

Detecção Automática de Presença de Assinatura em Protocolos de Recebimento de Reaviso de Distribuidora de Energia Elétrica

Jordan B. Rodrigues*, Italo F. S. Silva*, Stefano W. P. Pontes*, Aristófanés C. Silva*,
João Dallyson S. Almeida*, Geraldo Braz Junior*, Anselmo Cardoso de Paiva*, Bruno Rodrigues Froz†
*Núcleo de Computação Aplicada - Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
Av. dos Portugueses, 1966, Bacanga - CEP 65080-805, São Luís, Maranhão
Email: {jordanboaz14, francyles06, stefanowalkerpontes}@gmail.com, ari@dee.ufma.br, joao.dallyson@ufma.br,
geraldobraz@ufma.br, paiva@deinf.ufma.br, bfroz63@gmail.com

Abstract—Power Company delivers to its clients a document called a warning receipt protocol, which must be signed. With the purpose of analyzing the availability of automatic signatures detection in these documents, this article presents a methodology only based on image processing capable of accomplishing this task. A combination of processes inspired by mathematical morphology and analytic geometry is used to determine regions of interest. The task of classification is performed using a technique based on connected components detection. The method obtained 96.96% accuracy, 95.65% sensitivity and 100% specificity.

Resumo—As Distribuidoras de Energia Elétrica geralmente entregam a seus clientes um documento chamado protocolo de recebimento de reaviso, o qual precisa ser assinado. Com o propósito de analisar a viabilidade da detecção automática de assinaturas nesses documentos, este artigo apresenta uma metodologia baseada em processamento de imagens capaz de realizar esta tarefa. Utiliza-se uma combinação de processos inspirados em morfologia matemática e geometria analítica a fim de determinar regiões de interesse; e realiza-se a classificação através de uma técnica baseada em detecção de componentes conectados. O método obteve 96,96% de acurácia, 95,65% de sensibilidade e 100% de especificidade.

I. INTRODUÇÃO

As distribuidoras de Energia Elétrica, assim como outras empresas, costumam informar aos clientes com pendências de pagamento que o serviço de fornecimento será interrompido caso não estejam quites com a empresa. Entrega-se ao cliente um documento que formaliza a notificação, chamado de protocolo. Este precisa ser assinado, indicando que o assinante está ciente e se responsabiliza por toda a informação ali representada. Com base nisso, foi proposto um estudo da viabilidade de detectar automaticamente a presença de assinatura em protocolos.

É necessário destacar que já existem sistemas digitais que são responsáveis por adquirir assinaturas e fazer toda a verificação de sua veracidade, sendo alguns desses sistemas apresentados em [1], [2], [3], [4] e [5]. Porém, em um cenário mais realista, muitas empresas não estão interessadas em investir o grande valor que esses sistemas requerem para atacar este problema. A utilização de assinaturas em papel impresso ainda é muito presente no dia a dia, e exemplos disso são

documentos como cheques bancários, formulários, boletos, faturas. Um sistema mais simplificado, que utilize poucos recursos, como até mesmo o próprio celular de funcionários, para identificar a presença de assinaturas nesses tipos de documento economizaria o capital de investimento de várias empresas, um recurso essencial para seu funcionamento.

Contudo, a detecção de assinaturas é passível de dificuldades, tanto em relação à aquisição das imagens como à manipulação dos documentos. Casos em que o documento esteja deformado ou rasurado podem levar os métodos de detecção a produzirem resultados errôneos mesmo quando não há assinaturas. Erros na aquisição das imagens, como distorções, perda de foco, iluminação irregular também aumentam as possibilidades de falha na detecção.

Sabe-se que a assinatura é uma importante identificação biométrica humana. O seu extenso uso e a relevância tem impulsionado o desenvolvimento de trabalhos que visam automatizar sua detecção e reconhecimento em documentos, combatendo também as dificuldades citadas anteriormente. Em [1] e [2] encontram-se dois trabalhos relevantes sobre detecção de assinaturas. Há também outras propostas para encontrar assinatura em documentos, porém requerem que este seja digitalizado. A proposta apresentada em [3] necessita de informações *a priori* sobre o layout do documento para definir o tamanho da janela de recorte da área da assinatura. De forma diferente, em [4] utiliza-se os conceitos de filiformidade para aplicar processos de limiarização capazes de preservar os contornos da assinatura. O método aplicado em [5] utiliza a técnicas sistemas digitais Features (SURF) para distinguir caracteres impressos de manuscritos (assinatura). Alia este processo ao aprendizado de máquina via K-Nearest Neighbors.

