propõe uma “filtragem em espelho”, onde toma-se duas imagens, a imagem de frente que se quer filtrar e a imagem de fundo invertida em espelho. Posteriormente, faz-se o alinhamento das duas imagens, comparando-as pixel a pixel. Se o pixel da imagem de frente for mais escuro que o da imagem de fundo, dada uma certa tolerância, o pixel equivalente da imagem binarizada será preto, caso contrário será branco. Essa tolerância é definida experimentalmente tentando-se diversos tipos de documentos. Tal procedimento, embora tenha apresentado resultados satisfatórios do ponto de vista da imagem resultante, possui grandes dificuldades na promoção do alinhamento preciso das imagens de ambas as faces. O uso de marcas no próprio documento é inaceitável face a sua natureza histórica. O emolduramento do documento em duas lâminas marcadas de vidro, possibilitando o alinhamento das imagens torna tal processo lento e exigiria o escaneamento duas vezes de cada face do documento com interferência (uma para preservação da imagem e outra para binarização).



Figura 1.2 – Resultado da aplicação direta do filtro de binarização na imagem da Figura 1.1 utilizando o Corel PHOTO-PAINT.

Em comunicação privada, Nelson Mascarenhas (U.F.S.Car) sugeriu a Lins o uso de filtro de inclinação no caso de documentos escritos à mão, uma vez que cada face do documento exibiria uma inclinação dominante. Tal técnica, infelizmente, não obteve bons resultados, pois partes da informação foram removidas.

A análise de imagem transposta para o domínio da frequência, por meio da Transformada de Fourier, também não ofereceu elementos para remoção da interferência frente-verso na binarização.

O estudo de estratégias de filtragem baseado em componentes isoladas da imagem RGB não se mostrou bem sucedido, como também não foi a tentativa de avaliar o corte no espaço de Luminância-Crominância equivalente.

Foram, também, propostas técnicas de filtragem semi-automáticas, tal como sugerir um limiar inicial ao usuário (operador) para que este tenha uma maior facilidade no processo de busca manual do ponto certo de corte. Essa técnica também elimina as cores que não estão presentes na imagem, tornando a busca mais eficiente. Uma outra técnica proposta foi a filtragem com amostragem que consiste no fato do operador indicar três amostras da imagem – uma do grupo de cores do papel, outra do grupo de cores da tinta interferente e a última do grupo de cores da tinta na frente, vide Figura 1.3 – que associada a uma regulagem de tolerância tenta separar a tinta interferente da tinta na frente.

De todas as técnicas tentadas por Lins, em mais de uma década de pesquisas, a que obteve melhores resultados foi a de filtragem por limiar (*threshold*) do histograma da imagem em níveis de cinza, onde a frequência de corte é função da entropia de tal histograma [4],[5].

A presente dissertação retoma esse caminho na busca de uma solução mais eficiente para o problema da interferência frente-verso em binarização, apresentando uma solução original e comparando os resultados obtidos com outros algoritmos descritos na

literatura.

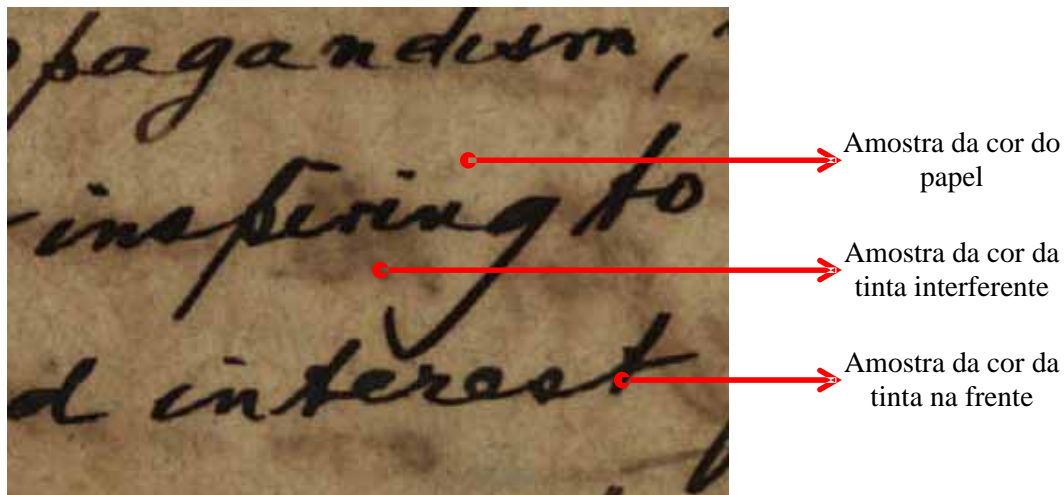


Figura 1.3 – Parte da imagem da Figura 1.1 com amostras indicadas.

Diante dos fatos expostos nesta introdução, fica justificada a busca de um novo algoritmo para a solução do problema da interferência frente-verso. A seguir, tem-se a descrição de cada capítulo que compõe esta dissertação.

1.2 Estrutura da Dissertação

O Capítulo 2 traz alguns aspectos da Teoria da Informação que servem de base para um fiel entendimento dos algoritmos de binarização de imagens baseados na entropia de seus histogramas. Na apresentação destes fundamentos vamos “um pouco além” da revisão necessária para os algoritmos clássicos. Entretanto, este “além” é necessário para complementar o embasamento exigido pelo novo algoritmo aqui proposto. São revisados neste capítulo os conceitos de *auto-informação*, *entropia*, *fonte discreta sem memória* e *extensões de uma fonte discreta sem memória*.

No Capítulo 3 veremos uma breve descrição de alguns algoritmos de binarização que servirão de base para um estudo comparativo entre eles e o novo algoritmo que será apresentado no capítulo posterior.

O Capítulo 4 apresenta a proposta de um novo algoritmo de binarização baseado na entropia do histograma da imagem, como alguns dos que serão apresentados no Capítulo 3.

No Capítulo 5 faremos uma análise comparativa dos algoritmos de filtragem. O objetivo é gerar uma imagem onde as componentes do papel e da interferência possam ser eliminadas, deixando apenas a tinta. Para isso, destacaremos o novo algoritmo comparando seu desempenho, sobre várias imagens do acervo Nabuco, com o dos algoritmos descritos no Capítulo 3.

Por fim, no Capítulo 6, apresentaremos as nossas conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Visando simplificar a diagramação desta dissertação, bem como possibilitar uma mais fácil comparação entre as imagens originais e as obtidas nas diversas filtrações, essas foram colocadas no Anexo 1 desta dissertação, intitulado “Resultados das Aplicações dos Algoritmos de Filtragem”.

O Anexo 2 desta dissertação apresenta os códigos em MATLAB[®] para cada um dos algoritmos apresentados, bem como o código do programa de cálculo do *PSNR* (*Peak Signal-to-Noise Ratio*), usado para efetuar a análise quantitativa da qualidade das imagens obtidas. Vale ressaltar que não está sendo analisado o desempenho computacional de nenhum dos algoritmos implementados, face a grande discrepância na qualidade das imagens obtidas por cada um deles.

CAPÍTULO 2

Elementos da Teoria da Informação

Neste capítulo veremos um pouco dos fundamentos da Teoria da Informação [6], pois, como mencionado, estes são de suma importância para a compreensão dos algoritmos de binarização baseados na entropia do histograma da imagem.

A *Teoria da Informação* foi criada por Claude Shannon [7] ao publicar em 1948, um dos mais importantes artigos na história da engenharia. O trabalho pioneiro de Shannon estabeleceu os fundamentos científicos desta nova disciplina. A Teoria da Informação, além de tratar quantitativamente com o conceito de informação, estabelece limitantes de desempenho para sistemas de transmissão ou de armazenamento de informação, dentre outros assuntos. Atualmente encontramos aplicações de Teoria da Informação em áreas bem estabelecidas (como, por exemplo, matemática) na prova de teoremas.

A seguir apresentaremos os conceitos necessários ao entendimento dos algoritmos aqui descritos de forma sumária e objetiva. Os parágrafos seguintes estão fortemente baseados no texto do Prof. Valdemar Cardoso da Rocha Jr. [8], o qual deve-se consultar para maiores aprofundamentos.

2.1 Auto-Informação

Definição 2.1 Seja x_i um dos valores de uma variável aleatória X que ocorre com probabilidade $P_X(x_i)$. Se x_i ocorreu, então se diz que foram recebidas

$$I(X = x_i) = \log \frac{1}{P_X(x_i)} = -\log P_X(x_i) \quad (2-1)$$

unidades de informação.

A definição acima pode ser interpretada da seguinte forma: quanto menos provável determinado evento seja, a sua ocorrência gera maior quantidade de informação (ou surpresa). De forma semelhante, um evento que se tem certeza do seu acontecimento não traz nenhuma informação.

A escolha da base do logaritmo na definição acima define a unidade da quantidade de informação.

O uso do logaritmo na base 2 acarreta que a unidade de informação resultante é chamada de *bit*.

$$I(X = x_i) = -\log_2 P_X(x_i) \text{ bits .} \quad (2-1a)$$

Semelhante, com o emprego do logaritmo neperiano, a unidade de informação resultante é chamada de *neper*.

$$I(X = x_i) = -\ln P_X(x_i) \text{ nepers .} \quad (2-1b)$$

No caso do logaritmo na base 10, então a unidade de informação será *Hartley*, uma homenagem a R. V. Hartley quem primeiro sugeriu o uso de um logaritmo na medida de informação [9].

$$I(X = x_i) = -\log_{10} P_X(x_i) \text{ Hartleys .} \quad (2-1c)$$

Em geral, se for usado o logaritmo na base r , obtém-se:

$$I(X = x_i) = -\log_r P_X(x_i) \text{ unidades } r - \text{ária .} \quad (2-1d)$$

Pelo fato de o bit ser a unidade mais utilizada, quando a quantidade de informação for calculada na base 2, esta não será escrita, ou seja, é assumido que

$$I(X = x_i) = -\log_2 P_X(x_i) = -\log P_X(x_i) . \quad (2-1e)$$

2.2 Entropia

Definição 2.2 Seja X uma variável aleatória com K valores possíveis x_1, x_2, \dots, x_K , os quais ocorrem com probabilidades $P_X(x_1), P_X(x_2), \dots, P_X(x_K)$, respectivamente. A *Entropia* (ou incerteza) $H(X)$ desta variável aleatória é a quantidade

$$H(X) = - \sum_{\substack{i=1 \\ x_i: P_X(x_i) \neq 0}}^K P_X(x_i) \log P_X(x_i). \quad (2-2)$$

Shannon associou *entropia* à incerteza e *informação* à redução da incerteza, isto é, informação é aquilo que recebemos quando a incerteza é reduzida. Mas, de algum modo, a entropia indica a média de informação que uma variável aleatória pode fornecer.

Uma propriedade da entropia é que esta é limitada tanto por um máximo quanto por um mínimo.

Teorema 2.1 Se a variável aleatória discreta X possuir K possíveis valores, então a entropia $H(X)$ satisfaz as seguintes desigualdades

$$0 \leq H(X) \leq \log K, \quad (2-3)$$

com igualdade à esquerda se e somente se $P(x_i) = 1$ para algum x_i , e com igualdade à direita se e somente se $P(x_i) = 1/K$ para todo x_i .

2.3 Fonte Discreta sem Memória

Definição 2.3 Seja S uma fonte discreta que emite seqüências de símbolos de um alfabeto fixo $S = \{s_1, s_2, \dots, s_K\}$, sendo tais símbolos gerados obedecendo uma distribuição de probabilidade $P(s_1), P(s_2), \dots, P(s_K)$, respectivamente, e estatisticamente independentes. Tal fonte é definida [8] como *fonte discreta sem memória*.

A entropia de uma fonte discreta sem memória $S = \{s_1, s_2, \dots, s_K\}$ com distribuição de probabilidade de ocorrência dos seus símbolos P_1, P_2, \dots, P_K é dada por

$$H(S) = -\sum_{i=1}^K P_i \log P_i \text{ bits/símbolo,} \quad (2-4)$$

a qual pode ser interpretada como a incerteza que um observador tem sobre qual será o símbolo emitido, antes de saber qual símbolo de fato foi emitido. Uma segunda interpretação é feita se utilizarmos o conceito da Definição 2.1. Denotando a informação associada a um símbolo s_i por $I(s_i)$, tem-se pela equação (2-1) que

$$I(s_i) = -\log P_i. \quad (2-5)$$

Assim, a entropia é dada por

$$H(S) = \sum_{i=1}^K P_i I(s_i) \quad (2-6)$$

e pode-se interpretar este resultado como o valor médio da informação obtida por símbolo observado.

Um exemplo importante de fonte de informação sem memória é a *fonte binária sem memória*. Para uma fonte deste tipo, S , seu alfabeto é apenas $\{0, 1\}$. A probabilidade de um 0 é p e a probabilidade de um 1 é $(1 - p)$. Pode-se calcular a entropia dessa fonte por

$$H(S) = -[p \log p + (1 - p) \log(1 - p)]. \quad (2-7)$$

A função de p dada na equação (2-7) ocorre freqüentemente em problemas de Teoria da Informação. Vista sua relevância, esta tem um nome especial. Define-se

$$h(p) = -p \log p - (1 - p) \log(1 - p), \quad (2-8)$$

sendo $h(p)$ chamada de *função entropia*. Deve-se notar a distinção entre as equações (2-7) e (2-8). $H(S)$ fornece a entropia de uma fonte particular S , enquanto $h(p)$ é a função de uma variável definida no intervalo $[0, 1]$. Um outro fato que deve ser notado é que $\lim_{p \rightarrow 0} p \log p = 0$, assim, é definido que $0 \log 0 = 0$.

Na Figura 2.1 tem-se o gráfico de $h(p)$ em função de p no intervalo $[0, 1]$.

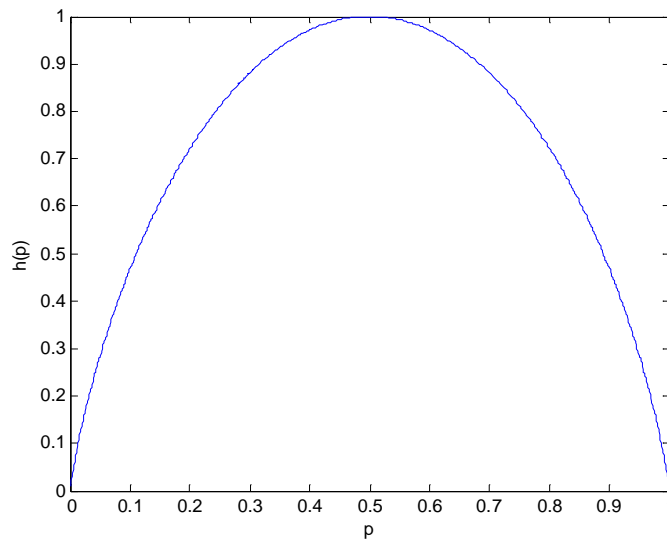


Figura 2.1 – Gráfico de $h(p)$ em função de p no intervalo $[0, 1]$.

2.3.1 Entropia r-ária

Caso seja usada a base r para os logaritmos, ao invés da base 2, a *entropia r-ária* tem a expressão

$$H_r(S) = -\sum_{i=1}^K P_i \log_r P_i \text{ unidades } r\text{-ária / símbolo,} \quad (2-9)$$

ou, de modo equivalente,

$$H_r(S) = \frac{H(S)}{\log r}, \quad (2-10)$$

lembrando que $0 \leq H(S) \leq \log K$.

2.4 Extensão de Uma Fonte Discreta sem Memória

Em muitas situações práticas, como, por exemplo, na codificação de dados, há interesse em se trabalhar com blocos de símbolos de uma fonte, ao invés de se trabalhar com símbolos individuais. Por exemplo, a representação em ASCII dos símbolos do teclado de um computador utiliza palavras binárias de 7 dígitos cada, ou seja, blocos

binários de comprimento 7. Quando se consideram blocos de tamanho fixo e igual a n símbolos, o número n é chamado de ordem da extensão da fonte. Trata-se matematicamente este caso considerando uma nova fonte S^n , cujo alfabeto de saída consiste de todos os blocos formados pela concatenação de n símbolos da fonte S . O conjunto dos símbolos da fonte S^n é denotado por $\{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{K^n}\}$. A definição de extensão de uma fonte sem memória é apresentada a seguir.

Definição 2.4 Seja S uma fonte de informação discreta sem memória, cujo alfabeto consiste dos símbolos $\{s_1, s_2, \dots, s_K\}$, onde a probabilidade da fonte emitir o símbolo s_i é P_i . A extensão de ordem n de S , denotada por S^n , é a fonte discreta de memória zero com K^n símbolos $\{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{K^n}\}$, onde cada σ_i corresponde a uma seqüência específica de n dos símbolos de S . Supondo que σ_i corresponde à seqüência $s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{in}$, a probabilidade $P(\sigma_i)$ do símbolo σ_i é dada por $P(\sigma_i) = P(s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{in}) = P_{i1} \cdot P_{i2} \cdot \dots \cdot P_{in}$.

Teorema 2.2 Se S^n é uma extensão de ordem n de uma fonte discreta sem memória S com entropia $H(S)$, então sua entropia é dada por

$$H(S^n) = nH(S). \quad (2-11)$$

CAPÍTULO 3

Alguns Algoritmos de Binarização

A *Binarização* de uma imagem é o processo no qual transforma-se uma imagem “*policromática*” em uma imagem *monocromática*. A binarização pode ser útil em diversas aplicações. Esta dissertação, como já mencionado, enfoca o problema da filtragem da interferência frente-verso de imagens de documentos, que provém do fato destes serem escritos em ambos os lados do papel, fazendo uso de algoritmos de binarização.

Os algoritmos de binarização fazem uso do *histograma* da imagem, geralmente, em níveis de cinza. O histograma de uma imagem é um gráfico que tem no eixo das abscissas o nível da cor e no eixo das ordenadas a quantidade de pontos da imagem que tem aquela cor correspondente. A Figura 3.1a mostra uma imagem, do acervo de Nabuco, em níveis de cinza e na Figura 3.1b temos seu histograma. Ainda, estes algoritmos podem ser divididos em: *globais* e *locais*. Os métodos globais utilizam um único limiar de corte, *threshold*, para binarizar toda a imagem, em outras palavras, escolhe-se um nível de cinza limite a partir do qual os valores acima deste passarão a ser brancos e os valores abaixo se tornarão pretos. A Figura 3.1c traz uma imagem binarizada, correspondente à imagem da Figura 3.1a, com um *threshold* $t = 108$. O segundo tipo possui um valor inicial de corte e esse valor pode ser alterado à medida que a imagem vai sendo varrida. Nós nos deteremos ao estudo de algoritmos globais de binarização.

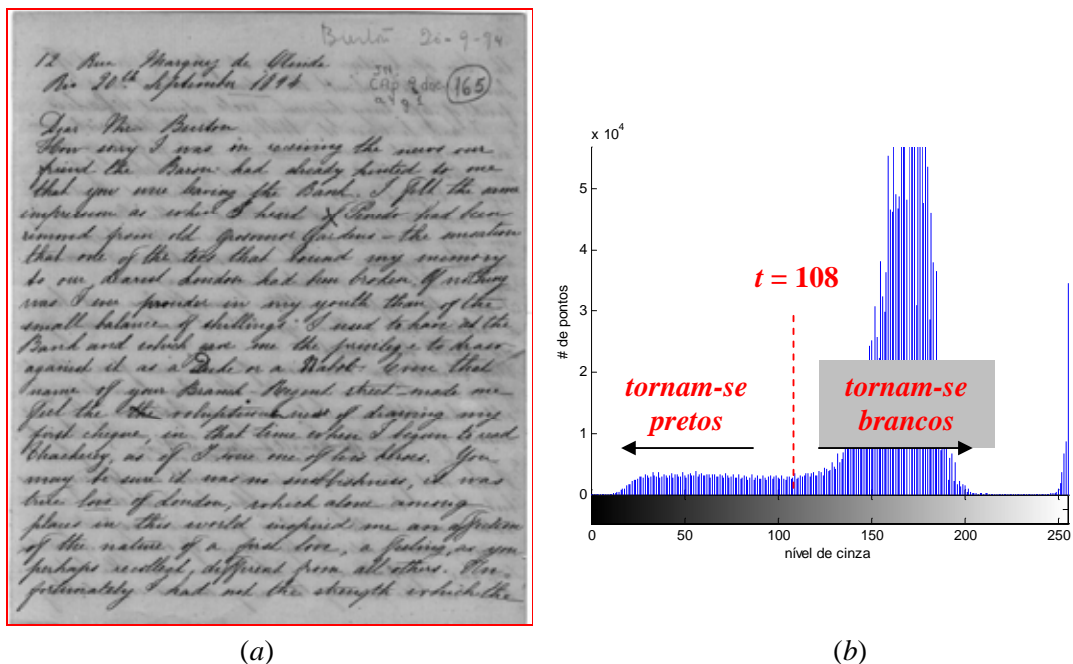


Figura 3.1 – (a) Imagem em níveis de cinza, (b) histograma da imagem e (c) imagem binarizada.

Como dito antes, as imagens do acervo de Joaquim Nabuco foram digitalizadas em *true color*. Assim, é necessário que tais imagens sejam convertidas para níveis de cinza. A conversão será efetuada pela equação

$$\text{nível de cinza} = 0,3 \cdot R + 0,59 \cdot G + 0,11 \cdot B, \quad (3-1)$$

onde *nível de cinza* é o nível de cinza de cada pixel da nova imagem gerada, *R*, *G* e *B* são, respectivamente, os níveis de Vermelho (*Red*), Verde (*Green*) e Azul (*Blue*) dos pixels da imagem original. Como as imagens originais estão em *true color*, a equação (3-1) gera imagens com 256 níveis de cinza. Esse é o algoritmo padrão [10] aplicado na maioria dos softwares comerciais.

Os algoritmos de binarização tratados aqui tomam o histograma da imagem e normaliza-o pelo número total de pontos desta, assim, tem-se uma distribuição de probabilidade levantada pelas frequências relativas

$$p_i = \frac{n_i}{N}, \quad (3-2)$$

$$P(t) = \sum_{i=0}^t p_i, \quad (3-3)$$

onde n_i é a quantidade de pixels na imagem que tem nível de cinza i ($0 \leq i \leq 255$), N é a quantidade total de pixels da imagem, p_i é a distribuição de probabilidade do histograma da imagem – levantada pela frequência relativa de seus pixels – e $P(t)$ é a soma das probabilidades até o nível de cinza t .