O presente trabalho, portanto, apresenta a proposta de um método capaz de, a partir da imagem de um protocolo e com a aplicação de técnicas de processamento de imagens digitais, identificar quando o protocolo está assinado ou não.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: A Seção II apresenta em detalhes sobre o processo de aquisição das imagens. A Seção III explica as etapas do método desenvol-

vido para a detecção da presença de assinatura. A Seção IV aponta e discute os resultados obtidos com os experimentos. Finalmente, a Seção V apresenta as conclusões sobre a proposta e também propõe formas de melhorá-la em trabalhos futuros.

II. AQUISIÇÃO DA BASE DE IMAGENS

Como não é conhecida a existência de bases de imagem para esse tipo específico de problema, foi necessário a construção de uma base por parte dos próprios pesquisadores deste trabalho. Os papéis de protocolo foram confeccionados através de editor de texto e depois impressos, seguindo medidas semelhantes aos protocolos de entrega de reaviso utilizados por empresas de distribuição de energia elétrica. A Figura 1 mostra uma imagem de protocolo confeccionado para este estudo.

PROTOCOLO DE ENTREGA DE REAVISO		V: [1.0.56.0]
Numero da Instalacao: 0001488763	Total do Debito: 347.21	
Nome do Cliente: CARLOS CIDADAO DE SOUZA		
Endereco: AV DOS HOLANDESES 111 QD BB PERTO DO RESTAURANTE BOM SABOR -MA		
Localidade: SAO LUIS		
Data de Entrega: _____		Assinatura do Cliente _____

Figura 1. Modelo de protocolo de Entrega de Reaviso.



Figura 2. Amostra de imagens da Base 1 (A) e Base 2 (B)

Foram gerados, então, dois repositórios de imagens de protocolos nomeados por Base 1 e Base 2, contendo imagens no formato JPEG [6]. Cada um desses dois repositórios contém imagens de protocolos com e sem assinatura. A Tabela I apresenta mais detalhes sobre as quantidades para cada classe de imagem em cada repositório.

As imagens da Base 1 possuem fundo de tonalidade escura, em contraste com o branco do protocolo, e este encontra-se predominantemente na horizontal, com pouca rotação. As imagens da Base 2, entretanto, foram capturadas com diferentes condições de luminosidade, orientação do documento e distância em relação à câmera, aproximando-se mais de uma situação real onde não se tem controle absoluto quanto a esses fatores. Exemplo de imagem das Bases 1 e 2 são apresentados na Figura 2.

Muitas condições podem afetar a eficácia da detecção da assinatura, dentre elas podemos citar a nitidez da imagem, a distância do papel, a luminosidade, o contraste entre o papel

Tabela I
DETALHES SOBRE AS BASES DE IMAGENS

	Base 1	Base 2
Protocolos assinados	46	161
Protocolos não assinados	20	61
Total	66	222

e o fundo, a obstrução do campo de assinatura, etc. Considerando esses fatores, foi necessário seguir um conjunto de recomendações que foram utilizadas na aquisição das imagens para que os resultados fossem alcançados de forma satisfatória. As mais importantes recomendações são: a imagem deve estar em formato paisagem; o papel do protocolo deve ter orientação próxima à horizontal, sem muita inclinação; o protocolo deve estar o mais próximo possível da câmera, desde que toda a área do protocolo esteja contida na imagem; deve-se evitar que o papel fique dobrado ou curvado demais; o fundo da imagem deve possuir tonalidade diferente à do papel; o protocolo deve estar destacado do restante da conta de energia; a região da assinatura não deve estar obstruída.