Neste capítulo descreveremos, sucintamente, seis algoritmos de binarização. Desses, cinco são baseados na entropia do histograma da imagem – PUN [11], KAPUR *et al.* [12], JOHANNSEN & BILLE [13], YEN *et al.* [14] e MELLO [15] & LINS [16] – e um baseado na análise de discriminante – OTSU [17]. Dos algoritmos citados, os três primeiros e o último são clássicos na literatura, sendo o último um dos algoritmos mais utilizados para a prática da binarização. Tais algoritmos são de propósito geral e não foram desenvolvidos visando a filtragem da interferência frente-verso. Já o algoritmo de Mello e Lins será aqui tratado por ter sido criado enfocando a binarização de imagens de

documentos históricos onde a interferência frente-verso faz-se presente. Esse algoritmo é um dos frutos do Projeto Nabuco.

O código MATLAB[®] v 7.0 para cada um desses algoritmos pode ser encontrado no Anexo 2 desta dissertação.

3.1 Algoritmo de Pun

O primeiro algoritmo a ser apresentado é o algoritmo de PUN [11]. Pun considera os níveis de cinza do histograma como uma fonte de 256 símbolos, onde todos os símbolos são estatisticamente independentes. Ele considera a razão da entropia *a posteriori*

$$H'(t) = -P(t)\log[P(t)] - [1 - P(t)]\log[1 - P(t)], \quad (3-4)$$

que é uma função do *threshold* t , com a entropia da fonte

$$\begin{aligned} H(t) &= H_b(t) + H_w(t) = \\ &= -\sum_{i=0}^t p_i \log p_i - \sum_{i=t+1}^{255} p_i \log p_i. \end{aligned} \quad (3-5)$$

Podemos observar naturalmente que $H(t)$ não depende de t , assim, chama-lo-emos apenas de H .

Pun mostrou que a razão, referida acima, é limitada inferiormente por

$$\frac{H'(t)}{H} \geq Fe(\alpha) = \left[\alpha \frac{\log P(t)}{\log[\max(p_0, \dots, p_t)]} + (1 - \alpha) \frac{\log[1 - P(t)]}{\log[\max(p_{t+1}, \dots, p_{255})]} \right], \quad (3-6)$$

onde

$$H_b(t) = \alpha H, \quad (3-7)$$

$$H_w(t) = (1 - \alpha)H. \quad (3-8)$$

Dessa forma, é sugerido que o limite ótimo seja o valor de t que busque a igualdade na equação (3-7), sendo α o argumento que maximize a função $Fe(\alpha)$.

3.2 Algoritmo de Kapur, Sahoo e Wong

O algoritmo de KAPUR, SAHOO e WONG [12] não utiliza a distribuição definida na equação (3-2). Ele considera o objeto e o fundo da imagem como sendo duas fontes distintas e, conseqüentemente, tendo duas distribuições, uma para o objeto e outra para o fundo. A distribuição do objeto é dada por

$$p(i) = \frac{P_i}{P(t)}, \quad (3-9)$$

para $0 \leq i \leq t$, e a do fundo é dada por

$$p(i) = \frac{P_i}{1 - P(t)}, \quad (3-10)$$

para $t + 1 \leq i \leq 255$.

Continuando, considera-se a entropia associada aos pixels pretos (objeto), denotada por $H_b(t)$, e a entropia associada aos pixels brancos (fundo), denotada por $H_w(t)$. Estas são, respectivamente, calculadas através das distribuições definidas nas equações (3-9) e (3-10):

$$H_b(t) = -\sum_{i=0}^t p(i) \log p(i), \quad (3-11)$$

e

$$H_w(t) = -\sum_{i=t+1}^{255} p(i) \log p(i). \quad (3-12)$$

Agora, procura-se o argumento t que maximize a função $H(t)$ dada por

$$H(t) = H_b(t) + H_w(t). \quad (3-13)$$

Tal argumento será o limiar de corte (*threshold*).

3.3 Algoritmo de Johannsen e Bille

Uma outra variação de algoritmo de binarização baseado em entropia foi proposta por JOHANNSEN e BILLE [13]. Busca-se como *threshold* ótimo o argumento t que

minimize a função $S(t) = S_b(t) + S_w(t)$, onde:

$$S_b(t) = \log\left(\sum_{i=0}^t p_i\right) + \left(1/\sum_{i=0}^t p_i\right)[E(p_t) + E\left(\sum_{i=0}^{t-1} p_i\right)] \quad (3-14)$$

e

$$S_w(t) = \log\left(\sum_{i=t}^{255} p_i\right) + \left(1/\sum_{i=t}^{255} p_i\right)[E(p_t) + E\left(\sum_{i=t+1}^{255} p_i\right)], \quad (3-15)$$

sendo $E(p) = -p \cdot \log(p)$.

Com o propósito de melhorar a compreensão e a implementação deste algoritmo, desmembramos as equações (3-14) e (3-15), chegando a

$$S_b(t) = h\left(\frac{P_t}{P(t)}\right) \quad (3-16)$$

e

$$S_w(t) = h\left(\frac{P_t}{1 - P(t-1)}\right), \quad (3-17)$$

onde $h(\cdot)$ é a *função entropia*.

Assim, a função a ser minimizada é

$$S(t) = h\left(\frac{P_t}{P(t)}\right) + h\left(\frac{P_t}{1 - P(t-1)}\right). \quad (3-18)$$

3.4 Algoritmo de Yen, Chang e Chang

Um outro algoritmo que será utilizado no estudo comparativo é o algoritmo de YEN, CHANG e CHANG [14]. Este, no que diz respeito às distribuições, segue a mesma idéia do algoritmo Kapur-Sahoo-Wong (apresentado na Seção 3.2), ou seja, considera o objeto e o fundo da imagem como sendo duas fontes de sinais distintas. Com isso, temos as mesmas distribuições das equações (3-9) e (3-10). Ainda, é definida uma correlação entrópica, dada por

$$TC(t) = C_b(t) + C_w(t) = -\log \left\{ \sum_{i=0}^t \left[\frac{P_i}{P(t)} \right]^2 \right\} - \log \left\{ \sum_{i=t+1}^{255} \left[\frac{P_i}{1-P(t)} \right]^2 \right\}. \quad (3-19)$$

O ponto de corte é o argumento que maximiza a expressão da equação (3-19). As funções $C_b(t)$ e $C_w(t)$ são entropias de Ranyi [18], com $\rho = 2$.

3.5 Algoritmo de Mello e Lins

O algoritmo de MELLO [15] & LINS [16] procura o nível de cinza mais freqüente na imagem e faz uso deste como um limite t (inicial) para calcular os valores de $H_b(t)$, $H_w(t)$ e H pela equação (3-5), com uma pequena diferença, neste caso, a entropia é calculada na base N (total de pontos da imagem).

$$\begin{aligned} H &= H_b(t) + H_w(t) = \\ &= -\sum_{i=0}^t p_i \log_N p_i - \sum_{i=t+1}^{255} p_i \log_N p_i \end{aligned} \quad (3-20)$$

Então se usa o valor da entropia H como base para definição de dois fatores multiplicativos, m_w e m_b , de acordo com as seguintes regras:

- Se $H \leq 0,25$, então $m_w = 2$ e $m_b = 3$;
- Se $0,25 < H < 0,30$, então $m_w = 1$ e $m_b = 2,6$;
- Se $H \geq 0,30$, então $m_w = 1$ e $m_b = 1$.

Definidos os fatores, m_b e m_w , e as quantidades, H_b e H_w , o threshold t^* é calculado imediatamente por

$$t^* = 256(m_b H_b + m_w H_w). \quad (3-21)$$

3.6 Algoritmo de Otsu

Como dito anteriormente, o algoritmo de OTSU [17] não pertence à classe dos baseados em entropia, mas será aqui apresentado por ser um dos mais utilizados, pela sua

eficiência, em binarização de imagens. Tal algoritmo faz uso de medidas da análise de discriminante para definir se os níveis de cinza pertencem ao objeto ou ao fundo. A média e a variância do objeto e do fundo, em função do nível limite t , podem ser denotadas por:

$$m_b(t) = \sum_{i=0}^t i \cdot p_i, \quad (3-22)$$

$$\sigma_b^2(t) = \sum_{i=0}^t [i - m_b(t)]^2 p_i, \quad (3-23)$$

$$m_w(t) = \sum_{i=t+1}^{255} i \cdot p_i, \quad (3-24)$$

$$\sigma_w^2(t) = \sum_{i=t+1}^{255} [i - m_w(t)]^2 p_i. \quad (3-25)$$

O valor do *threshold* é o argumento que maximiza

$$\eta(t) = \frac{P(t)(1-P(t))[m_b(t) - m_w(t)]^2}{P(t)\sigma_b^2(t) + (1-P(t))\sigma_w^2(t)}. \quad (3-26)$$

Estes são os algoritmos utilizados no estudo comparativo. Em [19] pode-se obter mais detalhes sobre os algoritmos acima apresentados, com exceção do algoritmo de Mello-Lins, bem como outras técnicas de binarização. Veremos alguns resultados da aplicação destes algoritmos no Capítulo 5.

CAPÍTULO 4

Um Novo Algoritmo

Neste capítulo apresentaremos um novo algoritmo para binarização baseado na entropia do histograma da imagem. Como veremos no próximo capítulo, os algoritmos, apresentados no capítulo anterior, não trazem tão bons resultados quando aplicados em imagens com interferência frente-verso.

O nosso propósito é obter um algoritmo, baseado em entropia, que trate de forma satisfatória as imagens em questão. Observamos que os algoritmos apresentados no capítulo anterior, quando aplicados a imagens com interferência frente-verso, traziam, freqüentemente, um ponto de corte (*threshold*) acima do ideal. Dessa forma, pensamos inicialmente em variar um dos algoritmos. O algoritmo escolhido foi o de Kapur, Sahoo e Wong, pois a proposta, para tal variação, foi fazer uso de um *fator de ajuste de threshold* baseado na razão entre as entropias de objeto e fundo. Este algoritmo comportou-se bem em um grupo de imagens, mas na maioria não trouxe resultados convincentes que firmasse sua permanência neste estudo.

Na continuação da pesquisa por um algoritmo que resolvesse satisfatoriamente tal problema, surgiu a idéia de desenvolver um algoritmo que relacionasse a entropia do histograma da imagem binarizada com a entropia do histograma da imagem em níveis de cinza, como em [11] e a partir desta relação definir o ponto de corte (*threshold*).

A idéia é considerar a distribuição do histograma como sendo a distribuição de uma fonte de 256 símbolos (*fonte a priori*). Pode-se assumir uma hipótese teórica de que todos os símbolos são estatisticamente independentes. Sabe-se que no caso de imagens reais os

símbolos não são estatisticamente independentes, mas esta hipótese simplifica bastante o algoritmo e traz bons resultados. Assim a entropia da *fonte a priori* é dada por

$$H = -\sum_{i=0}^{255} p_i \log(p_i), \quad (4-1)$$

onde p_i é dado pela equação (3-2). Como a imagem resultante é uma imagem binarizada, a distribuição de seu histograma, pode ser vista como uma distribuição de uma fonte binária (*fonte a posteriori*). Temos a entropia da *fonte a posteriori* dada por

$$H'(t) = h(P(t)), \quad (4-2)$$

onde $h(\cdot)$ é a *função entropia* definida no capítulo de Elementos da Teoria da informação e $P(t)$ é dado pela equação (3-3).

Segue que, fazendo-se uma extensão de ordem oito de uma fonte binária pode-se representar, sem perdas, todos os 256 símbolos da *fonte a priori*. Chamaremos essa nova fonte binária de *fonte binária a priori*. O valor da entropia desta nova fonte é dado por

$$H_{\substack{\text{fonte binária} \\ \text{a priori}}} = \frac{H}{8}. \quad (4-3)$$

Esta igualdade provém do Teorema 2.2.

A idéia é procurar chegar a um valor de t de forma que a entropia da *fonte a posteriori* seja o mais próximo possível da entropia da *fonte binária a priori*, ou seja, tenta-se buscar a seguinte igualdade

$$H'(t) = H_{\substack{\text{fonte binária} \\ \text{a priori}}}. \quad (4-4)$$

Com este argumento, procura-se adequar a distribuição da *fonte a posteriori* à distribuição da *fonte binária a priori* que é, como visto antes, uma representação da *fonte a priori*.

Aplicando-se as equações (4-2) e (4-3) em (4-4), chega-se à igualdade

$$h(P(t)) = \frac{H}{8}. \quad (4-5)$$

Devemos levar em consideração o comportamento da função entropia, o qual pode ser visto na Figura 2.1. Também, devemos lembrar que as imagens tratadas são imagens de documentos, nas quais há uma presença muito maior de pontos de fundo do que de objeto, então, é razoável trabalharmos com o argumento $P(t)$ no intervalo $[0;0,5]$. Trabalhando neste intervalo estamos partindo da premissa de que o número de pontos do objeto é no máximo igual ao número de pontos do fundo, ou seja, metade do total de pontos da imagem. Outra característica deste intervalo é que, nele, a *função entropia* é injetiva, em outras palavras, temos apenas um valor de $P(t)$ que satisfaz a equação (4-5). Salvo no caso em que p_i é nulo, neste não importa se o limite calculado for i ou $i - 1$.

Em específico, temos que filtrar a interferência frente-verso na binarização. Devido às características de tal interferência, sua presença aumenta o valor da entropia da *fonte a priori*, conseqüentemente também aumenta o valor da entropia da *fonte binária a priori*. Utilizamos este fato para definir um *fator de perda* $\alpha(H_{\text{fonte binária a priori}})$ com o intuito de reduzir a presença dessa interferência. O fator de perda $\alpha(H_{\text{fonte binária a priori}})$ foi determinado experimentalmente e tem a seguinte expressão:

$$\alpha(H_{\text{fonte binária a priori}}) = \begin{cases} -\frac{3}{7}H_{\text{fonte binária a priori}} + 0,8 & \text{se } H_{\text{fonte binária a priori}} < 0,7 \\ H_{\text{fonte binária a priori}} - 0,2 & \text{se } H_{\text{fonte binária a priori}} \geq 0,7 \end{cases}. \quad (4-6)$$

Para uma mais clara observação, o gráfico de $\alpha(H) \times H$ está ilustrado na Figura 4.1.

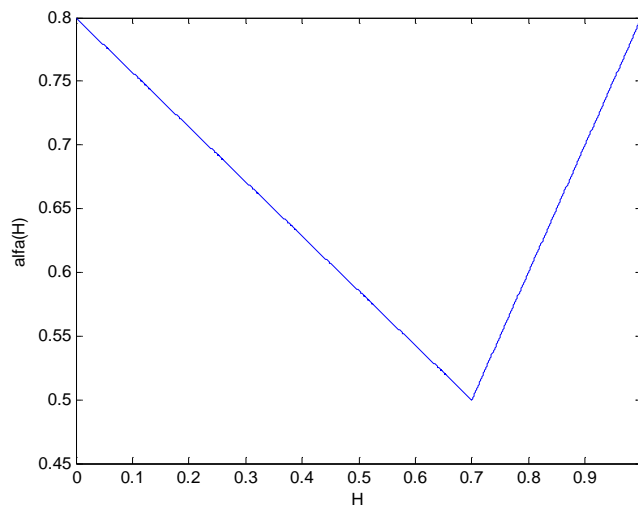


Figura 4.1 – Gráfico de $\alpha(H)$ em função de H .

Assim, fazendo uso desse fator, chegamos à relação dada pela equação

$$H'(t) = \alpha(H_{\text{fonte binária a priori}}) \cdot H_{\text{fonte binária a priori}} \quad (4-7)$$

Em resumo, seguem os passos para se encontrar o *threshold* sugerido por este algoritmo.

- (a) Calcular a entropia H do histograma da imagem em níveis de cinza.
- (b) Varrer os níveis de cinza, calculando – para cada um – sua distribuição $\{P(t), 1 - P(t)\}$, enquanto $P(t) \leq 0,5$, e a entropia referente a esta distribuição $H'(t) = h(P(t))$.
- (c) Determinar, por fim, o *threshold* pelo argumento que minimize o módulo da função erro $e(t)$ dado por:

$$|e(t)| = \left| \frac{H'(t)}{H/8} - \alpha(H/8) \right|. \quad (4-8)$$

CAPÍTULO 5

Análise Comparativa dos Algoritmos de Filtragem

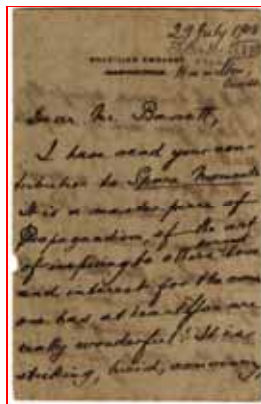
No capítulo corrente, faremos uma análise comparativa dos algoritmos apresentados nos capítulos antecedentes, destacando o novo algoritmo. Tal análise está baseada na avaliação visual dos resultados – análise subjetiva – e no uso de uma medida de qualidade de imagem *PSNR* (*Peak Signal-to-Noise Ratio* – Relação Sinal Ruído de Pico) – análise objetiva. O PSNR de uma imagem, em relação a uma outra de referência, é determinado pela expressão

$$PSNR = 20 \log_{10} \frac{255}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^C [I(i, j) - I_{ref}(i, j)]^2}{L \times C}}}, \quad (5-1)$$

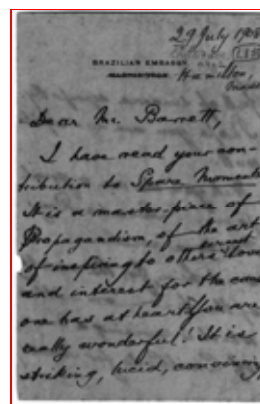
onde: $I(i, j)$ e $I_{ref}(i, j)$ são, respectivamente, os valores dos níveis de cinza de cada pixel (i, j) da imagem ruidosa e da imagem de referência (limpa); e, L e C são o número de pontos da imagem, nesta ordem, na vertical e na horizontal. Esta medida é baseada no erro médio quadrático (*mean-square error* – *MSE*). Tal parâmetro foi escolhido por ter uma baixa complexidade computacional frente a parâmetros que definem a qualidade da imagem no sentido perceptual [20].

Vejamos os resultados da aplicação dos algoritmos na imagem da Figura 1.1. A Figura 5.1 mostra a imagem original em *true-color* e em níveis de cinza, a imagem de referência – que foi binarizada manualmente sob o critério da busca de um limiar que tornasse a imagem o mais limpa possível preservando sua informação “útil” – e as imagens

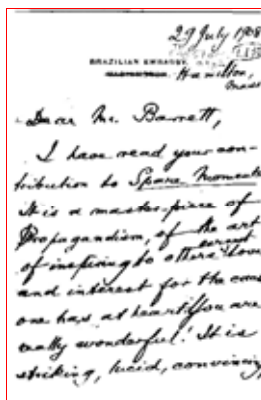
resultantes da aplicação dos algoritmos.



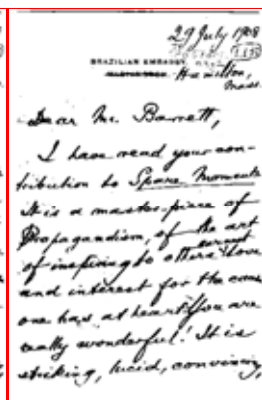
Original (true-color)



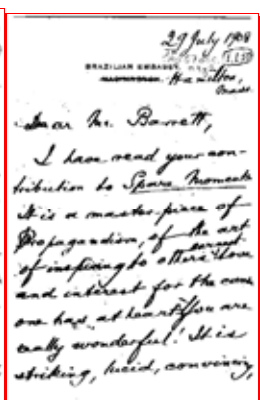
Original (níveis de cinza)



de referência



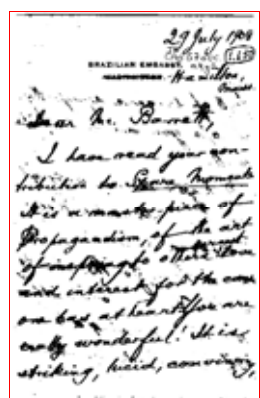
Novo Algoritmo



Mello-Lins



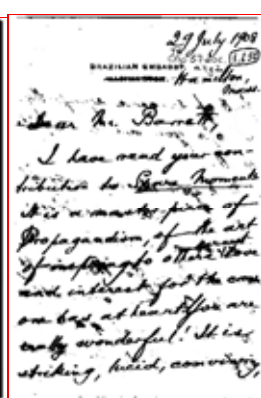
Pun



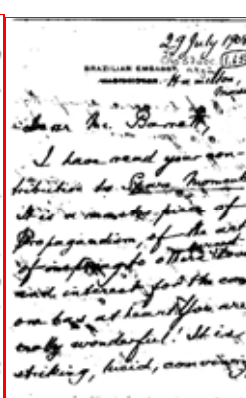
Kapur-Sahoo-Wong



Johanssen-Bille



Yen-Chang-Chang



Otsu

Figura 5.1 – Imagens originais – em true-color e em níveis de cinza – e binarizadas – de referência e resultantes das aplicação dos algoritmos.

Como os resultados da aplicação do novo algoritmo, do algoritmo Mello-Lins e a imagem de referência estão muito próximos, mostramos na Figura 5.2 um zoom de um

trecho das imagens da Figura 5.1 correspondentes a tais algoritmos. Ainda, no Anexo 1, outros resultados, semelhante a este, são apresentados.

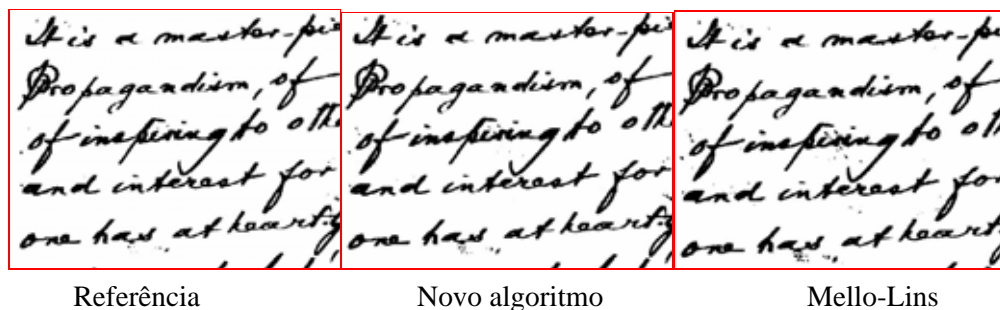


Figura 5.2 – Partes das imagens da Figura 5.1.

Na Tabela 5.1 temos os valores de corte e, tomando como base a imagem binarizada manualmente (imagem de referência), dos PSNR's de cada uma das imagens da Figura 5.1.

Tabela 5.1– Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura 5.1.

Algoritmo	Threshold	PSNR (dB)
REFERÊNCIA	69	-
Novo	74	41
Mello-Lins	78	39
Pun	123	28
Kapur-Sahoo-Wong	95	35
Johannsen-Bille	178	25
Yen-Chang-Chang	95	35
Otsu	95	35

Observando os resultados, Figuras 5.1 e 5.2, vemos que o novo algoritmo foi mais eficiente que os demais, devendo salientar que o algoritmo Mello-Lins trouxe um resultado bem próximo.

Este experimento foi realizado em imagens representativas dos diversos graus de dificuldade de filtragem da interferência frente-verso, trazendo resultados semelhantes, como pode ser visto no Anexo 1 que apresenta os resultados das aplicações dos algoritmos em mais dez imagens distintas.

Quando a intensidade da interferência é leve, todos os algoritmos trazem bons

resultados, com exceção do Johannsen-Bille. Além do novo algoritmo, aqui proposto, e do algoritmo Mello-Lins, o único que trouxe resultados satisfatórios em algumas imagens com uma interferência não tão leve foi o Otsu.

A desvantagem do algoritmo Mello-Lins aparece quando temos uma imagem cujo histograma está concentrado à direita, ou seja, uma imagem clara. Essa aparece porque o *threshold* calculado por esse algoritmo não depende da distribuição como um todo do histograma da imagem, e sim, da sua forma. Assim, como o algoritmo foi “treinado” para imagens com o histograma espalhado, ou seja, não concentrado, esse tem “dificuldades” de encontrar um bom limiar para imagens com essa característica. Para ilustrar o que está sendo discutido, a Figura 5.3a traz uma imagem em níveis de cinza e a Figura 5.3c seu histograma, que mostra que tal imagem tem níveis de cinza de 51 à 253. Na Figura 5.3b temos a imagem da Figura 5.3a, agora mais escura. Essa imagem foi adquirida subtraindo-se o valor 50 da cor de cada *pixel* da imagem original, o que pode ser visto em seu histograma na Figura 5.3d que é o mesmo da Figura 5.3c a menos de um deslocamento para a esquerda. Aplicando-se o algoritmo Mello-Lins nas duas imagens obtemos o mesmo *threshold*. É apresentado na Figura 5.4 o resultado da aplicação desse algoritmo nas imagens da Figura 5.3. Como o algoritmo fornece o mesmo *threshold* $t = 81$, para ambas as imagens, fica claro que ele resolve o problema para apenas uma delas, normalmente a mais escura. Isto quer dizer que se tivermos um grupo de imagens com características semelhantes (como as de um livro), mas com distinção de luminância (que pode ocorrer, por exemplo, se parte das imagens for digitalizada em equipamentos e/ou com operadores distintos) esse algoritmo pode não ser adequado. Aplicamos também o novo algoritmo nas imagens da Figura 5.3 e encontramos para a imagem original um limiar $t = 154$ e para a imagem escurecida $t = 104$. Os resultados dessa aplicação estão na Figura 5.5. Observam-se nessas imagens que o novo algoritmo gera resultados visualmente parecidos.

6

that is permanent and safe. The passing foreign policy is any by which a nation secures help thinking of herself only, that is, by which it uses another nation as her instrument; the permanent foreign policy is that by which a nation tries to accomplish with another a common destiny. The difference between the permanent and the temporary foreign policy is that the latter must take the form of a written alliance, of a formal engagement, with a fixed term of duration. Alliances are transitory, unelastic, and full of dangers, while the spontaneous concurrence in the same lines of action is the natural development of each nation's destiny. Alliance supposes war; free co-operation supposes peace and mutual help through sympathy and good will. You keep away from the *entangling alliances* which the Father of your country deprecated, and yet a concentration of the American Republics with the idea that they all form, under different flags, a single political system is already a moral alliance.

This idea has made much progress in the last four years, and I trust it will not lack in this country the enthusiasm it needs to grow. Secretary Root's visit to Latin America will indeed remain a historical landmark in the relations of our continent, like Monroe's Message of 1823, and Blaine's initiative of the Pan-American movement. One can call this policy a dual creation, because, if Blaine moulded the group of the United American nations, it was Root who put in it life and movement.

The Pan-American Conferences, besides the work they achieve with their periodical meetings, do much good simply by being a permanent institution. In this way they act even during their intervals of four years. Take the movement which led to the experiment now being tried in Central America, of an international court, which is really an essay of organized Peace in a region so much tried by po-

6

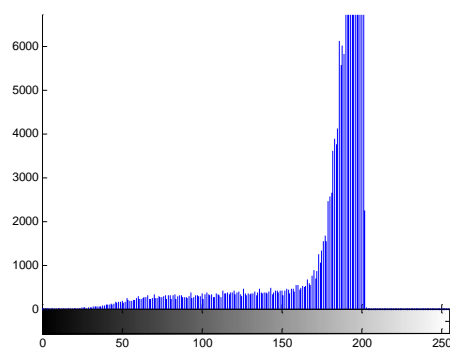
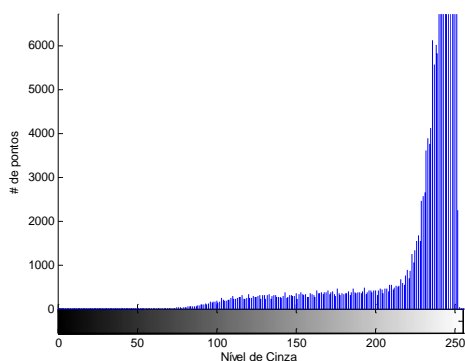
that is permanent and safe. The passing foreign policy is any by which a nation secures help thinking of herself only, that is, by which it uses another nation as her instrument; the permanent foreign policy is that by which a nation tries to accomplish with another a common destiny. The difference between the permanent and the temporary foreign policy is that the latter must take the form of a written alliance, of a formal engagement, with a fixed term of duration. Alliances are transitory, unelastic, and full of dangers, while the spontaneous concurrence in the same lines of action is the natural development of each nation's destiny. Alliance supposes war; free co-operation supposes peace and mutual help through sympathy and good will. You keep away from the *entangling alliances* which the Father of your country deprecated, and yet a concentration of the American Republics with the idea that they all form, under different flags, a single political system is already a moral alliance.

This idea has made much progress in the last four years, and I trust it will not lack in this country the enthusiasm it needs to grow. Secretary Root's visit to Latin America will indeed remain a historical landmark in the relations of our continent, like Monroe's Message of 1823, and Blaine's initiative of the Pan-American movement. One can call this policy a dual creation, because, if Blaine moulded the group of the United American nations, it was Root who put in it life and movement.

The Pan-American Conferences, besides the work they achieve with their periodical meetings, do much good simply by being a permanent institution. In this way they act even during their intervals of four years. Take the movement which led to the experiment now being tried in Central America, of an international court, which is really an essay of organized Peace in a region so much tried by po-

(a)

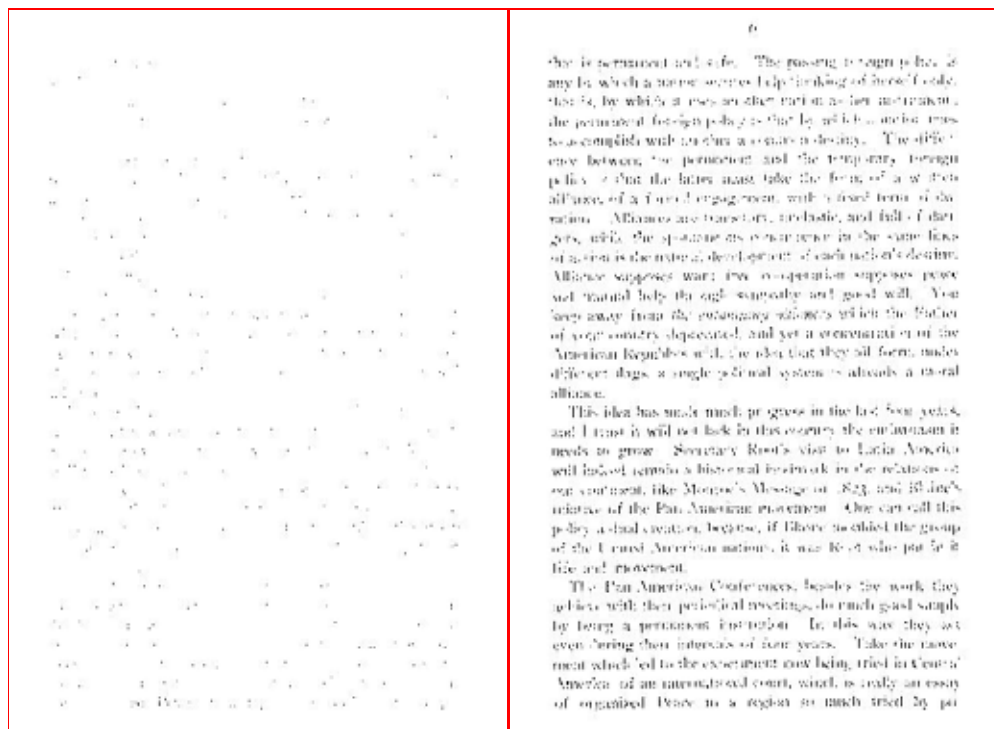
(b)



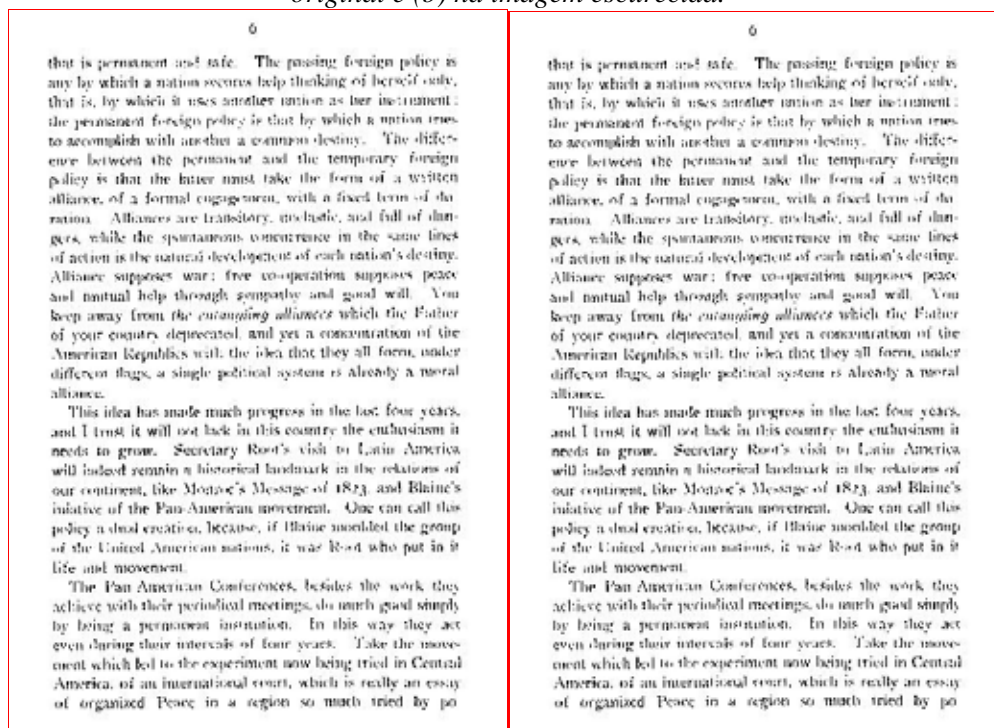
(c)

(d)

Figura 5.3 – (a) imagem original, (b) imagem escurecida, (c) histograma da imagem original e (d) histograma da imagem escurecida.



(a) (b)
Figura 5.4 – Resultados da aplicação do algoritmo de Mello e Lins (a) na imagem original e (b) na imagem escurecida.



(a) (b)
Figura 5.5 – Resultados da aplicação do novo algoritmo (a) na imagem original e (b) na imagem escurecida.

Para termos uma noção quantitativa das distâncias entre as imagens geradas pelo algoritmo de Mello-Lins, apresentadas na Figura 5.4, e as geradas pelo novo algoritmo, vistas na Figura 5.5, foram calculados os valores do PSNR para as duas duplas. Seus resultados encontram-se na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – *Dado dos PSNR's referentes às Figuras 5.4 e 5.5, nesta ordem.*

Algoritmo	PSNR (dB)
Mello-Lins	34
Novo	Inf

A tabela acima afirma que as imagens que resultaram da aplicação do algoritmo Mello-Lins estão muito “distantes” uma da outra, entretanto as geradas pelo novo algoritmo são idênticas, pois seu valor de PSNR deu infinito. Isto já era sabido, pois o threshold da imagem escurecida foi exatamente 50 níveis mais baixo que o da original e 50 é o deslocamento que foi utilizado para a geração da imagem escurecida.

Para finalizar nossa análise comparativa iremos discutir a deficiência do novo algoritmo.

O novo algoritmo foi aplicado em um conjunto de 250 imagens do acervo das cartas de Nabuco obtendo resultados satisfatórios na maioria delas. As imagens que não trouxeram resultados satisfatórios foram aquelas que tinham, relativamente, pouca “informação útil”. É importante ressaltar, também, o desempenho dos algoritmos Kapur-Sahoo-Wong e Yen-Chang-Chang, que consideram a imagem como sendo duas fontes de sinais distintas, pois nessas imagens, em específico, eles obtiveram os melhores resultados. Quanto aos outros algoritmos, eles, também, não trouxeram bons resultados, como pode ser visto na Figura 5.6.

O tratamento de tais imagens ficará para trabalhos futuros, sendo uma possibilidade de solução simples o operador efetuar o corte da área de interesse e aplicar a filtragem

apenas naquela área, como mostra a Figura 5.7.

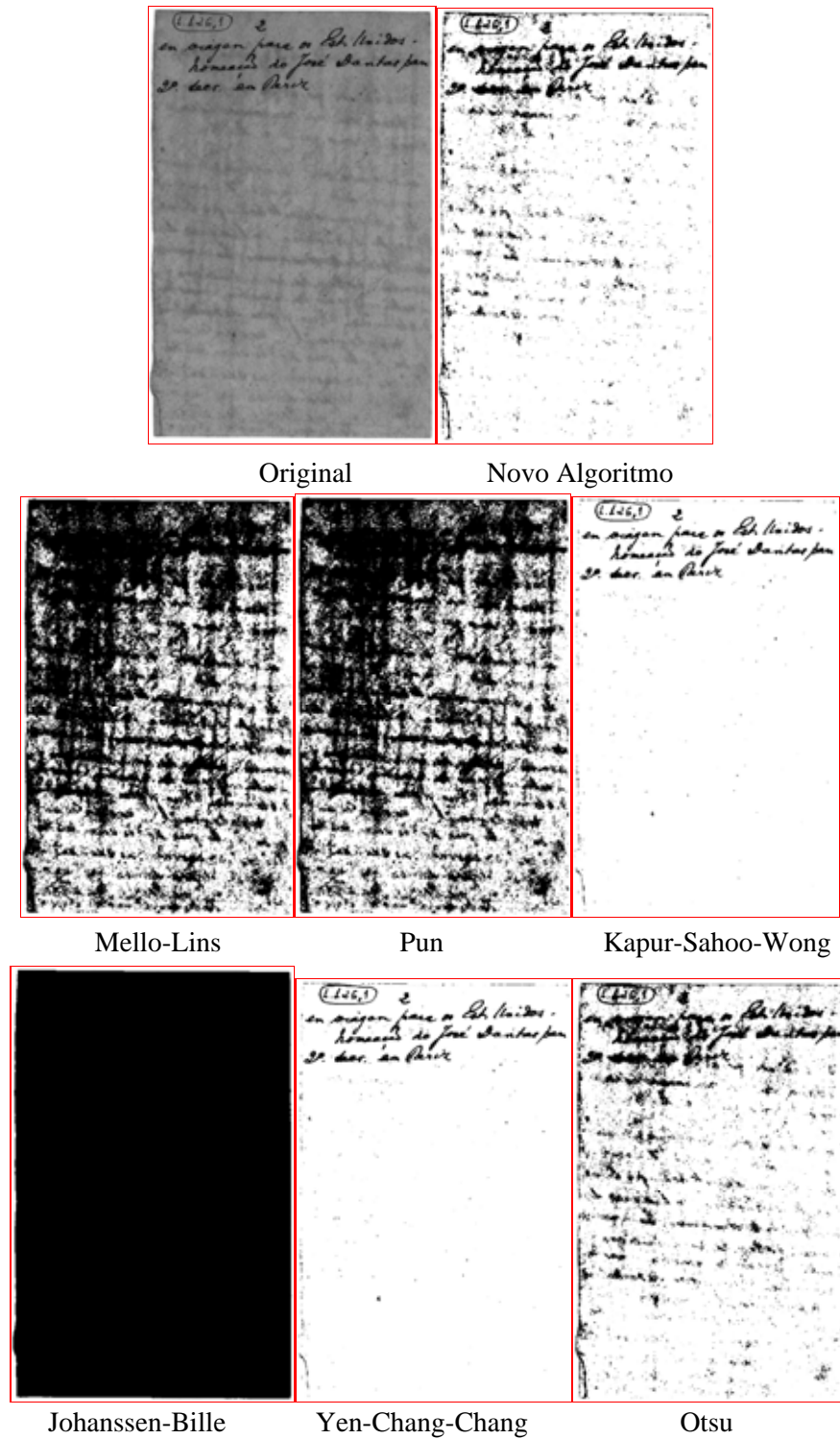
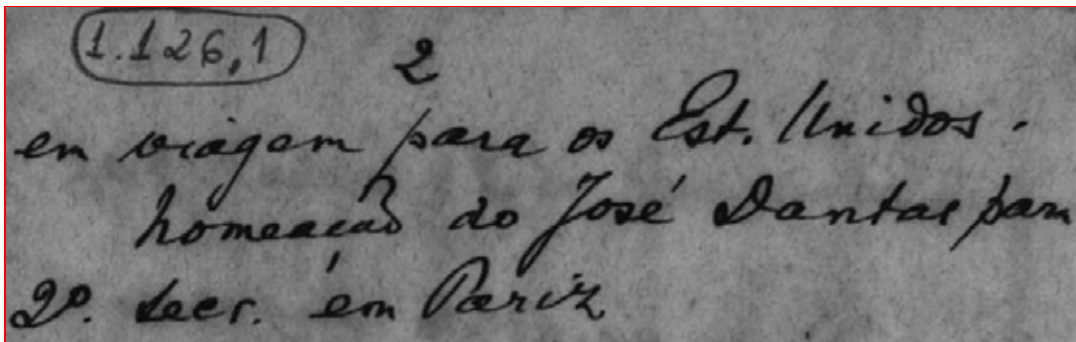
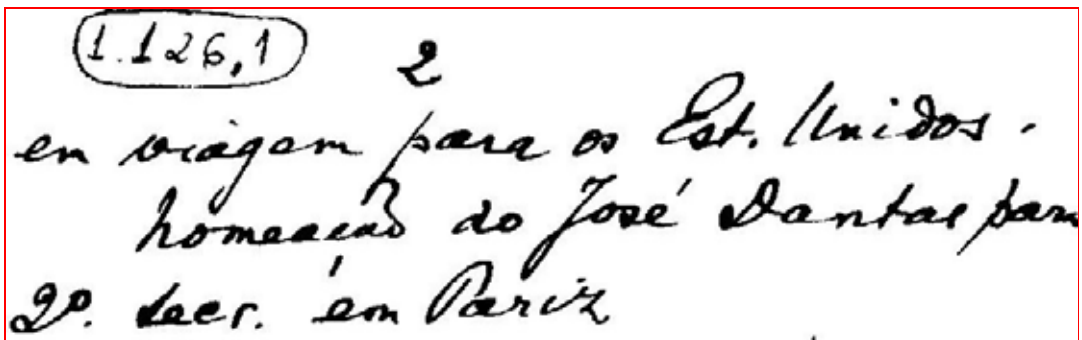


Figura 5.6 – Imagens original e binarizadas pelos algoritmos com resultados não satisfatórios.

A photograph of a handwritten document snippet. At the top left, the number '1.126,1' is circled in black. To its right is a small handwritten number '2'. Below these, the text is written in cursive: 'em viagem para os Est. Unidos.', 'homem do José Dantas para', and '2º. sec. em Paris'. The background is a textured, slightly mottled grey.

(1.126,1) 2
em viagem para os Est. Unidos.
homem do José Dantas para
2º. sec. em Paris

(a)

A binarized version of the handwritten document snippet from (a). The text is rendered in black on a white background. The circled number '1.126,1' and the number '2' are clearly visible. The cursive text 'em viagem para os Est. Unidos.', 'homem do José Dantas para', and '2º. sec. em Paris' is also clearly legible.

(1.126,1) 2
em viagem para os Est. Unidos.
homem do José Dantas para
2º. sec. em Paris

(b)

Figura 5.7 – Área de interesse das imagens da Figura 5.6 (a) original e (b) binariza pelo novo algoritmo.

CAPÍTULO 6

Conclusões e Trabalhos Futuros

Esta dissertação apresenta um estudo sobre alguns dos principais algoritmos de binarização, destacando as técnicas baseadas na entropia do histograma da imagem. A análise comparativa das imagens resultantes desses algoritmos foi baseada na inspeção visual dos resultados e no uso da medida de qualidade de imagem *PSNR*. Esta última se mostrou muito “sensível”, pois em alguns casos o contorno das letras “pesava” mais do que a “sujeira”, ou seja, uma primeira imagem com uma espessura de letra maior e com mais interferência poderia ter um *PSNR* maior do que uma segunda com uma espessura de letra menor e com menos interferência, tomando-se como referência uma imagem “idealmente limpa”, mesmo a segunda estando mais legível que a primeira. Assim, o *PSNR* fica indicado como “critério de desempate” quando tivermos, por inspeção visual, imagens muito próximas.