As imagens foram adquiridas através de câmeras de diversos modelos de *smartphones* que produzem imagens de formatos que variam de 3264 x 2448 pixels (8 Mpx) até 4128 x 3096 pixels (13 Mpx). No intuito de reduzir o custo computacional e processar imagens de resolução relativamente próximas, as imagens tiveram altura redimensionada para 500 pixels e sua largura é redimensionada proporcionalmente a altura original.

III. METODOLOGIA

Esta seção apresenta os procedimentos realizados e informações sobre a base de imagens, bem como as demais tecnologias utilizadas no desenvolvimento do método proposto no presente trabalho.

A metodologia proposta para esse trabalho consiste em 4 etapas consecutivas: (1) segmentação do protocolo, (2) recorte da região do papel em que se encontra o campo de assinatura e correção da orientação, (3) detecção de componentes e prováveis assinaturas e (4) classificação das regiões encontradas. Cada uma será descrita nas subseções a seguir.

A. Segmentação do Protocolo

O objetivo desta primeira etapa é encontrar na imagem a provável localização do protocolo. Na captura da imagem, é esperado que não se consiga isolar somente o conteúdo do documento, logo, a imagem poderá conter informações externas ao protocolo, como, por exemplo, objetos no fundo. Esses detalhes precisam, portanto, ser amenizados.

A técnica escolhida para a segmentação do protocolo é baseada no crescimento de regiões e chamada de Watershed [7]. O protocolo é caracterizado, na imagem, por uma região bem definida de cor branca, com certa retangularidade. No entanto, esta última característica pode sofrer algumas distorções de acordo com a forma em que a pessoa segura o documento durante a captura da imagem. Esse fator contribuiu para a escolha do Watershed em detrimento de outras técnicas baseadas em detecção de formas geométricas. E para que esta técnica

fosse aplicável a todas as imagens foi necessário seguir as recomendações, mencionadas na Seção II, para que a aquisição das imagens não apresentasse aspectos que desfavorecessem o Watershed.

A execução do Watershed depende da escolha de pontos na imagem (sementes) a partir dos quais acontecerá o crescimento das regiões. No presente trabalho, são realizados os seguintes procedimentos para a escolha das sementes: inicialmente, a imagem é melhorada a partir da aplicação de uma suavização Gaussiana [8]. A seguir, suas bordas são encontradas por meio do gradiente morfológico. Com a imagem parcial resultante, utiliza-se a limiarização de Otsu [9] e então aplica-se o processo morfológico de erosão para manter somente linhas horizontais. Em seguida, a Transformada de Hough Probabilística [10] será utilizada para que se possa detectar retas e também definir, para cada reta, quais seus pontos iniciais e finais. De posse destes pontos, calcula-se o centroide. Ele, portanto, é escolhido como a semente responsável por definir a região do protocolo. Para a região externa, define-se dois pontos, com mesma coordenada X do centroide, porém um no topo da imagem, e o outro na parte inferior. A Figura 3 mostra o resultado desta fase de segmentação após a realização dos procedimentos supracitados. Em (1) está a imagem original. Em (2), visualiza-se as sementes definidas. Em seguida (3), aplica-se a técnica watershed e obtêm-se três regiões (coloridas para fins de ilustração). Cria-se uma máscara evidenciando a região do protocolo (4) e, por fim, obtêm-se a região de interesse (5).



Figura 3. Processo de segmentação do protocolo.

Com a definição das sementes e a execução do watershed, a imagem é dividida em três regiões, sendo que uma corresponde ao protocolo e as demais ao fundo. Para recuperar somente a região de interesse, cria-se uma máscara que delimita a região do protocolo em detrimento das demais. Esta máscara é, portanto, aplicada à imagem original. Como visto no passo 5, as imagens resultantes deste processo caracterizam-se pela

região do protocolo e o fundo preto. Por conseguinte, serão submetidas aos procedimentos de correção de orientação e recorte da região da assinatura.

B. Correção de orientação e recorte

O propósito desta etapa é recortar a imagem original para que as etapas posteriores trabalhem apenas com a região segmentada em uma boa orientação.

Para corrigir a rotação do papel, utiliza-se a máscara obtida na etapa anterior e cria-se um retângulo de tamanho mínimo que englobe todos os *pixels* da máscara. Este retângulo é caracterizado por ser similar ao formato do protocolo, salvo quando este apresentar dobras em seus cantos no momento da aquisição. A partir da observação do ângulo de rotação deste retângulo, é possível realizar a rotação inversa do ângulo em toda a imagem de modo para que suas bases fiquem paralelas ao plano cartesiano.

Com a imagem original rotacionada, recorta-se a região do retângulo que envolve a máscara para que se possa trabalhar somente com a área do papel. Como é de conhecimento que o papel é um documento padrão e que a região da assinatura fica sempre no seu canto inferior esquerdo, a imagem resultante do recorte é novamente dividida, em quatro quadrantes, e é mantida apenas a região de interesse, que contém o campo da assinatura, que se encontra no quarto quadrante. As próximas etapas utilizarão somente a região de interesse aqui obtida. A Figura 4 exemplifica uma região de interesse.

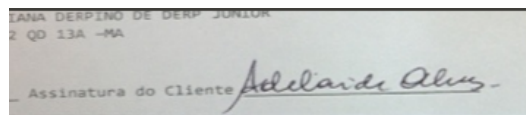


Figura 4. Quarto quadrante do retângulo que envolve a região de interesse.

C. Detecção de Componentes

As etapas anteriores focaram em reduzir ao máximo o espaço de busca da assinatura. A etapa atual avalia os elementos que ainda restaram na região delimitada (Seção III-B) para filtrar aqueles que podem ser assinaturas.

O primeiro passo desta fase é a detecção de bordas. Deseja-se reduzir a quantidade de informação contida na imagem ao simplificar todos os elementos que restaram para uma linha delgada indicando a localização de sua borda. Essas bordas são obtidas pela utilização do detector de bordas de Canny [11], cujos parâmetros foram definidos empiricamente. A Figura 5 apresenta o resultado da simplificação da mesma imagem apresentada na Figura 4.



Figura 5. Simplificação da informação na imagem utilizando o detector de bordas de Canny.

Mesmo com a simplificação, a quantidade de informação presente na imagem ainda é vasta e não é possível classificar cada um dos elementos ainda restantes. Tendo isso em vista, utiliza-se o algoritmo de componentes conectados [12] com o objetivo de manter apenas os elementos mais relevantes. Este algoritmo rotula cada um dos contornos que estão conectados em um único grupo. Pode-se, então, realizar a contagem de pixels que cada grupo possui. A partir de testes realizados, observou-se que os maiores grupos eram sempre aqueles que abrangiam as assinaturas (geralmente nome e sobrenome) e a linha horizontal, onde o cliente deveria assinar. Dessa forma, definiu-se que o algoritmo de componentes conectados sempre retornasse somente os três maiores componentes e essa nova imagem seria passada para a próxima etapa, a classificação de assinaturas. Exemplos de todos os componentes em uma imagem e somente os três maiores estão presentes na Figura 6.



Figura 6. A imagem (A) mostra todos os elementos conectados encontrados na imagem de contornos. Já a imagem (B) mostra somente os três grupos que contém a maior quantidade de pixels.

D. Classificação

Após a execução das 3 etapas, descritas nas seções anteriores, todo o problema de identificação de assinaturas foi reduzido a uma simples imagem com três regiões. O passo final é estimar uma métrica que seja capaz de classificar se uma região tem características ou não de uma assinatura.

Inicialmente, realiza-se uma operação de fechamento com o elemento estruturante elíptico [13] de tamanho 3x3 visando uniformizar e conectar os objetos que estão mais próximos. A operação de fechamento, em processamento de imagens, é compreendida por uma dilatação seguida de uma erosão. Dilatação e erosão são operações morfológicas que, com o auxílio de um elemento estruturante, executam testes lógicos em todas as posições possíveis da imagem entre esse elemento e uma porção da imagem correspondente. O resultado destas operações é armazenado em uma imagem de saída. Então, com essa imagem resultante, para cada grupo de pixels conectado, foi criado um retângulo mínimo que o englobe. Desse retângulo, observa-se algumas características descritivas, como: altura, largura e *aspect ratio* (razão entre largura e altura). A partir de uma avaliação empírica, notou-se que as assinaturas normalmente eram representadas por retângulos que apresentava um *aspect ratio* maior que 0.8 e menor que 8 e uma altura e largura maior que 10 pixels, enquanto que os retângulos que apresentam valores diferentes desses são, no geral, ruídos ou a linha de preenchimento do cliente. A

classificação do protocolo quanto à presença de assinatura é dada a partir da utilização desses critérios.