Devido à baixa qualidade das imagens geradas utilizando os filtros disponíveis em *softwares* comerciais para processamento de imagens, um novo algoritmo foi desenvolvido, baseado na entropia do histograma das imagens. Tal algoritmo é aplicado em imagens em níveis de cinza. O algoritmo proposto foi aplicado em 250 imagens do acervo de documentos de Joaquim Nabuco obtendo resultados satisfatórios. A maioria das imagens de documentos nas quais o algoritmo foi aplicado eram cartas manuscritas que continham a interferência frente-verso. O objetivo é gerar uma imagem do documento monocromática, onde os *pixels* classificados como tinta tornam-se pretos e os tidos como da interferência (junto com os do papel) tornam-se brancos.

O novo algoritmo aqui proposto pode, ainda, ser melhorado. O *fator de perda* $\alpha(H)$ pode levar em consideração outros parâmetros (por exemplo: média, variância) que informem mais sobre as características da imagem e/ou, também, ser uma função diferente da *entropia a priori* H com a finalidade de estimar melhor o limiar de corte (*threshold*) e eliminar com uma maior eficiência a interferência.

Quanto à proposta de representação da fonte, utilizou-se uma codificação binária sem perda. A estratégia de ajustar o valor da entropia da *fonte a posteriori* ao valor da entropia da *fonte binária a priori*, introduzida nesta dissertação, abre espaço para que se possa tentar utilizar outras codificações, inclusive com perda. Pode-se até mesmo, encontrar uma codificação “ideal” para a eliminação da interferência sem a necessidade do uso do fator de perda.

Além da geração de documentos monocromáticos, o novo algoritmo pode ser aplicado em imagens de documentos datilografados para fins de tentar melhorar as respostas das ferramentas de OCR (*Optical Character Recognition*).

O algoritmo de binarização aqui apresentado foi aceito para publicação no ACM – *Symposium on Applied Computing*[21] na trilha de *Document Emgeneering* a ocorrer em Dijon (França) em abril de 2006.

Há várias linhas a serem exploradas para trabalhos futuros em continuidade ao aqui apresentado. No capítulo de introdução desta dissertação foram mencionadas várias alternativas de tratamento da interferência frente-verso que embora não tenham obtido sucesso em tentativas anteriores, talvez possam ser revistas. Dentre elas destacamos: a filtragem em espelho, que inclusive já esta sendo explorada através de outro membro do grupo de pesquisa; a análise da imagem no domínio da Luminância-Crominância, ao invés do RGB – níveis de cinza aqui procedidos; e a possibilidade de se utilizar as imagens obtidas pelos três algoritmos que obtiveram os melhores resultados para se gerar uma

quarta baseada em um “voto majoritário” que consiste em observar os *pixels* (que tenham os mesmos índices) das imagens filtradas e adotar a cor (preta ou branca) “majoritária” para o *pixel* correspondente da nova imagem. Outra linha de trabalhos futuros, completamente diferente das já mencionadas e exploradas, abre-se com a possibilidade do uso da lógica difusa (*fuzzy logic*) para determinação do ponto de corte, seguindo o recentíssimo trabalho de TIZHOOSH [22].

Referências

- [1] LINS, R. D., GUIMARÃES NETO, M. S., FRANÇA NETO, L. R. & ROSA, L. G. *An Environment for Processing Images of Historical Documents*. Microprocessing & Microprogramming, pp. 111-121, North-Holland, January, 1995.
- [2] FUNDAJ. URL: <http://www.fundaj.gov.br/>. Visitado em 09/07/2005.
- [3] COREL CORP. URL: <http://www.corel.com>. Visitado em 14/09/2005.
- [4] MELLO, C.A.B. & LINS, R.D. *A New Segmentation Algorithm for True Colour Images of Historical Documents*, XVIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Gramado, RS, Brasil, setembro, 2000.
- [5] MELLO, C.A.B. & LINS, R.D. *Segmentação de Imagens de Documentos Históricos*, XVII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Vila Velha, ES, Brasil, setembro, 1999.
- [6] ABRAMSON, N. *Information Theory and Coding*. McGraw-Hill Book Company, 1963.
- [7] SHANNON, C. *A Mathematical Theory of Communication*. Bell System Technical Journal, vol. 27, pp. 370-423, 623-656, 1948.
- [8] ROCHA JÚNIOR, V. C. *Teoria da Informação*, Notas de Aula, UFPE-Recife, 2004.
- [9] HARTLEY, R.V.L. *Transmission of Information*, Bell System Technical Journal, Vol. 3, pp. 535-564, 1928.
- [10] GOMES, J. & VELHO, L. *Computação Gráfica: Imagem*. Sociedade Brasileira de Matemática, 1994.
- [11] PUN, T. *A New Method for Gray-Level Picture Threshold Using the Entropy of the Histogram*, Signal Process. 2(3), pp. 223-237, 1980
- [12] KAPUR, J. N., SAHOO, P. K. & WONG, A. K. C. *A New Method for Gray-Level Picture Thresholding Using the Entropy of the Histogram*, Graph. Models Image Process. 29, pp. 273-285, 1985.

- [13] JOHANNSEN, G. & BILLE, J. *A Threshold Selection Method Using Information Measures*, ICPR'82: Proc. 6th Intl. Conf. Patt. Recog., pp. 140–143, 1982.
- [14] YEN, J. C., CHANG, F. J. & CHANG S. *A New Criterion for Automatic Multilevel Thresholding*, IEEE Trans. Image Process. IP-4, pp. 370–378, 1995.
- [15] MELLO, C.A.B. *Filtragem, Compressão e Síntese de Imagens de Documentos Históricos*, Recife, 2002. Tese de Doutorado – Centro de Informática, UFPE.
- [16] MELLO, C.A.B. & LINS, R.D. *Image Segmentation of Historical Documents*, Visual 2000, Cidade do México, México, Agosto, 2000.
- [17] OTSU, N. *A Threshold Selection Method from Gray Level Histograms*, IEEE Trans. Syst. Man Cybern. SMC-9, pp. 62–66, 1979.
- [18] MATHWORLD. URL: <http://www.mathworld.com>. Visitado em 11/08/2005.
- [19] SEZGIN, M. & SANKUR, B. *Survey over Image Thresholding Techniques and Quantitative Performance Evaluation*, Journal of Electronic Imaging 13, pp. 146–165, 2004.
- [20] ZAMPOLO, R. F. & SEARA, R. *Estudo Comparativo entre Métricas para Avaliação da Qualidade de Imagens*. In: XXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES (Set 2005 : Campinas-SP). *Anais*. pp. 237-241, São Paulo, 2005.
- [21] DA SILVA, J.M.M., LINS, R.D. & DA ROCHA, V.C. JR. *Binarizing and Filtering Historical Documents with Back-to-Front Interference*, ACM Document Engineering, Dijon, France, April, 2006.
- [22] TIZHOOSH, H. R. *Image Thresholding Using Type II Fuzzy Sets*, Pattern Recognition Volume 38, Issue 12, pp. 2363-2372, 2005.
- [23] BALLARD, D.H. & BROWN, C.M. *Computer Vision*. Prentice-Hall, 1982.
- [24] DENGEL, A., BLEISENGER, R., HOCH, R., FEIN, F. & HÖNES F. *From Paper to Office Document Standard Representation*. Computer, pp. 63-67, July, 1992.
- [25] FRANÇA NETO, L.R., *Projeto Nabuco: Um Ambiente para Processamento de Grandes Acervos de Imagens*, Dissertação de Mestrado, Departamento de Informática, UFPE, Outubro, 1998
- [26] FRANÇA NETO, L.R, MELLO, C.A.B. & LINS, R.D. *Técnicas de Filtragem para Imagens Digitais de Documentos Históricos*. XV Simpósio da Sociedade Brasileira de Telecomunicações, Recife, Brasil, Setembro, 1997.

- [27] JAIN, A.K. *Fundamentals of Digital Image Processing*. Prentice Hall, Inc., 1989.
- [28] JAIN, A.K. & BHATTACHARJEE, S. *Text Segmentation using Gabor Filters for Automatic Document Processing*. *Machine Vision and Applications*, Vol. 5, pp. 169-184, 1992.
- [29] KULLBAK, S. *Information Theory and Statistics*. Dover Publications, Inc. 1997.
- [30] O'HARA, K. & SELLENA A. *A Comparison of Reading Paper and On-Line Documents*. *Conference Proceedings on Human factors in computing systems*, Atlanta, GA USA, pp. 335-342, March, 1997.
- [31] PARKER, J. R. *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*. John Wiley and Sons, 1997.
- [32] PAVLIDIS, T. & ZHOU, J. *Page Segmentation and Classification*. *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*. Vol. 54, No. 6, pp. 484-496, 1992.
- [33] SCHÜRMAN, J., BARTNECK, N., BAYER, T., FRANKE, J., MANDLER, E. & OBERLÄNDER, M. *Document Analysis – From Pixels to Contents*. *Proceedings IEEE*, pp. 1101-1119, July, 1992.
- [34] SHANNON, C. & WEAVER, W. *The Mathematical Theory of Communication*. The University of Illinois Press, Urbana, Illinois. 1949.
- [35] WATT, A. *3D Computer Graphics*. Addison-Wesley Publishing Co., 1993.
- [36] WORRING, M. & SMEULDERS, A. W. M. *Internet Access to Scanned Paper Documents*. *Proceedings of the third ACM Conference on Digital Libraries*, Pittsburgh, PA USA, pp. 313-314, June, 1998.
- [37] CHAMEX. URL: <http://www.chamex.com.br>. Visitado em 14/09/2005.

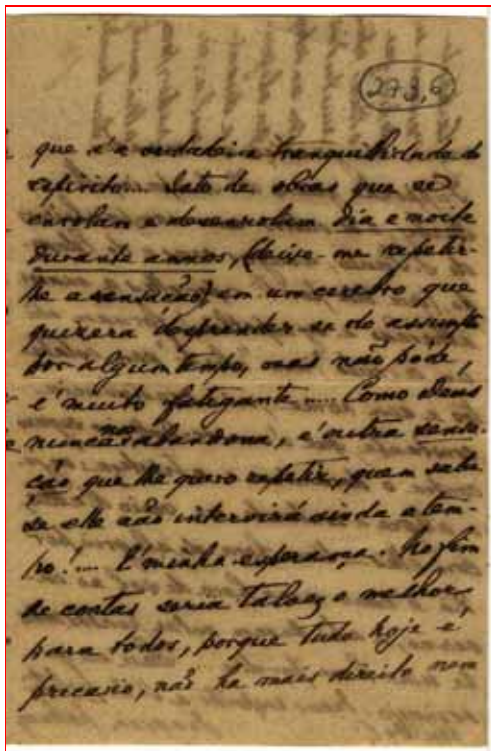
Anexos

ANEXO 1

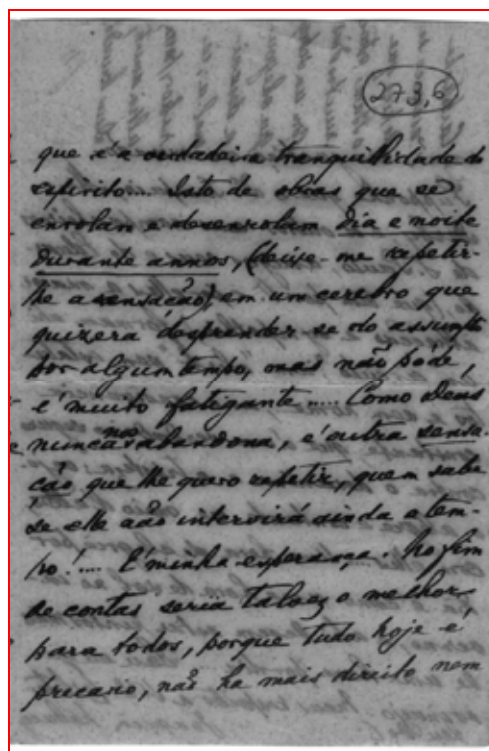
Resultados das Aplicações dos Algoritmos de Filtragem

Os resultados constantes neste anexo dizem respeito às aplicações dos sete algoritmos vistos nesta dissertação, incluindo o novo algoritmo aqui proposto. Tais aplicações foram feitas em dez imagens distintas que pertencem ao acervo de documentos digitalizados de Joaquim Nabuco.

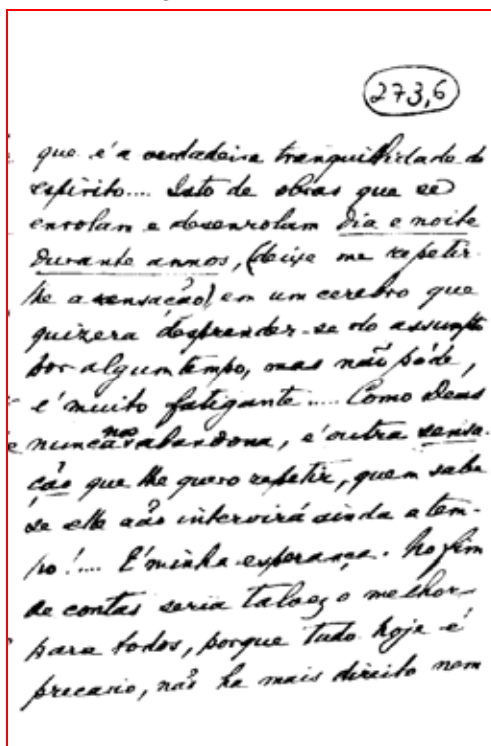
Os experimentos apresentam: as imagens originais em *true-color* e níveis de cinza; uma imagem de referência que foi obtida buscando-se um limiar que limpasse ao máximo a interferência evitando perdas da “informação útil” do documento; e as imagens resultantes dos algoritmos vistos nesta dissertação. Ainda, em sete dos dez experimentos, foi necessária a inclusão de mais uma imagem de referência obtida através de uma “limpeza” minuciosa, com um tratamento *pixel a pixel*, pois a imagem obtida buscando-se o melhor limiar não foi satisfatória. Além disso, cada experimento é seguido de uma tabela que contém os *threshold's*, calculados pelos algoritmos, e os *PSNR's*, calculados com base nas imagens de referência, bem como os comentários da inspeção visual.



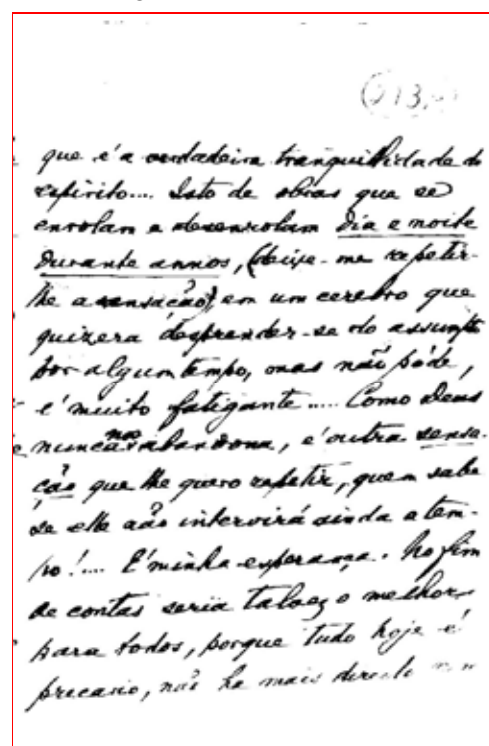
Original em true-color



Original em níveis de cinza



Referência 1 – Limpa pixel a pixel



Referência 2 – Busca manual do Limiar (threshold)

(273,6)

que se vendebam tranquilidade de
 espiritos. Late de obras que se
 circula e de maneira dia e noite
 durante a noite, fuisse-me a febre
 de a mandado em um cerebro que
 quixera de separar-se do corpo
 por algum tempo, mas não pode,
 e' muito fatigante. Como deus
 nunca se abandona, e' outra coisa.
 que me dá gosto e fôrça, que a sala
 de ele não intervirá a de aten-
 ção!... É minha esperança. Hoje
 de costas seria talvez o melhor
 para todos, porque tudo hoje é
 precario, não he mais direito nem

Novo algoritmo

(273,6)

que se vendebam tranquilidade de
 espiritos. Late de obras que se
 circula e de maneira dia e noite
 durante a noite, fuisse-me a febre
 de a mandado em um cerebro que
 quixera de separar-se do corpo
 por algum tempo, mas não pode,
 e' muito fatigante. Como deus
 nunca se abandona, e' outra coisa.
 que me dá gosto e fôrça, que a sala
 de ele não intervirá a de aten-
 ção!... É minha esperança. Hoje
 de costas seria talvez o melhor
 para todos, porque tudo hoje é
 precario, não he mais direito nem

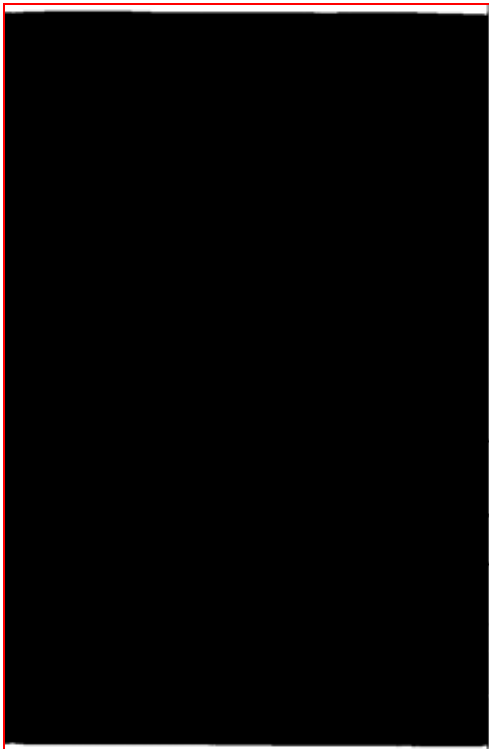
Mello-Lins

Pun

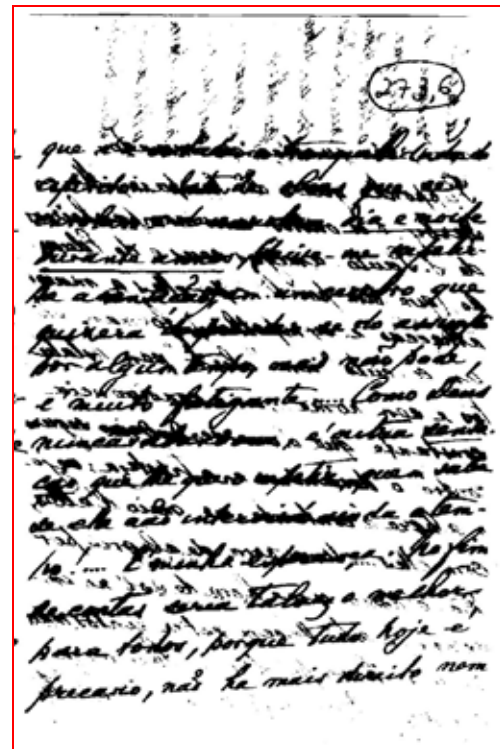
(273,6)

que se vendebam tranquilidade de
 espiritos. Late de obras que se
 circula e de maneira dia e noite
 durante a noite, fuisse-me a febre
 de a mandado em um cerebro que
 quixera de separar-se do corpo
 por algum tempo, mas não pode,
 e' muito fatigante. Como deus
 nunca se abandona, e' outra coisa.
 que me dá gosto e fôrça, que a sala
 de ele não intervirá a de aten-
 ção!... É minha esperança. Hoje
 de costas seria talvez o melhor
 para todos, porque tudo hoje é
 precario, não he mais direito nem

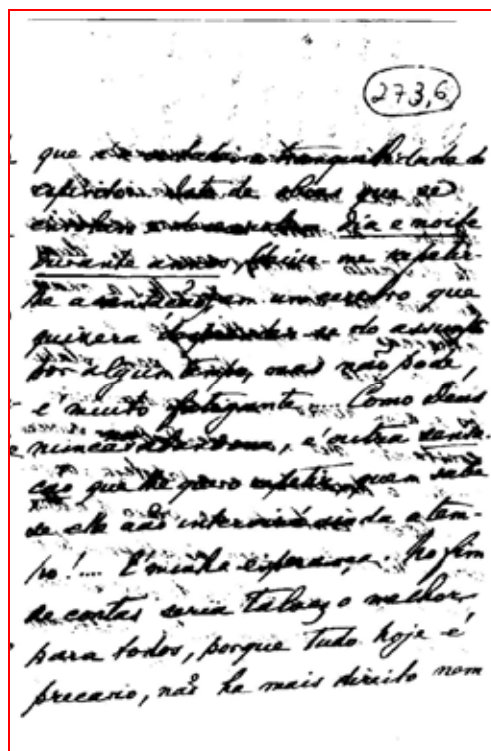
Kapur-Sahoo-Wong



Johannsen-Bille



Yen-Chang-Chang



Otsu

Figura A1.1 – Imagens do documento 273,6 do acervo de Joaquim Nabuco.

Tabela A1.1 – Dados dos *threshold's* e *PSNR's* referentes à Figura A1.1.

Algoritmo	Threshold	PSNR 1 (dB)	PSNR 2 (dB)
REF. 1	-	-	40
REF. 2	50	40	-
Novo	73	36	36
Mello-Lins	85	34	34
Pun	135	27	27
Kapur-Shoo-Wong	94	33	33
Johannsen-Bille	231	25	25
Yen-Chang-Chang	101	32	32
Otsu	86	34	34

Os resultados obtidos pelos algoritmos neste experimento não são suficientemente bons, pois não temos uma legibilidade completa do documento. Também deve ser destacado que, para esta imagem, não há um limiar (*threshold*) que traga uma imagem resultante de boa qualidade, pois como pode ser visto na imagem Referência 2 (que tem o “melhor limiar possível”) observamos que já temos perda da “informação útil” e a interferência continua presente, impossibilitando a leitura de algumas palavras. Contudo, dos algoritmos utilizados o que mais filtrou a interferência frente verso foi o novo algoritmo. Um fato curioso é que mesmo as imagens de referência tendo um PSNR de 40dB (entre si) elas geraram praticamente os mesmos valores de PSNR em relação às imagens obtidas através dos algoritmos.