A imagens presentes na Figura 7 apresentam os diferentes contornos encontrados na Figura 6 após a classificação. Os retângulos que estão na cor verde são regiões que não apresentam características de assinatura e os retângulos em azul são os objetos que passaram no critério de classificação e que são classificados como assinaturas.

Não foi utilizada técnica de classificação baseada na cor da assinatura, pois, no cenário do problema em questão, costuma-se aceitar o registro de assinaturas utilizando canetas com tinta de qualquer cor.

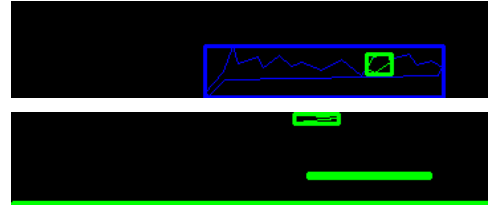


Figura 7. Detecção de assinaturas.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O método de segmentação do protocolo produziu resultados promissores. Os casos de segmentação boa são aqueles em que somente a região do protocolo foi obtida após a aplicação do watershed como descrito na Seção III-A. Considera-se a segmentação como regular quando o processo resulta em uma imagem contendo, além do protocolo, partes do fundo da imagem original. A Figura 8 exemplifica os casos de segmentação boa e regular.

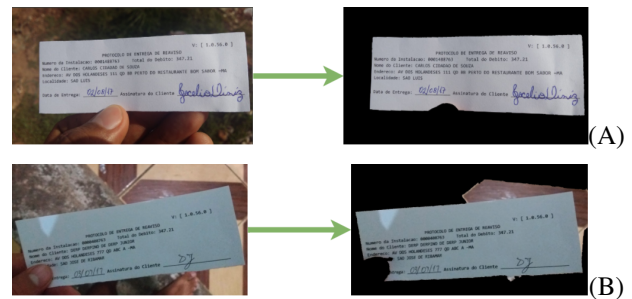


Figura 8. Resultados da segmentação do protocolo. Em (A) tem-se um caso de segmentação boa. Em (B), a segmentação é regular porque a região recuperada não contém somente o protocolo.

A Tabela II mostra a quantidade de imagens segmentadas de forma boa e regular.

Tabela II
RESULTADOS DA SEGMENTAÇÃO

	BASE 1	BASE 2
Segmentação Boa	66	196
Segmentação Regular	0	26
Total	66	222

Considera-se como caso ruim quando a região de interesse segmentada não contém o protocolo. Entretanto, não houve casos deste tipo.

A ocorrência de segmentações regulares na Base 2 se dá por conta das condições variadas sob as quais as imagens foram capturadas, diferente da Base 1, como explicado na Seção III. Nesses casos, as sementes podem assumir posições não satisfatórias para uma boa segmentação ou as variações de tonalidade dos pixels da imagem colaboram para o crescimento exacerbado de algumas regiões em detrimento de outras.

Não obstante os casos regulares, considera-se que a metodologia de segmentação obteve resultados satisfatórios, pois o protocolo sempre está contido na região segmentada.

Com relação à classificação, três medidas de avaliação de resultados foram utilizadas. São elas a Especificidade (E), Sensibilidade (S) e Acurácia (A). Estes são métodos estatísticos comumente utilizados para validar resultados em problemas de classificação.

$$S = \frac{VP}{VP + FN} \quad (1)$$

$$E = \frac{VN}{VN + FP} \quad (2)$$

$$A = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN} \quad (3)$$

Nas Equações 1, 2 e 3, VP e FP correspondem, respectivamente, às quantidades de verdadeiros e falsos positivos. Enquanto que VN e FN relacionam-se, nessa ordem, aos números de verdadeiros e falsos negativos.