JN
 2 Ap 31 dec 605
 a 191
 52, Cornwall Gardens
 S.W.
 London, April 17th. 03

 Dear Sir John Scott,

 Will you give me the pleasure
 of your company at a dinner
 I offer, on the eve of my de-
 parture, to our friend Alfred
 de Rothschild at the Carlton
 Hotel on May the 5th 8 1/2?

Original em true-color

JN
 2 Ap 31 dec 605
 a 191
 52, Cornwall Gardens
 S.W.
 London, April 17th. 03

 Dear Sir John Scott,

 Will you give me the pleasure
 of your company at a dinner
 I offer, on the eve of my de-
 parture, to our friend Alfred
 de Rothschild at the Carlton
 Hotel on May the 5th 8 1/2?

Original em níveis de cinza

JN
 2 Ap 31 dec 605
 a 191
 52, Cornwall Gardens
 S.W.
 London, April 17th. 03

 Dear Sir John Scott,

 Will you give me the pleasure
 of your company at a dinner
 I offer, on the eve of my de-
 parture, to our friend Alfred
 de Rothschild at the Carlton
 Hotel on May the 5th 8 1/2?

Referência 1 – Limpa pixel a pixel

JN
 2 Ap 31 dec 605
 a 191
 52, Cornwall Gardens
 S.W.
 London, April 17th. 03

 Dear Sir John Scott,

 Will you give me the pleasure
 of your company at a dinner
 I offer, on the eve of my de-
 parture, to our friend Alfred
 de Rothschild at the Carlton
 Hotel on May the 5th 8 1/2?

Referência 2 – Busca manual do
Limiar (threshold)

JN Cap31dec 605
 52, Cornwall Gardens
 S.W.
 London, April 17th 05

Dear Sir John Scott,

Will you give me the pleasure
 of your company at a dinner
 toffer, on the eve of my de-
 parture, to our friend Alfred
 de Rothschild at the Carlton
 Hotel on May the 5th 8 1/2?

Novo algorithmo

JN Cap31dec 605
 52, Cornwall Gardens
 S.W.
 London, April 17th 05

Dear Sir John Scott,

Will you give me the pleasure
 of your company at a dinner
 toffer, on the eve of my de-
 parture, to our friend Alfred
 de Rothschild at the Carlton
 Hotel on May the 5th 8 1/2?

Mello-Lins

JN Cap31dec 605
 52, Cornwall Gardens
 S.W.
 London, April 17th 05

Dear Sir John Scott,

Will you give me the pleasure
 of your company at a dinner
 toffer, on the eve of my de-
 parture, to our friend Alfred
 de Rothschild at the Carlton
 Hotel on May the 5th 8 1/2?

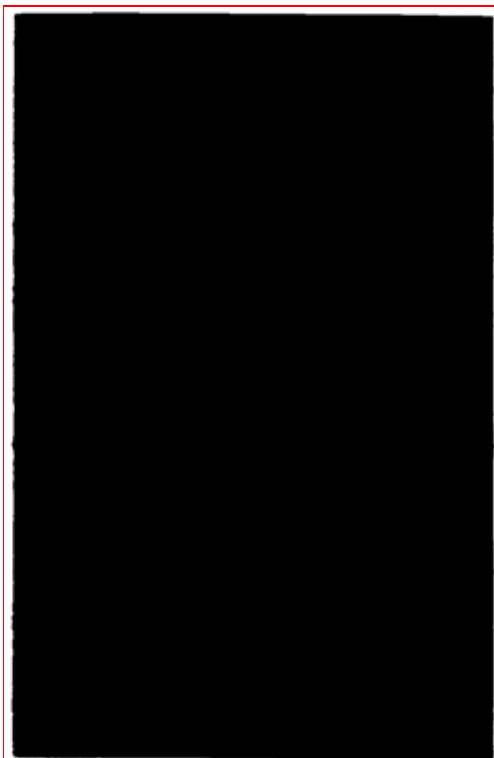
Pun

JN Cap31dec 605
 52, Cornwall Gardens
 S.W.
 London, April 17th 05

Dear Sir John Scott,

Will you give me the pleasure
 of your company at a dinner
 toffer, on the eve of my de-
 parture, to our friend Alfred
 de Rothschild at the Carlton
 Hotel on May the 5th 8 1/2?

Kapur-Sahoo-Wong



Johannsen-Bille

JN
 28 Ap 31 dx (605)
 0191
 52, Cornwall Gardens
 S.W.
 London, April 17th 03

 Dear Sir John Scott,

 Will you give me the favor
 of your company in a dinner
 letter, on the eve of my de-
 parture, to our friend Alfred
 de Rothschild at the Carlton
 Hotel on May the 5th 8 1/2?

Yen-Chang-Chang

JN
 28 Ap 31 dx (605)
 0191
 52, Cornwall Gardens
 S.W.
 London, April 17th 03

 Dear Sir John Scott,

 Will you give me the favor
 of your company in a dinner
 letter, on the eve of my de-
 parture, to our friend Alfred
 de Rothschild at the Carlton
 Hotel on May the 5th 8 1/2?

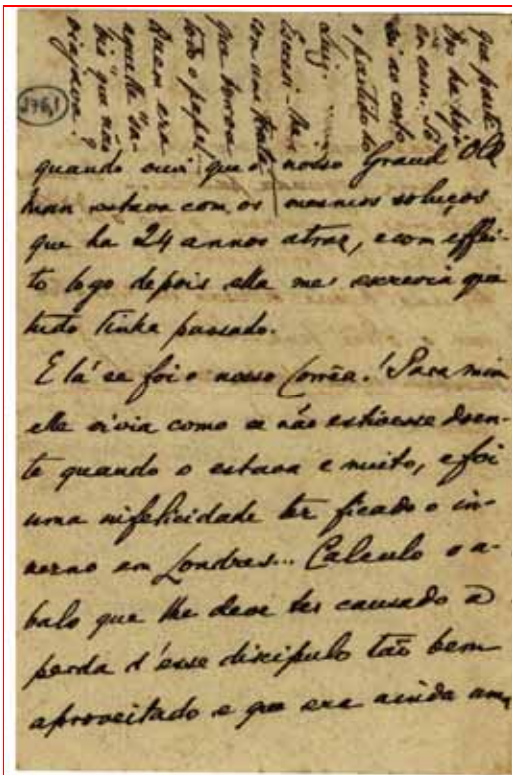
Otsu

Figura A1.2 – Imagens do documento 605 do acervo de Joaquim Nabuco.

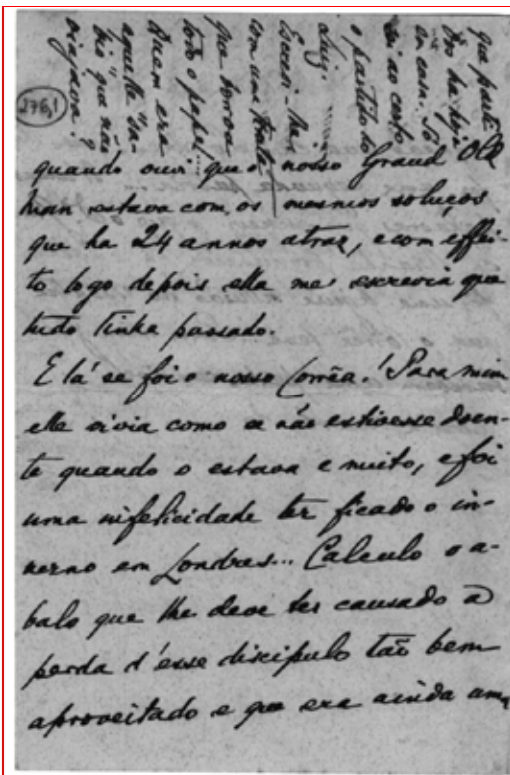
Tabela A1.2 – *Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.2.*

Algoritmo	Threshold	PSNR 1 (dB)	PSNR 2 (dB)
REF. 1	-	-	41
REF. 2	80	41	-
Novo	90	39	40
Mello-Lins	77	41	44
Pun	129	27	27
Kapur-Shoo-Wong	101	36	36
Johannsen-Bille	184	25	25
Yen-Chang-Chang	101	36	36
Otsu	104	35	35

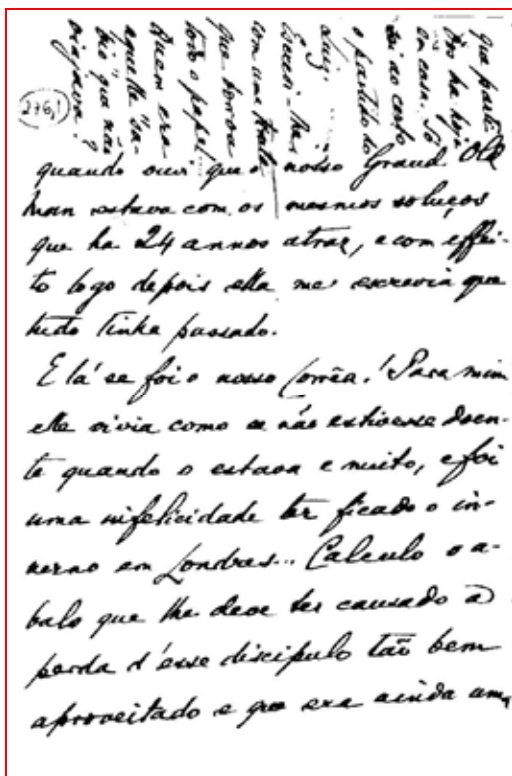
O algoritmo Mello-Lins obteve o melhor rendimento neste experimento, seguido do novo algoritmo, e neste caso o PSNR traduz perfeitamente o desempate.



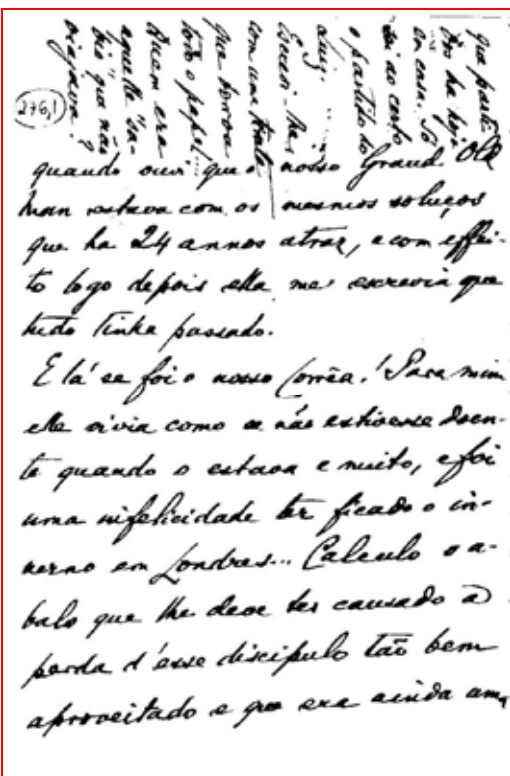
Original em true-color



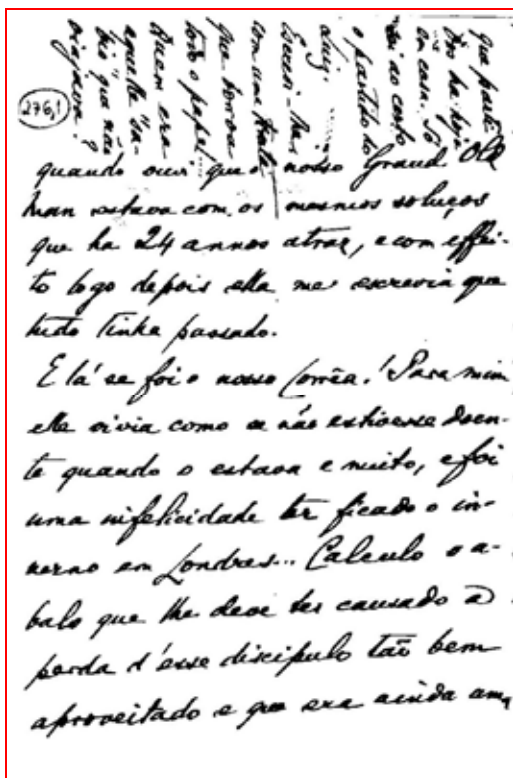
Original em níveis de cinza



Referência



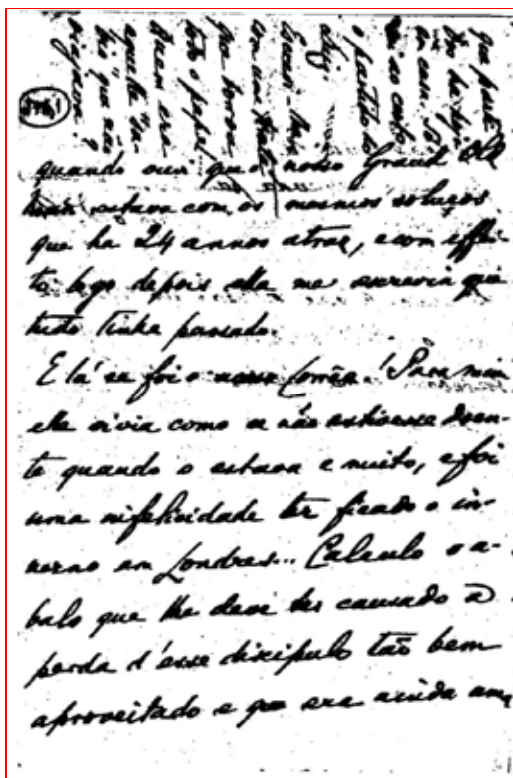
Novo algoritmo



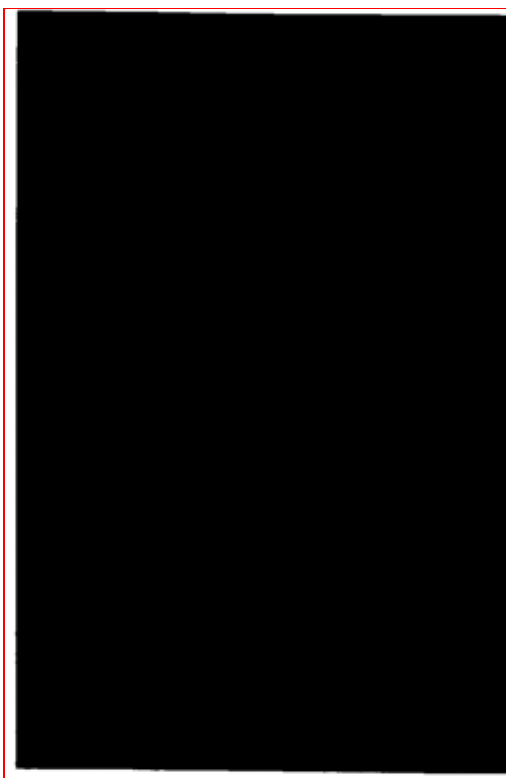
Mello-Lins



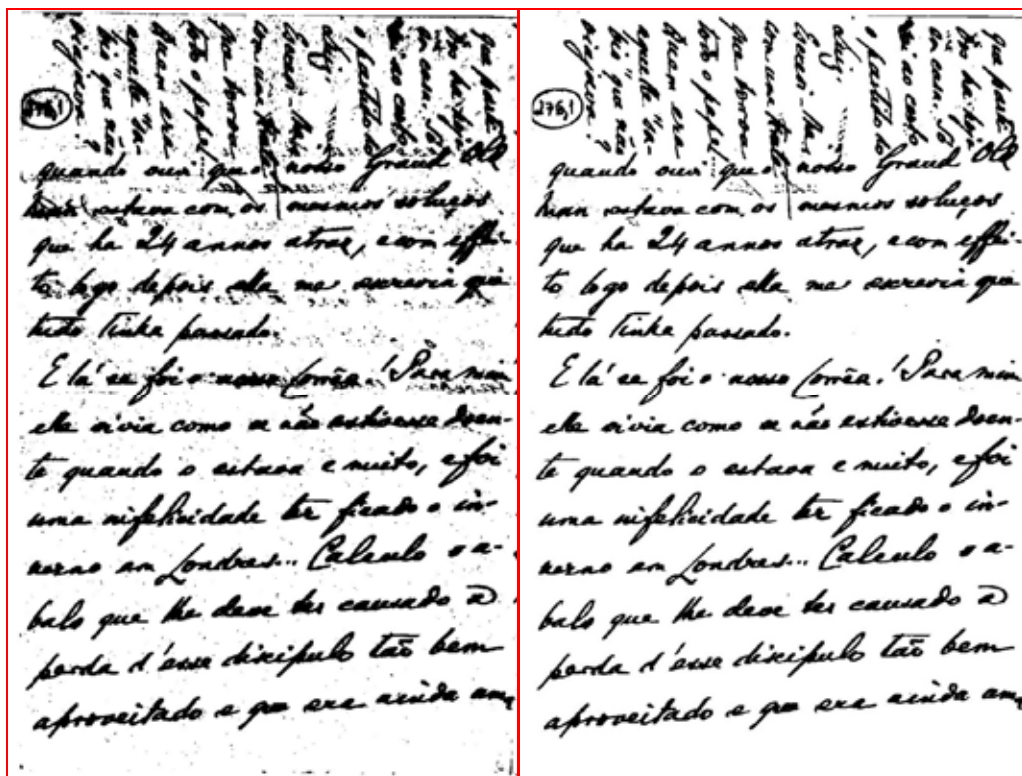
Pun



Kapur-Sahoo-Wong



Johannsen-Bille



Yen-Chang-Chang

Otsu

Figura A1.3 – Imagens do documento 276,1 do acervo de Joaquim Nabuco.

Tabela A1.3 – Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.3.

Algoritmo	Threshold	PSNR (dB)
REFERÊNCIA	60	-
Novo	63	43
Mello-Lins	79	38
Pun	166	28
Kapur-Shoo-Wong	137	34
Johannsen-Bille	215	25
Yen-Chang-Chang	141	33
Otsu	107	36

Os PSNR's calculados neste experimento informam realmente que a imagem mais limpa é a obtida através do novo algoritmo, seguida da obtida pelo Mello-Lins, Otsu e os outros. Mas seus valores “exageram” essa diferença, por exemplo: através da inspeção visual, observamos que as imagens obtidas pelo novo algoritmo e Mello-Lins estão bem mais próximas do que poderíamos imaginar se só observássemos os valores dos PSNR's.

581,7
 Era o caso de ser ou demittido
 app. V. Não fazemos mais n'isso.
 Tal papel sem caso nenhum
 me conviria. V. felizmente
 dirigio-se d'ora adx a um
 amigo que o pôde esclarecer
 sobre as consequencias de
 tal procedimento da sua
 parte. O Delegado em caso
 algum poderia pagar ao Mi-
 nistro e ao Secretario como

Original em true-color

581,7
 Era o caso de ser ou demittido
 app. V. Não fazemos mais n'isso.
 Tal papel sem caso nenhum
 me conviria. V. felizmente
 dirigio-se d'ora adx a um
 amigo que o pôde esclarecer
 sobre as consequencias de
 tal procedimento da sua
 parte. O Delegado em caso
 algum poderia pagar ao Mi-
 nistro e ao Secretario como

Original em níveis de cinza

581,7
 Era o caso de ser ou demittido
 app. V. Não fazemos mais n'isso.
 Tal papel sem caso nenhum
 me conviria. V. felizmente
 dirigio-se d'ora adx a um
 amigo que o pôde esclarecer
 sobre as consequencias de
 tal procedimento da sua
 parte. O Delegado em caso
 algum poderia pagar ao Mi-
 nistro e ao Secretario como

Referência 1 – Limpa pixel a pixel

581,7
 Era o caso de ser ou demittido
 app. V. Não fazemos mais n'isso.
 Tal papel sem caso nenhum
 me conviria. V. felizmente
 dirigio-se d'ora adx a um
 amigo que o pôde esclarecer
 sobre as consequencias de
 tal procedimento da sua
 parte. O Delegado em caso
 algum poderia pagar ao Mi-
 nistro e ao Secretario como

Referência 2 – Busca manual do
Limiar (threshold)

591,7

Era o caso de ser ou demittido
 app. D. Não fazemos mais n'isso.
 Tal papal sem caso nenhum
 me conoia. D. felizmente
 dirigio-se d'anda uox a um
 amigo qua o pôde esclarecer
 sobre as consequencias de
 tal procedimento da sua
 parte. O Delgado em caso
 algum poderia pagar ao Mi-
 nistro e ao Secretario como

Novo algoritmo

591,7

Era o caso de ser ou demittido
 app. D. Não fazemos mais n'isso.
 Tal papal sem caso nenhum
 me conoia. D. felizmente
 dirigio-se d'anda uox a um
 amigo qua o pôde esclarecer
 sobre as consequencias de
 tal procedimento da sua
 parte. O Delgado em caso
 algum poderia pagar ao Mi-
 nistro e ao Secretario como

Mello-Lins

591,7

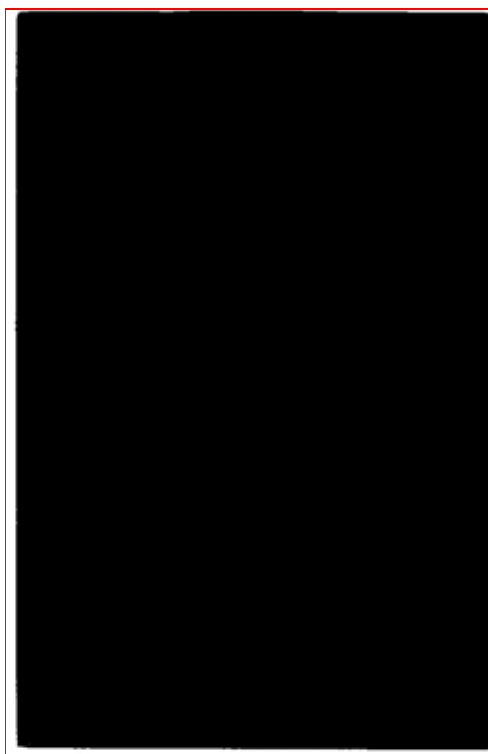
Era o caso de ser ou demittido
 app. D. Não fazemos mais n'isso.
 Tal papal sem caso nenhum
 me conoia. D. felizmente
 dirigio-se d'anda uox a um
 amigo qua o pôde esclarecer
 sobre as consequencias de
 tal procedimento da sua
 parte. O Delgado em caso
 algum poderia pagar ao Mi-
 nistro e ao Secretario como

Pun

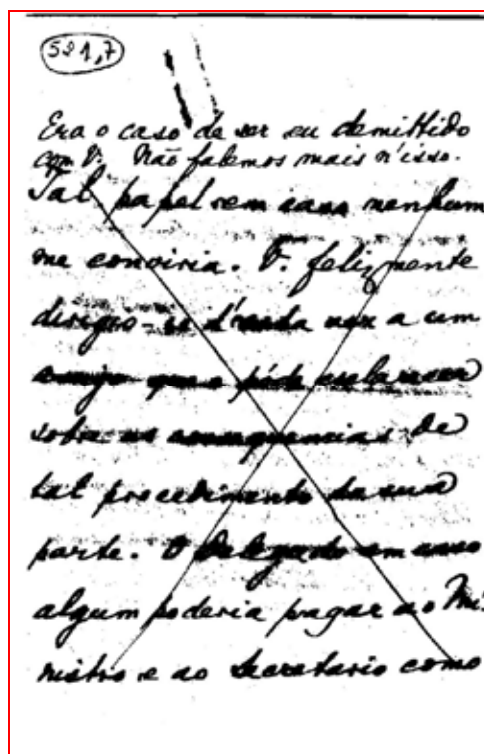
591,7

Era o caso de ser ou demittido
 app. D. Não fazemos mais n'isso.
 Tal papal sem caso nenhum
 me conoia. D. felizmente
 dirigio-se d'anda uox a um
 amigo qua o pôde esclarecer
 sobre as consequencias de
 tal procedimento da sua
 parte. O Delgado em caso
 algum poderia pagar ao Mi-
 nistro e ao Secretario como

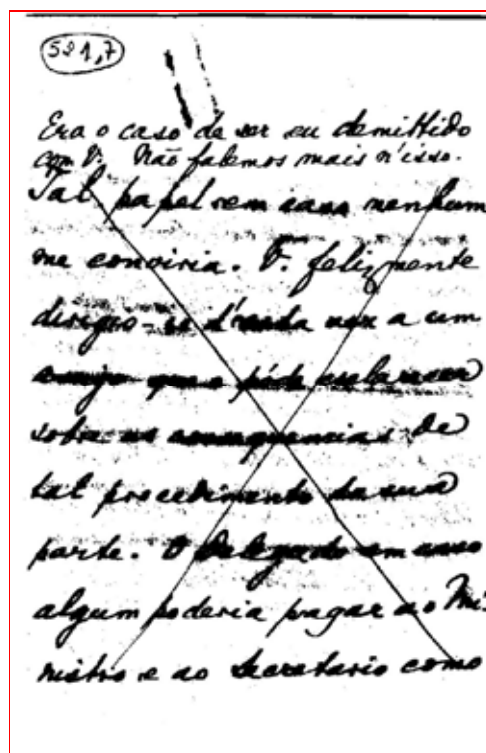
Kapur-Sahoo-Wong



Johannsen-Bille



Yen-Chang-Chang



Otsu

Figura A1.4 – Imagens do documento 521,7 do acervo de Joaquim Nabuco.

Tabela A1.4 – *Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.4.*

Algoritmo	Threshold	PSNR 1 (dB)	PSNR 2 (dB)
REF. 1	-	-	41
REF. 2	64	41	-
Novo	75	38	38
Mello-Lins	82	36	36
Pun	113	28	28
Kapur-Shoo-Wong	84	36	35
Johannsen-Bille	170	25	25
Yen-Chang-Chang	85	35	35
Otsu	85	35	35

A imagem resultante da aplicação do novo algoritmo tem uma qualidade visual superior à dos demais, mas a imagem Referência 2 nos mostra que o limiar deveria ser menor. Os PSNR's de ambas as imagens, neste experimento, representam bem a qualidade visual de cada algoritmo.

(1.331,2)

se complete com a sua missão
para o São Paulo.
Dono escrever ao Sr.
Cu'acho melhor vir o Sr.
Washington contandoe
com o Almirante Bredford
que o Sr. este prompto a ir a Boston
qualquer dia que combinarem e pedir-me
que por se decrete a mesma
que ponha o representante da Com. paula
em correspondencia com elle
o Sr.
a cerca da visita a Boston
Mando-lhe a carta que elle
me escreveu e a proposta

Original em true-color

(1.331,2)

se complete com a sua missão
para o São Paulo.
Dono escrever ao Sr.
Cu'acho melhor vir o Sr.
Washington contandoe
com o Almirante Bredford
que o Sr. este prompto a ir a Boston
qualquer dia que combinarem e pedir-me
que por se decrete a mesma
que ponha o representante da Com. paula
em correspondencia com elle
o Sr.
a cerca da visita a Boston
Mando-lhe a carta que elle
me escreveu e a proposta

Original em níveis de cinza

(1.331,2)

se complete com a sua missão
para o São Paulo.
Dono escrever ao Sr.
Cu'acho melhor vir o Sr.
Washington contandoe
com o Almirante Bredford
que o Sr. este prompto a ir a Boston
qualquer dia que combinarem e pedir-me
que por se decrete a mesma
que ponha o representante da Com. paula
em correspondencia com elle
o Sr.
a cerca da visita a Boston
Mando-lhe a carta que elle
me escreveu e a proposta

Referência 1 – Limpa pixel a pixel

(1.331,2)

se complete com a sua missão
para o São Paulo.
Dono escrever ao Sr.
Cu'acho melhor vir o Sr.
Washington contandoe
com o Almirante Bredford
que o Sr. este prompto a ir a Boston
qualquer dia que combinarem e pedir-me
que por se decrete a mesma
que ponha o representante da Com. paula
em correspondencia com elle
o Sr.
a cerca da visita a Boston
Mando-lhe a carta que elle
me escreveu e a proposta

Referência 2 – Busca manual do
Limiar (threshold)

(12312)

se complete com a sua assinatura
para o São Paulo.
Doy escrever ao Sr.
Cuzachs matter vir o Sr.
Washington contandose
como o Almirante Dredford
que o Sr. este pronto a ir a Boston
qualquer dia que combinem e pedir-me
que por se deixo a minha
me porde o representante da Companhia
em correspondencia com elle
o Sr.
a cerca da visita a Boston
Mando-lhe a carta que elle
me escreveu e a proposta

Novo algoritmo

(12312)

se complete com a sua assinatura
para o São Paulo.
Doy escrever ao Sr.
Cuzachs matter vir o Sr.
Washington contandose
como o Almirante Dredford
que o Sr. este pronto a ir a Boston
qualquer dia que combinem e pedir-me
que por se deixo a minha
me porde o representante da Companhia
em correspondencia com elle
o Sr.
a cerca da visita a Boston
Mando-lhe a carta que elle
me escreveu e a proposta

Mello-Lins

(12312)

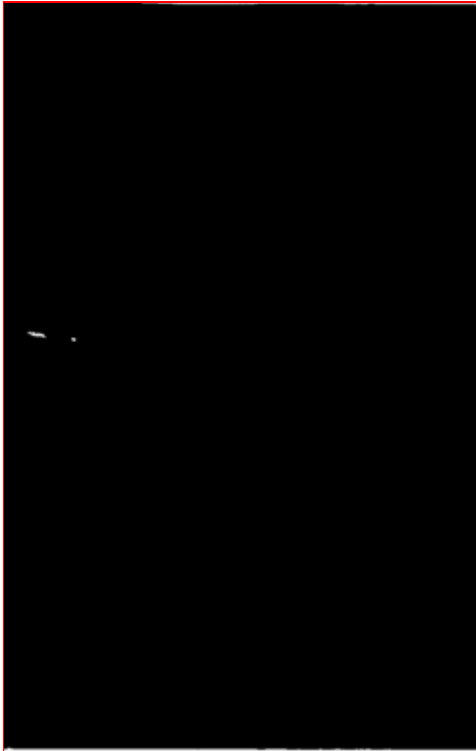
se complete com a sua assinatura
para o São Paulo.
Doy escrever ao Sr.
Cuzachs matter vir o Sr.
Washington contandose
como o Almirante Dredford
que o Sr. este pronto a ir a Boston
qualquer dia que combinem e pedir-me
que por se deixo a minha
me porde o representante da Companhia
em correspondencia com elle
o Sr.
a cerca da visita a Boston
Mando-lhe a carta que elle
me escreveu e a proposta

Pun

(12312)

se complete com a sua assinatura
para o São Paulo.
Doy escrever ao Sr.
Cuzachs matter vir o Sr.
Washington contandose
como o Almirante Dredford
que o Sr. este pronto a ir a Boston
qualquer dia que combinem e pedir-me
que por se deixo a minha
me porde o representante da Companhia
em correspondencia com elle
o Sr.
a cerca da visita a Boston
Mando-lhe a carta que elle
me escreveu e a proposta

Kapur-Sahoo-Wong



Johannsen-Bille

1.221,2

se complete com a sua nomeação
para o São Paulo.
Em escrever ao Sr.
Cu-acho matter ao Sr.
Washington
Como o Almirante
que o Sr. que prompto a ir a
qualquer dia que combinar e pedir-me
que por se deve a minha
que possa o representante da Companhia
em correspondência com ele
o Sr.
a cerca da visita a Porto
Manda-me a carta que ele
me escreveu e a proposta

Yen-Chang-Chang

1.221,2

se complete com a sua nomeação
para o São Paulo.
Em escrever ao Sr.
Cu-acho matter ao Sr.
Washington
Como o Almirante
que o Sr. que prompto a ir a
qualquer dia que combinar e pedir-me
que por se deve a minha
que possa o representante da Companhia
em correspondência com ele
o Sr.
a cerca da visita a Porto
Manda-me a carta que ele
me escreveu e a proposta

Otsu

Figura A1.5 – Imagens do documento 1.221,2 do acervo de Joaquim Nabuco.

Tabela A1.5 – Dados dos *threshold's* e *PSNR's* referentes à Figura A1.5.

Algoritmo	Threshold	PSNR 1 (dB)	PSNR 2 (dB)
REF. 1	-	-	41
REF. 2	44	41	-
Novo	46	41	42
Mello-Lins	80	32	32
Pun	96	28	28
Kapur-Shoo-Wong	133	25	25
Johannsen-Bille	171	25	24
Yen-Chang-Chang	72	35	34
Otsu	66	37	35

As imagens Referência 2 e a obtida pelo novo algoritmo têm praticamente o mesmo limiar (*threshold*) e, por isso, temos um PSNR de 42dB entre elas. A imagem Referência 1 também está visualmente próxima das duas citadas, ratificando o bom desempenho do novo algoritmo. Quanto aos outros algoritmos, eles não obtiveram bons resultados.

(1.241,3)
 Esta semana a 27 Mrs. Loocatt
 recebe o (opb) Diplomatico e a nossa
 Embaixada la'altard. Talvez te me
 Aquino, quira vir, naq'pala ultima
 alt.
~~pedindo-lhe que m'as devolva~~
 De todo modo espero que
 sua remocao'ha seja aque-
 rida no sentido do uma
 brilhante carreira.
 Creia-me muito Affectuos.
 Com meus sentimentos mais
 affectuosos, pedindo q'ua
 recomende a sua Ex.
 ficas sempre de
 Patricio, Almirante 36.
 Joaquim Habueoy

Original em true-color

(1.241,3)
 Esta semana a 27 Mrs. Loocatt
 recebe o (opb) Diplomatico e a nossa
 Embaixada la'altard. Talvez te me
 Aquino, quira vir, naq'pala ultima
 alt.
~~pedindo-lhe que m'as devolva~~
 De todo modo espero que
 sua remocao'ha seja aque-
 rida no sentido do uma
 brilhante carreira.
 Creia-me muito Affectuos.
 Com meus sentimentos mais
 affectuosos, pedindo q'ua
 recomende a sua Ex.
 ficas sempre de
 Patricio, Almirante 36.
 Joaquim Habueoy

Original em níveis de cinza

(1.241,3)
 Esta semana a 27 Mrs. Loocatt
 recebe o (opb) Diplomatico e a nossa
 Embaixada la'altard. Talvez te me
 Aquino, quira vir, naq'pala ultima
 alt.
~~pedindo-lhe que m'as devolva~~
 De todo modo espero que
 sua remocao'ha seja aque-
 rida no sentido do uma
 brilhante carreira.
 Creia-me muito Affectuos.
 Com meus sentimentos mais
 affectuosos, pedindo q'ua
 recomende a sua Ex.
 ficas sempre de
 Patricio, Almirante 36.
 Joaquim Habueoy

Referência 1 – Limpa pixel a pixel

(1.241,3)
 Esta semana a 27 Mrs. Loocatt
 recebe o (opb) Diplomatico e a nossa
 Embaixada la'altard. Talvez te me
 Aquino, quira vir, naq'pala ultima
 alt.
~~pedindo-lhe que m'as devolva~~
 De todo modo espero que
 sua remocao'ha seja aque-
 rida no sentido do uma
 brilhante carreira.
 Creia-me muito Affectuos.
 Com meus sentimentos mais
 affectuosos, pedindo q'ua
 recomende a sua Ex.
 ficas sempre de
 Patricio, Almirante 36.
 Joaquim Habueoy

Referência 2 – Busca manual do
Limiar (threshold)

Esta semana a 27 hrs. Recebi a
 recibo o (opb) Diplomatico e a nova
 Embaixada de la' actual. Vozes de me
 Aquino, para vir, na p'la ultima
 alle.
 pedindo-lhe que m'as de volta
 de todo modo exteso que
 sua remocao ha seja agra-
 deada no sentido do vir
 brilhante carreira.
 Creia-me muito Affectuos.
 Com meus sentimentos mais
 affectuosos, pedindo q' sua
 recomenda a sua Ex.ª
 ficas sempre da
 Patricio, Almeida
 Joaquim Habuoy

Novo algoritmo

(1.281,3)
 Esta semana a 27 hrs. Recebi a
 recibo o (opb) Diplomatico e a nova
 Embaixada de la' actual. Vozes de me
 Aquino, para vir, na p'la ultima
 alle.
 pedindo-lhe que m'as de volta
 de todo modo exteso que
 sua remocao ha seja agra-
 deada no sentido do vir
 brilhante carreira.
 Creia-me muito Affectuos.
 Com meus sentimentos mais
 affectuosos, pedindo q' sua
 recomenda a sua Ex.ª
 ficas sempre da
 Patricio, Almeida
 Joaquim Habuoy

Mello-Lins

(1.281,3)
 Esta semana a 27 hrs. Recebi a
 recibo o (opb) Diplomatico e a nova
 Embaixada de la' actual. Vozes de me
 Aquino, para vir, na p'la ultima
 alle.
 pedindo-lhe que m'as de volta
 de todo modo exteso que
 sua remocao ha seja agra-
 deada no sentido do vir
 brilhante carreira.
 Creia-me muito Affectuos.
 Com meus sentimentos mais
 affectuosos, pedindo q' sua
 recomenda a sua Ex.ª
 ficas sempre da
 Patricio, Almeida
 Joaquim Habuoy

Pun

(1.281,3)
 Esta semana a 27 hrs. Recebi a
 recibo o (opb) Diplomatico e a nova
 Embaixada de la' actual. Vozes de me
 Aquino, para vir, na p'la ultima
 alle.
 pedindo-lhe que m'as de volta
 de todo modo exteso que
 sua remocao ha seja agra-
 deada no sentido do vir
 brilhante carreira.
 Creia-me muito Affectuos.
 Com meus sentimentos mais
 affectuosos, pedindo q' sua
 recomenda a sua Ex.ª
 ficas sempre da
 Patricio, Almeida
 Joaquim Habuoy

Kapur-Sahoo-Wong



Johannsen-Bille

(1221,3)
 Esta comuna a 27 hrs. Louca
 com o (oppo) Diplomatico e a nossa
 Embaixada la'altard. Talvez te ma
 Aquino, quira vir, aq'pala ultima
 pedindo - he q'm a aduolva
 de todo modo espero que
 sua comocao ha seja aque-
 lha no sentido do vira
 brilhante carreira.
 Creia-me muito Affectuos.
 Com meus sentimentos
 affectuosos, pedindo q' se
 recomende a sua Ex.
 Fica sempre att.
 D. P. 25.
 Joaquim Nabuco

Yen-Chang-Chang

(1221,3)
 Esta comuna a 27 hrs. Louca
 com o (oppo) Diplomatico e a nossa
 Embaixada la'altard. Talvez te ma
 Aquino, quira vir, aq'pala ultima
 pedindo - he q'm a aduolva
 de todo modo espero que
 sua comocao ha seja aque-
 lha no sentido do vira
 brilhante carreira.
 Creia-me muito Affectuos.
 Com meus sentimentos
 affectuosos, pedindo q' se
 recomende a sua Ex.
 Fica sempre att.
 D. P. 25.
 Joaquim Nabuco

Otsu

Figura A1.6 – Imagens do documento 1221,3 do acervo de Joaquim Nabuco.

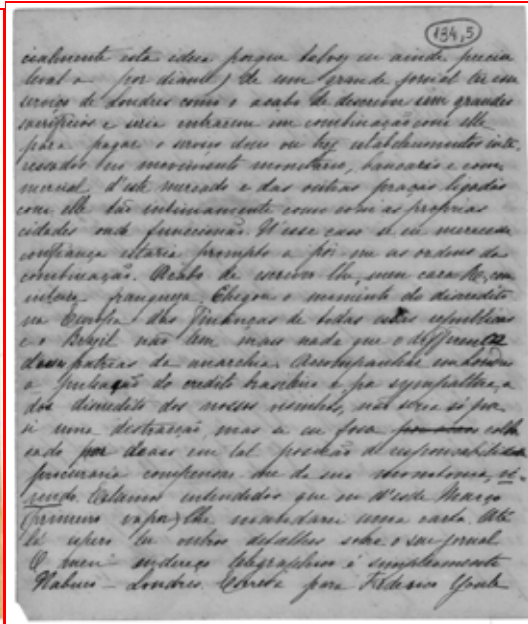
Tabela A1.6 – *Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.6.*

Algoritmo	Threshold	PSNR 1 (dB)	PSNR 2 (dB)
REF. 1	-	-	40
REF. 2	41	40	-
Novo	31	41	40
Mello-Lins	78	32	32
Pun	96	27	27
Kapur-Shoo-Wong	132	25	25
Johannsen-Bille	166	25	25
Yen-Chang-Chang	72	34	33
Otsu	59	38	36

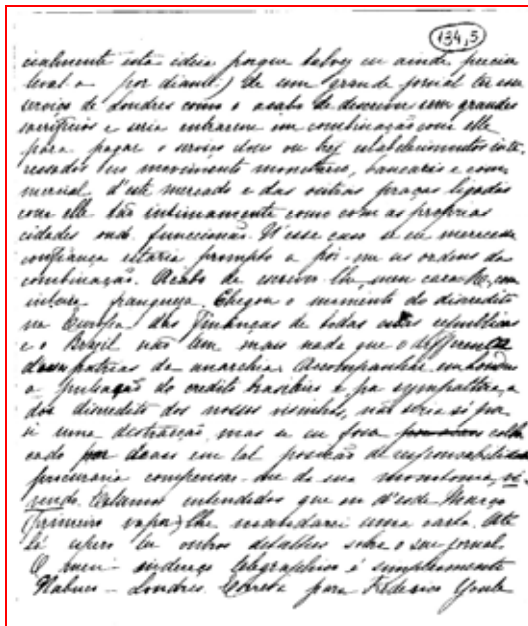
Neste experimento, embora o novo algoritmo tenha trazido um limiar abaixo do desejado, provocando perdas de “informação útil”, ele apresenta o melhor resultado visual, pois permite ler muito mais partes do texto que o segundo candidato mais próximo, o algoritmo de Otsu, que por ter um limiar muito acima, mistura a “informação útil” com a interferência, impossibilitando a leitura do documento.



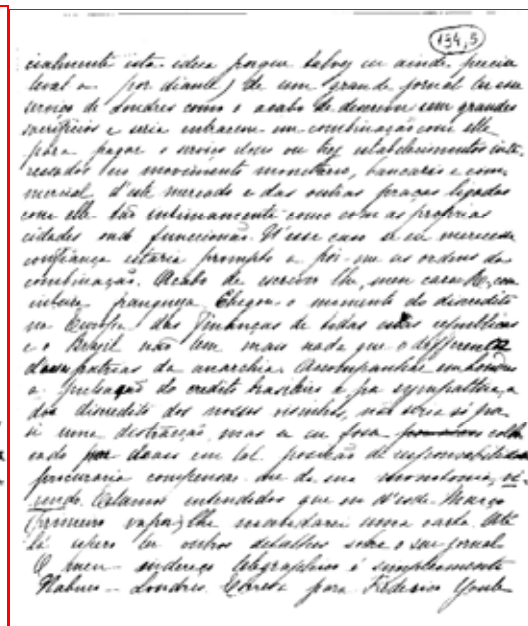
Original em true-color



Original em níveis de cinza



Referência



Novo algoritmo

184,5

entant... (The text is dense and largely illegible due to the handwriting style and image quality.)

Mello-Lins

184,5

(The text in this image is extremely dark and illegible, appearing as a solid black block.)