A sensibilidade mede a proporção de casos positivos corretamente classificados como positivos, ou seja, imagem de protocolos que estão assinados e que foram classificados corretamente como assinatura.

Já a especificidade avalia a proporção de casos negativos classificados corretamente como casos negativos, ou seja, imagens de protocolo não assinados que foram classificados corretamente como tal. Por fim, a acurácia define a proporção total dos acertos do método de classificação.

A Tabela III apresenta os resultados obtidos pelos testes da metodologia proposta pelo presente trabalho.

Tabela III
RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO

	BASE 1	BASE 2
Acurácia	96,96 %	94,14 %
Sensibilidade	95,65 %	93,78 %
Especificidade	100 %	95,08 %

Com relação às imagens da Base 1, o método proposto conseguiu identificar todos os papéis não assinados (taxa de 100% de acerto), falhando na identificação somente em dois casos de papéis assinados (95,65%). Essas falhas ocorreram devido ao formato e tamanho da assinatura, que se assemelhavam mais a rubricas. Nesses dois casos, a altura era ligeiramente maior que

a largura, enquanto que nos casos classificados corretamente acontece o contrário. Ambos estão apresentados na Figura 9.

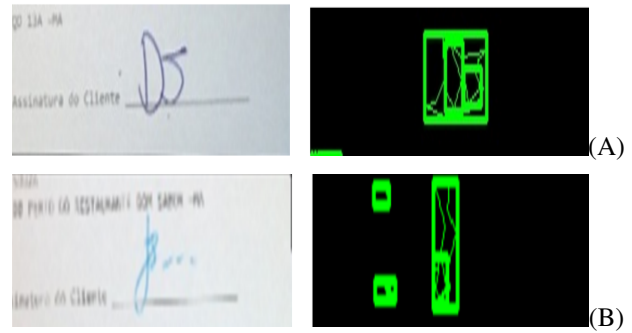


Figura 9. Dois casos de assinaturas da Base 1 que foram classificados de maneira incorreta.

No caso das imagens da Base 2, adquiridas em ambientes diversos, a classificação teve acurácia menor em relação à Base 1. Isso era esperado, pois nesta base há imagens com condições variadas de nitidez, iluminação e orientação. Os casos de protocolos assinados e classificados incorretamente aconteceram por conta de as imagens estarem desfocadas devido à trepidação da câmera, o que impossibilitou a detecção dos contornos da assinatura. Já os casos de falsos positivos ocorreram devido à presença de rasuras na região da assinatura. Exemplos de classificações correta e falha estão presentes na Figura 10.

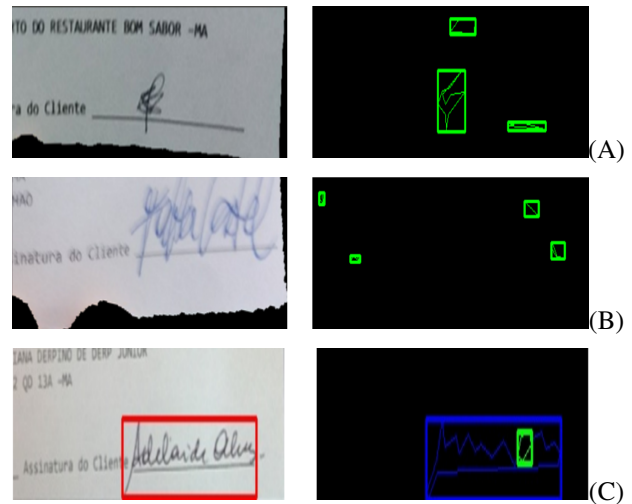


Figura 10. Desempenho do classificador. A Figura (A) demonstra uma situação onde o método falhou na classificação; A Figura (B) representa um caso onde o método falhou pelo fato de a imagem estar muito embaçada; Uma situação na qual o classificador conseguiu encontrar com sucesso a região da assinatura é mostrada em (C).

A Tabela IV apresenta, em números, a matriz de confusão produzida a partir dos testes realizados.