Pun

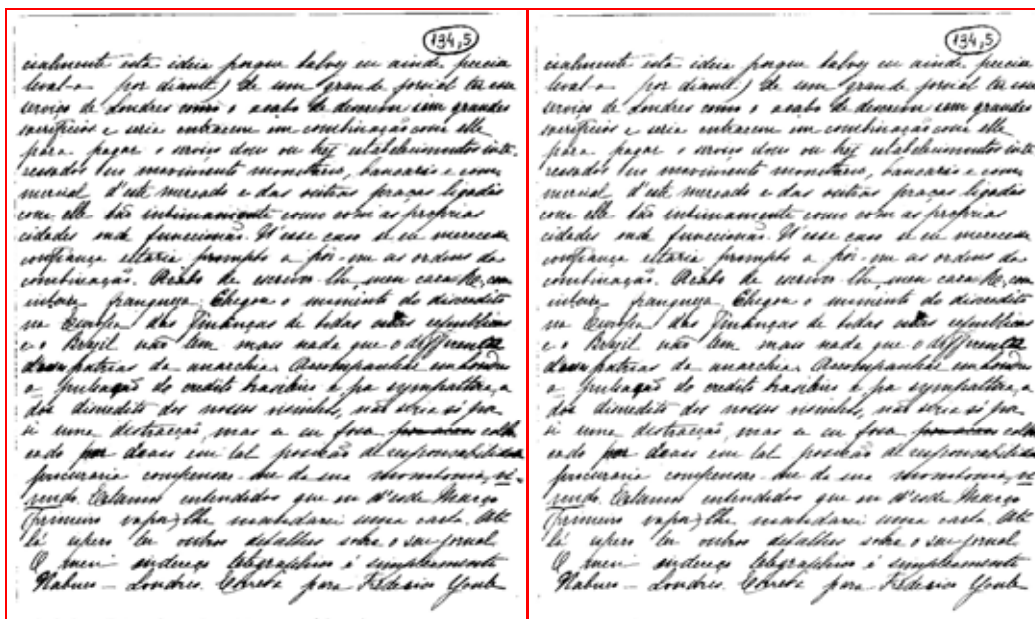
184,5

entant... (The text in this image is more legible than the others, though still somewhat faded and difficult to read. It appears to be a continuation or a similar passage to the one on the left.)

Kapur-Sahoo-Wong

(The text in this image is completely illegible, appearing as a solid black block.)

Johannsen-Bille



Yen-Chang-Chang

Otsu

Figura A1.7 – Imagens do documento 134,5 do acervo de Joaquim Nabuco.

Tabela A1.7 – Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.7.

Algoritmo	Threshold	PSNR (dB)
REFERÊNCIA	115	-
Novo	100	39
Mello-Lins	160	30
Pun	172	27
Kapur-Shoo-Wong	134	36
Johannsen-Bille	214	24
Yen-Chang-Chang	134	36
Otsu	117	42

Neste experimento destacamos os resultados da aplicação dos algoritmos de Otsu e do novo algoritmo. Por ter um limiar de corte (*threshold*) menor, poderíamos imaginar que o novo algoritmo traz uma imagem mais limpa, mas o limiar “ideal” é de 115 (imagem de referência) e com este limiar já não visualizamos mais “sujeira” na imagem, assim, podemos dizer que o novo algoritmo “limpou mais do que deveria”. Neste caso, especificamente, esse “excesso de limpeza” apenas diminuiu a espessura das letras, fato que facilita a leitura deste documento.

(135,2)
 provavel que Ararico guarde
 a pasta para elle. O Assis Bra-
 zil eu não creio que se embar-
 que n'essa frota sem bandeira.
 Como cahiu o Ruy! deixando
 a 19 o cambio que elle escreva
 a 27, arrado de frascos em
 que fluctuan no alcool de
 uma adulação podre ao
 "Generabilissimo" os successi-
 vos abortos que elle levou
 um anno a deitar. Baucos
 Hypothecario nacional 400.000
 contos, da Republica 600000

Original em true-color

(135,2)
 provavel que Ararico guarde
 a pasta para elle. O Assis Bra-
 zil eu não creio que se embar-
 que n'essa frota sem bandeira.
 Como cahiu o Ruy! deixando
 a 19 o cambio que elle escreva
 a 27, arrado de frascos em
 que fluctuan no alcool de
 uma adulação podre ao
 "Generabilissimo" os successi-
 vos abortos que elle levou
 um anno a deitar. Baucos
 Hypothecario nacional 400.000
 contos, da Republica 600000

Original em níveis de cinza

(135,2)
 provavel que Ararico guarde
 a pasta para elle. O Assis Bra-
 zil eu não creio que se embar-
 que n'essa frota sem bandeira.
 Como cahiu o Ruy! deixando
 a 19 o cambio que elle escreva
 a 27, arrado de frascos em
 que fluctuan no alcool de
 uma adulação podre ao
 "Generabilissimo" os successi-
 vos abortos que elle levou
 um anno a deitar. Baucos
 Hypothecario nacional 400.000
 contos, da Republica 600000

Referência

(135,2)
 provavel que Ararico guarde
 a pasta para elle. O Assis Bra-
 zil eu não creio que se embar-
 que n'essa frota sem bandeira.
 Como cahiu o Ruy! deixando
 a 19 o cambio que elle escreva
 a 27, arrado de frascos em
 que fluctuan no alcool de
 uma adulação podre ao
 "Generabilissimo" os successi-
 vos abortos que elle levou
 um anno a deitar. Baucos
 Hypothecario nacional 400.000
 contos, da Republica 600000

Novo algoritmo

(135,2)

prova-oel que Ararico guarda
 a pasta para elle. O Hosi Br
 ziteu não creio que se embar
 que n'essa frota sem bandeira
 Como Cebiu o Ruy! Deixando
 a 19 o cambio que elle creoda
 a 27, arrado de frascos em
 que fluctuan no alcôot de
 uma adulação podre ao
 "Generallissimo" os successi-
 vos abortos que elle levou
 um anno a tratar. Bancos
 Hypothecario nacional 400.000
 contos, da Republica 600000

Mello-Lins

(135,2)

prova-oel que Ararico guarda
 a pasta para elle. O Hosi Br
 ziteu não creio que se embar
 que n'essa frota sem bandeira
 Como Cebiu o Ruy! Deixando
 a 19 o cambio que elle creoda
 a 27, arrado de frascos em
 que fluctuan no alcôot de
 uma adulação podre ao
 "Generallissimo" os successi-
 vos abortos que elle levou
 um anno a tratar. Bancos
 Hypothecario nacional 400.000
 contos, da Republica 600000

Pun

(135,2)

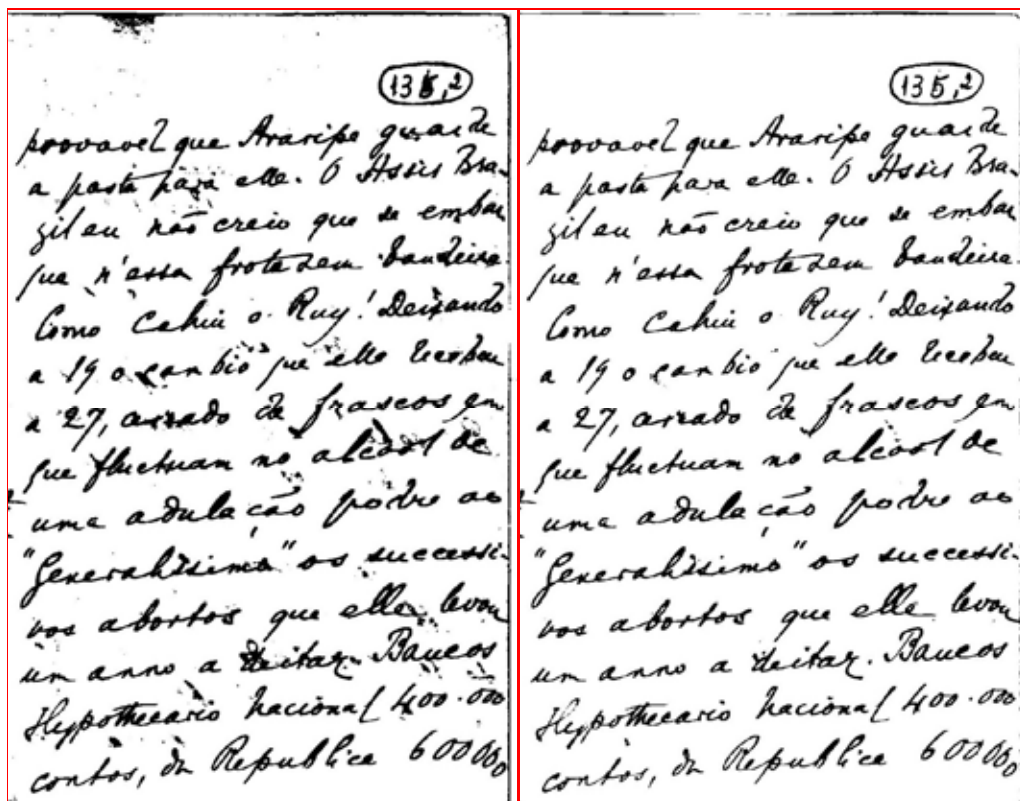
prova-oel que Ararico guarda
 a pasta para elle. O Hosi Br
 ziteu não creio que se embar
 que n'essa frota sem bandeira
 Como Cebiu o Ruy! Deixando
 a 19 o cambio que elle creoda
 a 27, arrado de frascos em
 que fluctuan no alcôot de
 uma adulação podre ao
 "Generallissimo" os successi-
 vos abortos que elle levou
 um anno a tratar. Bancos
 Hypothecario nacional 400.000
 contos, da Republica 600000

Kapur-Sahoo-Wong

(135,2)

prova-oel que Ararico guarda
 a pasta para elle. O Hosi Br
 ziteu não creio que se embar
 que n'essa frota sem bandeira
 Como Cebiu o Ruy! Deixando
 a 19 o cambio que elle creoda
 a 27, arrado de frascos em
 que fluctuan no alcôot de
 uma adulação podre ao
 "Generallissimo" os successi-
 vos abortos que elle levou
 um anno a tratar. Bancos
 Hypothecario nacional 400.000
 contos, da Republica 600000

Johannsen-Bille



Yen-Chang-Chang

Otsu

Figura A1.8 – Imagens do documento 135,2 do acervo de Joaquim Nabuco.

Tabela A1.8 – Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.8.

Algoritmo	Threshold	PSNR (dB)
REFERÊNCIA	120	-
Novo	122	46
Mello-Lins	165	37
Pun	218	28
Kapur-Shoo-Wong	178	36
Johannsen-Bille	244	24
Yen-Chang-Chang	183	35
Otsu	144	39

Voltamos a destacar os resultados obtidos pelo novo algoritmo e o Otsu. Esses resultados estão bem próximos, mas o resultado do algoritmo de Otsu ainda trás um “resíduo de sujeira” a mais que o do novo algoritmo. Mas novamente devemos frisar o “exagero” da diferença entre os valores dos PSNR's.

515,2

e' considerado entre nós a Jote
 grande e V. está a' bica. O malho
 e' augmentar agora o seu Opti
 mismo e o seu bon humor, nos
 ter confiança no Rio Branco.
 Se houvesse signal de que
 o cá pór de lado, seria outra
 coisa. O fracq nos informaria
 com segurança. Eu tento es
 cripto sempre como devo a deo

Original em true-color

515,2

e' considerado entre nós a Jote
 grande e V. está a' bica. O malho
 e' augmentar agora o seu Opti
 mismo e o seu bon humor, nos
 ter confiança no Rio Branco.
 Se houvesse signal de que
 o cá pór de lado, seria outra
 coisa. O fracq nos informaria
 com segurança. Eu tento es
 cripto sempre como devo a deo

Original em níveis de cinza

515,2

e' considerado entre nós a Jote
 grande e V. está a' bica. O malho
 e' augmentar agora o seu Opti
 mismo e o seu bon humor, nos
 ter confiança no Rio Branco.
 Se houvesse signal de que
 o cá pór de lado, seria outra
 coisa. O fracq nos informaria
 com segurança. Eu tento es
 cripto sempre como devo a deo

Referência 1 – Limpa pixel a pixel

515,2

e' considerado entre nós a Jote
 grande e V. está a' bica. O malho
 e' augmentar agora o seu Opti
 mismo e o seu bon humor, nos
 ter confiança no Rio Branco.
 Se houvesse signal de que
 o cá pór de lado, seria outra
 coisa. O fracq nos informaria
 com segurança. Eu tento es
 cripto sempre como devo a deo

Referência 2 – Busca manual do
Limiar (threshold)

515,2

e' considerado entre nós a lota
 grande e o. está a' bica. O mello
 e' augmentar agora o seu Opti
 mismo e o seu bon humor, nos
 ter confiança no Rio Branco.
 Se houvesse signal de que
 o cá pór de lado, seria outra
 coisa. O fraca nos informaia
 com segurança. Eu tento es
 scripto sempre como devo a

Novo algoritmo

515,2

e' considerado entre nós a lota
 grande e o. está a' bica. O mello
 e' augmentar agora o seu Opti
 mismo e o seu bon humor, nos
 ter confiança no Rio Branco.
 Se houvesse signal de que
 o cá pór de lado, seria outra
 coisa. O fraca nos informaia
 com segurança. Eu tento es
 scripto sempre como devo a

Mello-Lins

515,2

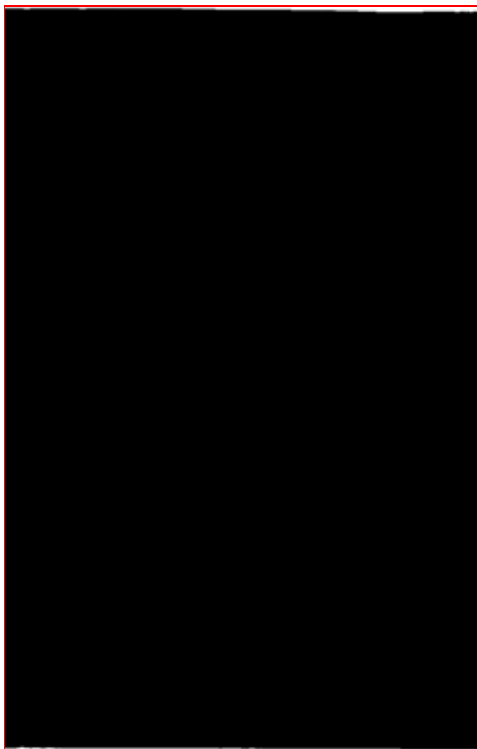
e' considerado entre nós a lota
 grande e o. está a' bica. O mello
 e' augmentar agora o seu Opti
 mismo e o seu bon humor, nos
 ter confiança no Rio Branco.
 Se houvesse signal de que
 o cá pór de lado, seria outra
 coisa. O fraca nos informaia
 com segurança. Eu tento es
 scripto sempre como devo a

Pun

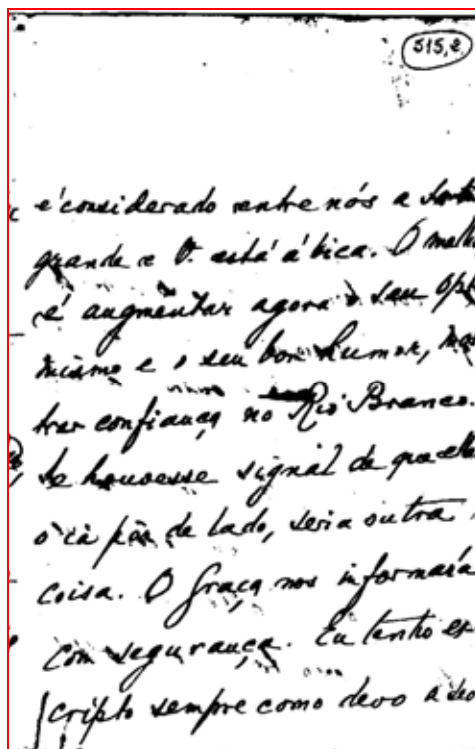
515,2

e' considerado entre nós a lota
 grande e o. está a' bica. O mello
 e' augmentar agora o seu Opti
 mismo e o seu bon humor, nos
 ter confiança no Rio Branco.
 Se houvesse signal de que
 o cá pór de lado, seria outra
 coisa. O fraca nos informaia
 com segurança. Eu tento es
 scripto sempre como devo a

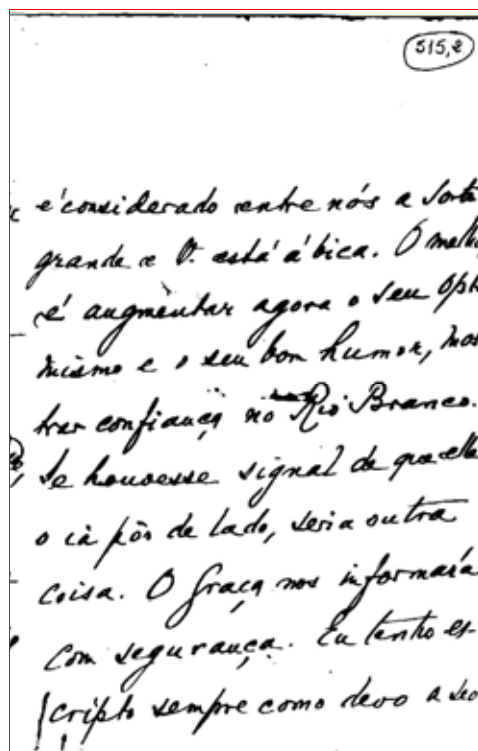
Kapur-Sahoo-Wong



Johannsen-Bille



Yen-Chang-Chang



Otsu

Figura A1.9 – Imagens do documento 515,2 do acervo de Joaquim Nabuco.

Tabela A1.9 – *Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.9.*

Algoritmo	Threshold	PSNR 1 (dB)	PSNR 2 (dB)
REF. 1	-	-	41
REF. 2	110	41	-
Novo	92	42	42
Mello-Lins	163	36	35
Pun	185	28	28
Kapur-Shoo-Wong	151	38	37
Johannsen-Bille	232	24	24
Yen-Chang-Chang	154	37	37
Otsu	128	42	40

O conjunto de imagens acima mostrado nos leva a destacar o desempenho do novo algoritmo e do algoritmo de Otsu, mas o primeiro traz uma imagem mais “limpa”. Novamente, temos um limiar “ideal” (imagem Referência 2) acima do limiar obtido pelo novo algoritmo, mas como no experimento da Figura A1.7 este fato apenas implica em uma diminuição da espessura da letra, chegando até a facilitar a leitura do documento.

510,1

The Senados were well since
I heard about them. I do
not know if Mrs. Sael
is in London.

With kind regards to
Mrs. Jones & yourselves
Sincerely yours
Joaquim Nabuco

Original em true-color

510,1

The Senados were well since
I heard about them. I do
not know if Mrs. Sael
is in London.

With kind regards to
Mrs. Jones & yourselves
Sincerely yours
Joaquim Nabuco

Original em níveis de cinza

510,1

The Senados were well since
I heard about them. I do
not know if Mrs. Sael
is in London.

With kind regards to
Mrs. Jones & yourselves
Sincerely yours
Joaquim Nabuco

Referência 1 – Limpa pixel a pixel

510,1

The Senados were well since
I heard about them. I do
not know if Mrs. Sael
is in London.

With kind regards to
Mrs. Jones & yourselves
Sincerely yours
Joaquim Nabuco

Referência 2 – Busca manual do
Limiar (threshold)

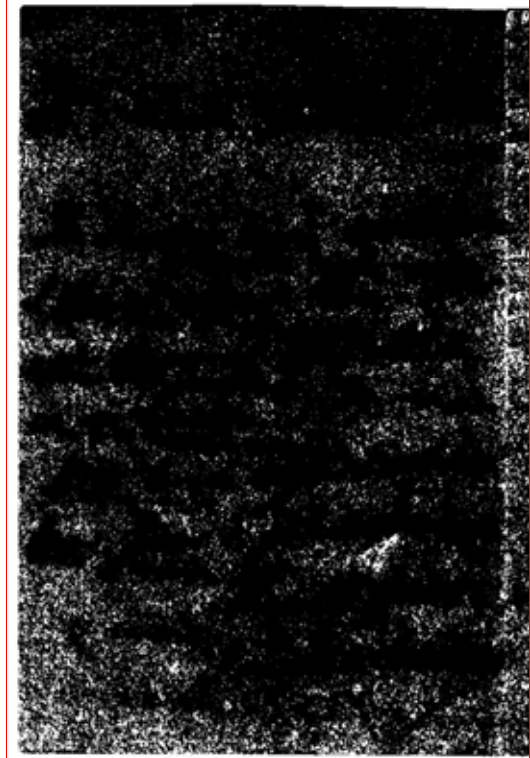
510,1

The Senados were well since
I heard about them. I do
not know if Mrs. Bell
is in London.

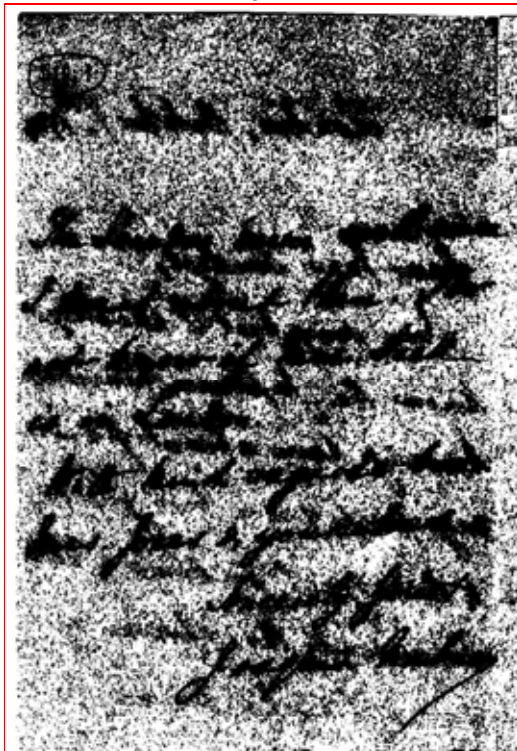
With kind regards to
Mrs. Jones & yourselves

Sincerely yours
Joaquin Kabuco

Novo algoritmo



Mello-Lins



Pun

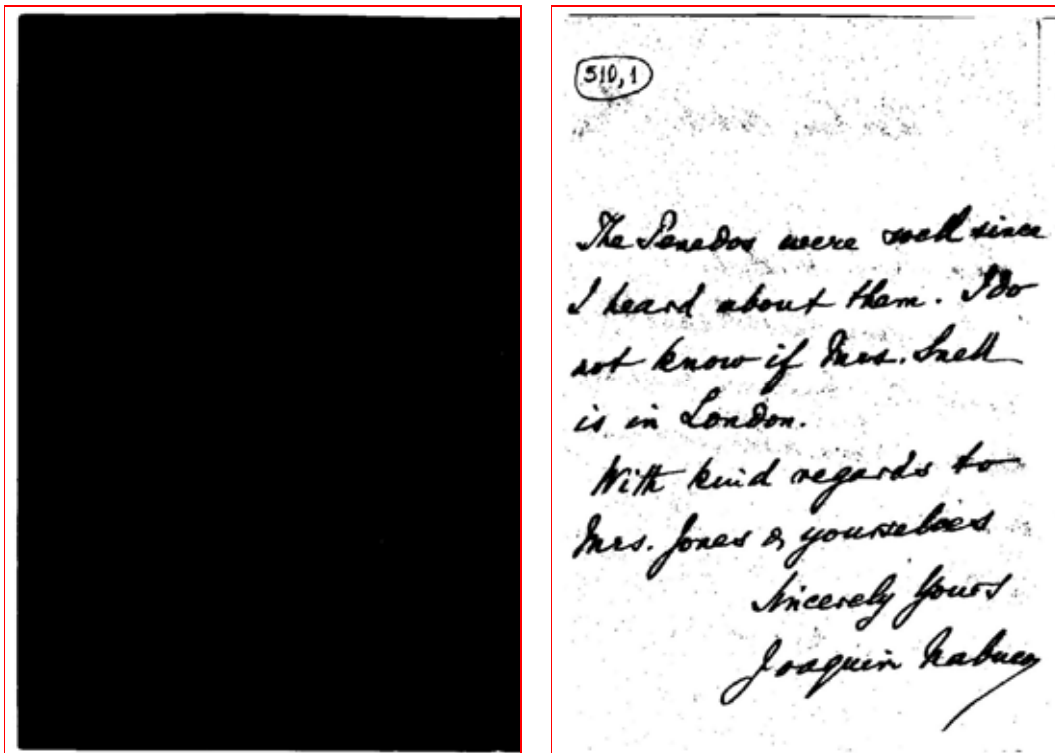
510,1

The Senados were well since
I heard about them. I do
not know if Mrs. Bell
is in London.

With kind regards to
Mrs. Jones & yourselves

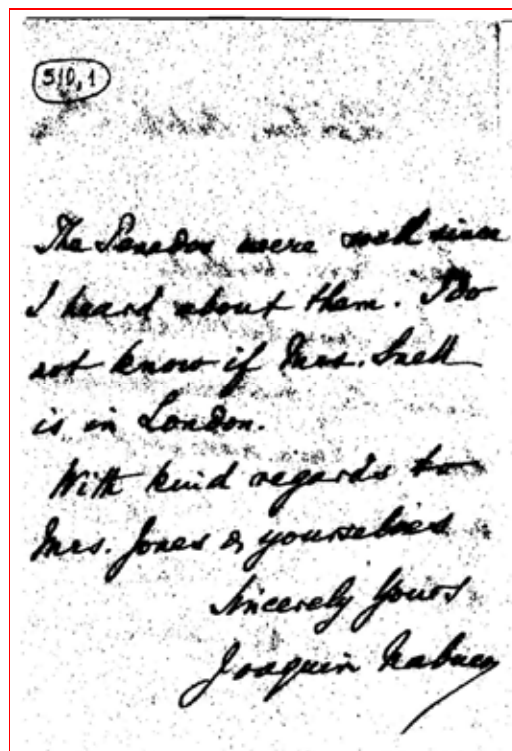
Sincerely yours
Joaquin Kabuco

Kapur-Sahoo-Wong



Johannsen-Bille

Yen-Chang-Chang



Otsu

Figura A1.10 – Imagens do documento 510,1 do acervo de Joaquim Nabuco.

Tabela A1.10 – *Dados dos threshold's e PSNR's referentes à Figura A1.10.*

Algoritmo	Threshold	PSNR 1 (dB)	PSNR 2 (dB)
REF. 1	-	-	42
REF. 2	65	42	-
Novo	97	37	37
Mello-Lins	140	25	25
Pun	127	27	27
Kapur-Shoo-Wong	98	37	37
Johannsen-Bille	174	25	24
Yen-Chang-Chang	98	37	37
Otsu	106	34	34

O novo algoritmo e os algoritmos Kapur-Sahoo-Wong e Yen-Chang-Chang obtiveram, neste experimento, um empate. Os dois últimos estão absolutamente empatados, pois geram a mesma imagem em virtude de terem os mesmos limiares. Quanto à eficácia desses algoritmos, eles não removeram completamente a interferência, como mostra que é possível a imagem Referência 2, mas boa parte do texto está legível.

ANEXO 2

Implementações dos Algoritmos Utilizados

Durante a pesquisa houve a necessidade da implementação de alguns algoritmos relacionados à extração de parâmetros e tratamento das imagens. Foi utilizado para todas as implementações o programa MATLAB[®] versão 7.0, pois este tem um suporte para manipulação das matrizes e leitura de imagens que facilita bastante a implementação destes algoritmos.

Neste anexo encontram-se as listagens dos m-files, programas que utilizam uma linguagem particular do MATLAB[®], referente a cada um dos algoritmos utilizados no decorrer do trabalho desta dissertação.

1. GERAÇÃO DA IMAGEM IDEAL

```
clear all
A = imread('imagens\sel\d1221-4.jpg');
I = 0.3*A(:,:,1) + 0.59*A(:,:,2) + 0.11*A(:,:,3);
clear A;
[r,c]=size(I);

% forma mais rápida de sintetizar a imagem binarizada
z = 10;
c_r = z; % fator de clusterização - largura
c_c = z; % fator de clusterização - altura
r1 = floor(r/c_r);
c1 = floor(c/c_c);
for k=0:(c_r-1)
    for l=0:(c_c-1)
        clear I_c;
        I_c = I( k*r1+1:(k+1)*r1 , l*c1+1:(l+1)*c1 );
        for i=1:r1
            for j=1:c1
```

```

                if I_c(i,j)<=41 % t=1..256 e o t(real)=0..255 => t(real) = t - 1
                    Ib_c(i,j)=0;
                else
                    Ib_c(i,j)=255;
                end
            end
        end
    end
    I_ideal( k*r1+1:(k+1)*r1 , l*c1+1:(l+1)*c1 ) = Ib_c;
end
end

%imview(I,'InitialMagnification','fit');
imview(I_ideal,'InitialMagnification','fit');
%%}

```

2. NOVO ALGORITMO

```

clear all
A = imread('imagens\sel\d1126-2.jpg');
I = 0.3*A(:,:,1) + 0.59*A(:,:,2) + 0.11*A(:,:,3);
clear A;
[pontos,cor] = imhist(I);
[r,c]=size(I);
N = r*c;
p = pontos/N;

H = 0;
for t=1:256
    if (p(t) ~= 0)
        H = -p(t)*log2(p(t))/log2(256) + H;
    end

    P(t) = sum(p(1:t));
    if P(t)<=0.5
        if (P(t) == 0 || P(t) == 1)
            h(t) = 0;
        else
            h(t) = -P(t)*log2(P(t)) - (1-P(t))*log2(1-P(t)); %entropia da imagem binarizada
        end
    end
end
end

if H < 0.7
    alfa = (-3/7)*H + 0.8;
else
    alfa = H - 0.2;
end
end
[aux,t] = min(abs(h/H-alfa));
threshod_j2 = t-1,H,alfa

```



```

%%{
% forma mais rápida de sintetizar a imagem binarizada
z = 10;
c_r = z; % fator de clusterização - largura
c_c = z; % fator de clusterização - altura
r1 = floor(r/c_r);
c1 = floor(c/c_c);
for k=0:(c_r-1)
    for l=0:(c_c-1)
        clear I_c;
        I_c = I( k*r1+1:(k+1)*r1 , l*c1+1:(l+1)*c1 );
        for i=1:r1
            for j=1:c1
                if I_c(i,j)<=t-1 % t=1..256 e o t(real)=0..255 => t(real) = t - 1
                    Ib_c(i,j)=0;
                else
                    Ib_c(i,j)=255;
                end
            end
        end
        I_j2( k*r1+1:(k+1)*r1 , l*c1+1:(l+1)*c1 ) = Ib_c;
    end
end
end
%imview(I,'InitialMagnification','fit');
imview(I_j2,'InitialMagnification','fit');
%%}

```

3. ALGORITMO MELLO-LINS

```

clear all
A = imread('imagens\sel\d1126-2.jpg');
I = 0.3*A(:,:,1) + 0.59*A(:,:,2) + 0.11*A(:,:,3);
clear A;
[pontos,cor] = imhist(I);
[r,c]=size(I);
N = r*c;
p = pontos/N;
[aux1,t1] = max(pontos);

base = N;

pb = p(1:t1);
pw = p(t1+1:256);

Hb = 0;
for i=1:t1
    if pb(i) ~= 0
        Hb = -pb(i)*log2(pb(i))/log2(base) + Hb;
    end
end
end

```

```

Hw = 0;
for i=1:(256-t1)
    if pw(i) ~= 0
        Hw = -pw(i)*log2(pw(i))/log2(base) + Hw;
    end
end

H = Hb + Hw;
if H <= 0.25
    t = floor((2*Hw + 3*Hb)*256);
elseif (H > 0.25) && (H < 0.3)
    t = floor((1*Hw + 2.6*Hb)*256);
else
    t = floor(H*256);
end
threshold_carlos = t-1
%%{
z = 10;
c_r = z; % fator de clusterização - largura
c_c = z; % fator de clusterização - altura
r1 = floor(r/c_r);
c1 = floor(c/c_c);
for k=0:(c_r-1)
    for l=0:(c_c-1)
        clear I_c;
        I_c = I( k*r1+1:(k+1)*r1 , l*c1+1:(l+1)*c1 );
        for i=1:r1
            for j=1:c1
                if I_c(i,j)<=t-1 % t=1..256 e o t(real)=0..255 => t(real) = t - 1
                    Ib_c(i,j)=0;
                else
                    Ib_c(i,j)=255;
                end
            end
        end
        I_carlos( k*r1+1:(k+1)*r1 , l*c1+1:(l+1)*c1 ) = Ib_c;
    end
end
end
%imview(Ib,'InitialMagnification','fit');
imview(I_carlos,'InitialMagnification','fit');
%%}

```

4. ALGORITMO PUN

```

clear all
A = imread('imagens\s1\d1126-2.jpg');
I = 0.3*A(:,:,1) + 0.59*A(:,:,2) + 0.11*A(:,:,3);
clear A;
[pontos,cor] = imhist(I);

```

```

[r,c]=size(I);
N = r*c;
p = pontos/N;

for t=1:255
    Pt = sum(p(1:t));
    pb = p(1:t);
    pw = p(t+1:256);

    Hb(t) = 0;
    for i=1:t
        if pb(i) ~= 0
            Hb(t) = -pb(i)*log2(pb(i)) + Hb(t);
        end
    end

    Hw(t) = 0;
    for i=1:(256-t)
        if pw(i) ~= 0
            Hw(t) = -pw(i)*log2(pw(i)) + Hw(t);
        end
    end

    end
    if (Pt == 0 || Pt == 1)
        Fe(t) = 0;
    else
        alfa(t) = Hb(t)/(Hb(t)+Hw(t));
        Fe(t) = alfa(t)*log2(Pt)/log2(max(pb)) + (1-alfa(t))*log2(1-Pt)/log2(max(pw));
    end
end

end
[Fmax,t] = max(Fe);
threshod_pun = t-1
%%{
% forma mais rápida de sintetizar a imagem binariazada
z = 10;
c_r = z; % fator de clusterização - largura
c_c = z; % fator de clusterização - altura
r1 = floor(r/c_r);
c1 = floor(c/c_c);
for k=0:(c_r-1)
    for l=0:(c_c-1)
        clear I_c;
        I_c = I( k*r1+1:(k+1)*r1 , l*c1+1:(l+1)*c1 );
        for i=1:r1
            for j=1:c1
                if I_c(i,j)<=t-1 % t=1..256 e o t(real)=0..255 => t(real) = t - 1
                    Ib_c(i,j)=0;
                else
                    Ib_c(i,j)=255;
                end
            end
        end
    end
end
end

```

```

        end
        I_pun( k*r1+1:(k+1)*r1 , l*c1+1:(l+1)*c1 ) = Ib_c;
    end
end
%imview(I,'InitialMagnification','fit');
imview(I_pun,'InitialMagnification','fit');
%%}

```

5. ALGORITMO KAPUR-SHOO-WONG

```

clear all
A = imread('imagens\sel\d1126-2.jpg');
I = 0.3*A(:, :, 1) + 0.59*A(:, :, 2) + 0.11*A(:, :, 3);
clear A;
[pontos, cor] = imhist(I);
[r, c] = size(I);
N = r*c;
p = pontos/N;

for t=1:256
    Pt = sum(p(1:t));

    if Pt == 0
        pb(1:t) = 0;
    else
        pb = p(1:t)/Pt;
    end

    if Pt == 1
        pw(1:(256-t)) = 0;
    else
        pw = p(t+1:256)/(1-Pt);
    end

    Hb(t) = 0;
    for i=1:t
        if pb(i) ~= 0
            Hb(t) = -pb(i)*log2(pb(i)) + Hb(t);
        end
    end

    Hw(t) = 0;
    for i=1:(256-t)
        if pw(i) ~= 0
            Hw(t) = -pw(i)*log2(pw(i)) + Hw(t);
        end
    end

    end
end
H = Hb + Hw;
[Hmax, t] = max(H);

```

```

threshod_kapur = t-1
%%{
% forma mais rápida de sintetizar a imagem binarizada
z = 10;
c_r = z; % fator de clusterização - largura
c_c = z; % fator de clusterização - altura
r1 = floor(r/c_r);
c1 = floor(c/c_c);
for k=0:(c_r-1)
    for l=0:(c_c-1)
        clear I_c;
        I_c = I( k*r1+1:(k+1)*r1 , l*c1+1:(l+1)*c1 );
        for i=1:r1
            for j=1:c1
                if I_c(i,j)<=t-1 % t=1..256 e o t(real)=0..255 => t(real) = t - 1
                    Ib_c(i,j)=0;
                else
                    Ib_c(i,j)=255;
                end
            end
        end
        I_kapur( k*r1+1:(k+1)*r1 , l*c1+1:(l+1)*c1 ) = Ib_c;
    end
end
end
%imview(I,'InitialMagnification','fit');
imview(I_kapur,'InitialMagnification','fit');
%%}

```

6. ALGORITMO JOHANNSEN-BILLE

```

clear all
A = imread('imagens\sel\d1126-2.jpg');
I = 0.3*A(:,:,1) + 0.59*A(:,:,2) + 0.11*A(:,:,3);
clear A;
[pontos,cor] = imhist(I);
[r,c]=size(I);
N = r*c;
p = pontos/N;

for t=1:256
    Pt = sum(p(1:t));
    Pt1 = sum(p(t:256));
    if Pt==p(t) || p(t)==0
        Sb(t) = 3; % S é no máximo 2
    else
        Sb(t) = -(p(t)/Pt)*log2(p(t)/Pt) - (1-p(t)/Pt)*log2(1-p(t)/Pt);
    end

    if Pt1==p(t) || p(t)==0
        Sw(t) = 3; % S é no máximo 2
    end
end

```

```

else
    Sw(t) = -(p(t)/Pt1)*log2(p(t)/Pt1) - (1-p(t)/Pt1)*log2(1-p(t)/Pt1);
end
end
S = Sb + Sw;
[Smim,t] = min(S);
threshold_johannsen = t-1
%%{
% forma mais rápida de sintetizar a imagem binarizada
z = 10;
c_r = z; % fator de clusterização - largura
c_c = z; % fator de clusterização - altura
r1 = floor(r/c_r);
c1 = floor(c/c_c);
for k=0:(c_r-1)
    for l=0:(c_c-1)
        clear I_c;
        I_c = I( k*r1+1:(k+1)*r1 , l*c1+1:(l+1)*c1 );
        for i=1:r1
            for j=1:c1
                if I_c(i,j)<=t-1 % t=1..256 e o t(real)=0..255 => t(real) = t - 1
                    Ib_c(i,j)=0;
                else
                    Ib_c(i,j)=255;
                end
            end
        end
        I_johannsen( k*r1+1:(k+1)*r1 , l*c1+1:(l+1)*c1 ) = Ib_c;
    end
end
end
%imview(I,'InitialMagnification','fit');
imview(I_johannsen,'InitialMagnification','fit');
%%}

```

7. ALGORITMO YEN-CHANG-CHANG

```

clear all
A = imread('imagens\sel\d1126-2.jpg');
I = 0.3*A(:,:,1) + 0.59*A(:,:,2) + 0.11*A(:,:,3);
clear A;
[pontos,cor] = imhist(I);
[r,c]=size(I);
N = r*c;
p = pontos/N;

for t=1:256
    Pt = sum(p(1:t));

    if Pt == 0
        pb(1:t) = 0;
    end
end

```

```

else
    pb = p(1:t)/Pt;
end

if Pt == 1
    pw(1:(256-t)) = 0;
else
    pw = p(t+1:256)/(1-Pt);
end

somab(t) = 0;
for i=1:t
    somab(t) = (pb(i))^2 + somab(t);
end
if somab(t) ~= 0
    Cb(t) = -log2(somab(t));
else
    Cb(t) = 0;
end

somaw(t) = 0;
for i=1:(256-t)
    somaw(t) = (pw(i))^2 + somaw(t);
end
if somaw(t) ~= 0
    Cw(t) = -log2(somaw(t));
else
    Cw(t) = 0;
end

TC(t) = Cb(t) + Cw(t);
end
[TCmax,t] = max(TC);
threshod_yen = t-1

%%{
% forma mais rápida de sintetizar a imagem binarizada
z = 10;
c_r = z; % fator de clusterização - largura
c_c = z; % fator de clusterização - altura
r1 = floor(r/c_r);
c1 = floor(c/c_c);
for k=0:(c_r-1)
    for l=0:(c_c-1)
        clear I_c;
        I_c = I( k*r1+1:(k+1)*r1 , l*c1+1:(l+1)*c1 );
        for i=1:r1
            for j=1:c1
                if I_c(i,j)<=t-1 % t=1..256 e o t(real)=0..255 => t(real) = t - 1
                    Ib_c(i,j)=0;
                end
            end
        end
    end
end

```

```

                else
                    Ib_c(i,j)=255;
                end
            end
        end
    end
    I_yen( k*r1+1:(k+1)*r1 , l*c1+1:(l+1)*c1 ) = Ib_c;
end
end
%imview(I,'InitialMagnification','fit');
imview(I_yen,'InitialMagnification','fit');
%%}

```

8. ALGORITMO OTSU

```

clear
A = imread('imagens\sel\d1126-2.jpg');
I = 0.3*A(:,:,1) + 0.59*A(:,:,2) + 0.11*A(:,:,3);
clear A;
[pontos,cor] = imhist(I);
[r,c]=size(I);
N = r*c;
p = pontos/N;

for t=1:255
    Pt = sum(p(1:t)); % como o argumento nao pode ser zero o limiar "t" = t-1

    mb = 0;
    for i=0:t-1
        mb = i*p(i+1) + mb;
    end
    varb = 0;
    for i=0:t-1
        varb = ((i-mb)^2)*p(i+1) + varb;
    end

    mw = 0;
    for i=t:255
        mw = i*p(i+1) + mw;
    end
    varw = 0;
    for i=t:255
        varw = ((i-mw)^2)*p(i+1) + varw;
    end

    eta(t) = (Pt*(1-Pt)*((mb-mw)^2)) / (Pt*varb + (1-Pt)*varw);
end

[aux,t] = max(eta);
threshod_otsu = t-1
%%{

```



```

% forma mais rápida de sintetizar a imagem binarizada
z = 10;
c_r = z; % fator de clusterização - largura
c_c = z; % fator de clusterização - altura
r1 = floor(r/c_r);
c1 = floor(c/c_c);
for k=0:(c_r-1)
    for l=0:(c_c-1)
        clear I_c;
        I_c = I( k*r1+1:(k+1)*r1 , l*c1+1:(l+1)*c1 );
        for i=1:r1
            for j=1:c1
                if I_c(i,j)<=t-1 % não é menor ou igual pelo fato de t=1..256 e o
t(real)=0..255
                    Ib_c(i,j)=0;
                else
                    Ib_c(i,j)=255;
                end
            end
        end
        I_otstu( k*r1+1:(k+1)*r1 , l*c1+1:(l+1)*c1 ) = Ib_c;
    end
end
end
%imview(I,'InitialMagnification','fit');
imview(I_otstu,'InitialMagnification','fit');
%%}

```

9. CÁLCULO DO PSNR

```

clear all
%{
I_ideal      = imread('imagens\sel\d1221-4_ideal.jpg');
I_j2         = imread('imagens\sel\d1221-4_j2.jpg');
I_carlos     = imread('imagens\sel\d1221-4_carlos.jpg');
I_pun       = imread('imagens\sel\d1221-4_pun.jpg');
I_kapur     = imread('imagens\sel\d1221-4_kapur.jpg');
I_johannsen = imread('imagens\sel\d1221-4_johannsen.jpg');
I_yen       = imread('imagens\sel\d1221-4_yen.jpg');
I_otstu     = imread('imagens\sel\d1221-4_otstu.jpg');

[r,c]=size(I_ideal);
N = r*c;

PSNR_j2      = 20*log10(255/(sum(sum((I_ideal-I_j2).^2))/N).^0.5)
PSNR_carlos  = 20*log10(255/(sum(sum((I_ideal-I_carlos).^2))/N).^0.5)
PSNR_pun     = 20*log10(255/(sum(sum((I_ideal-I_pun).^2))/N).^0.5)
PSNR_kapur   = 20*log10(255/(sum(sum((I_ideal-I_kapur).^2))/N).^0.5)
PSNR_johannsen = 20*log10(255/(sum(sum((I_ideal-I_johannsen).^2))/N).^0.5)
PSNR_yen     = 20*log10(255/(sum(sum((I_ideal-I_yen).^2))/N).^0.5)
PSNR_otstu   = 20*log10(255/(sum(sum((I_ideal-I_otstu).^2))/N).^0.5)

```

```
%}  
  
I_carlos      = imread('imagens\sel\desvant_carlos.jpg');  
I_carlos_esc  = imread('imagens\sel\desvant_escurecido_carlos.jpg');  
I_j2         = imread('imagens\sel\desvant_j2.jpg');  
I_j2_esc     = imread('imagens\sel\desvant_escurecido_j2.jpg');  
  
[r,c]=size(I_j2);  
N = r*c;  
  
PSNR_carlos  = 20*log10(255/(sum(sum((I_carlos-I_carlos_esc).^2))/N).^0.5)  
PSNR_j2      = 20*log10(255/(sum(sum((I_j2-I_j2_esc).^2))/N).^0.5)
```