A partir das métricas de avaliação, observa-se, portanto, que o método proposto apresenta desempenho satisfatório.

Tabela IV
ANÁLISE QUANTITATIVA DOS RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO

	BASE 1	BASE 2
VP	44	58
FN	2	3
FP	0	151
VN	20	10
Total	66	222

V. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho, foi proposto um método para a detecção de presença de assinatura em protocolos de recebimento de reaviso baseada em imagens. Dada a captura de uma imagem do protocolo, o método proposto, através das técnicas de processamento de imagens, localiza a região do campo da assinatura e, por fim, identifica se o documento está ou não assinado.

O método proposto pode ser adaptado e ampliado para ser aplicado em outros setores da indústria ou do comércio, principalmente em situações que seja necessário identificar automaticamente, através de imagem, se documentos estão assinados ou não. Por exemplo, detectar assinaturas em: documentos de aviso de recebimento de correspondências, utilizados por empresas de envio e recebimento de correspondências; aviso de cobrança ou desligamento enviado por companhias que fornecem serviços de telefonia ou abastecimento de água; dentre outros.

Ressalta-se que não foram utilizadas técnicas mais robustas e métodos mais avançados do estado da arte. Tal estratégia se justifica pela pretensão de utilizar técnicas baseadas somente em processamento de imagem, excluindo o emprego de algoritmos de aprendizado de máquina. A estratégia aplicada, especificamente ao problema em questão, apresenta a vantagem de produzir software com baixo custo computacional, possibilitando a integração com aplicações para dispositivos móveis.

Os resultados apresentados são satisfatórios e demonstram que uma boa etapa de segmentação é vital para garantir a correta classificação. A utilização de um protocolo bem definido, com um plano de fundo contrastante com a área do papel e uma rotação favorável colaboram para o bom funcionamento da metodologia. Recomenda-se, também, evitar trepidações durante a aquisição da imagem, bem como não rasurar a região da assinatura.

Como trabalhos futuros, pretende-se explorar outras técnicas de melhoramento para realçar e manter as assinaturas; e também buscar alternativas para estimar melhor os parâmetros definidos empiricamente nesta proposta.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Plamondon and S. N. Srihari, "Online and off-line handwriting recognition: a comprehensive survey," *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 22, no. 1, pp. 63–84, 2000.
- [2] D. Impedovo and G. Pirlo, "Automatic signature verification: The state of the art," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 38, no. 5, pp. 609–635, 2008.
- [3] V. K. Madasu, M. H. M. Yusof, M. Hanmandlu, and K. Kubik, "Automatic extraction of signatures from bank cheques and other documents." in *DICTA*, vol. 3, 2003, pp. 591–600.
- [4] S. Djeziri, F. Nouboud, and R. Plamondon, "Extraction of signatures from check background based on a filiformity criterion," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 7, no. 10, pp. 1425–1438, 1998.
- [5] S. Ahmed, M. I. Malik, M. Liwicki, and A. Dengel, "Signature segmentation from document images," in *Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR), 2012 International Conference on*. IEEE, 2012, pp. 425–429.
- [6] E. Hamilton, "Jpeg file interchange format," C-Cube Microsystems, Milpitas, CA, USA, Tech. Rep., 9 1992. [Online]. Available: <http://www.w3.org/Graphics/JPEG/jif3.pdf>
- [7] F. Meyer, "Color image segmentation," in *Image Processing and its Applications, 1992., International Conference on*. IET, 1992, pp. 303–306.
- [8] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital image processing prentice hall," *Upper Saddle River, NJ*, 2002.
- [9] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, vol. 9, no. 1, pp. 62–66, 1979.
- [10] J. Matas, C. Galambos, and J. Kittler, "Robust detection of lines using the progressive probabilistic hough transform," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 78, no. 1, pp. 119–137, 2000.
- [11] J. Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, no. 6, pp. 679–698, 1986.
- [12] H. Samet and M. Tamminen, "Efficient component labeling of images of arbitrary dimension represented by linear bintrees," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 10, no. 4, pp. 579–586, 1988.
- [13] G. Bradski and A. Kaehler, *Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library*. "O'Reilly Media, Inc.", 2008.