

Medição e Validação de Consumo de Energia Elétrica usando Dispositivos Móveis e Processamento de Imagens

Darlan B. P. Quintanilha*, Artur B. S. Reis*, Giovanni L. F. da Silva*, Aristófanés C. Silva*, Anselmo C. de Paiva*, Geraldo Braz Júnior*, João D. S. Almeida*, Eliana M. Monteiro†, Lucas P. A. Pinheiro†, William Melo† Bruno R. Froz†

*Núcleo de Computação Aplicada - Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
São Luís - MA, Brasil

Email: {darlanbpq, arturberna, gioh.lucc}@gmail.com,
{ari@dee.ufma.br, anselmo.paiva, geraldo.braz, joao.dallyson}@ufma.br

†Companhia Energética do Maranhão - CEMAR e Companhia Elétrica do Pará - CELPA
São Luís - MA, Brasil

Email: {eliana.monteiro,lucas.pinheiro,bruno.froz}@cemar-ma.com.br
, willian@nepen.org.br

Resumo—The reading of the consumption of electric energy in Brazil is done manually in the great majority. One of the ways to validate the measurement performed by field readers is through the request of acquisition of images in situations that there is divergence in consumption informed by the reader. However, this validation process in two Brazilian energy companies (CEMAR and CELPA) entails a daily volume of approximately 30 thousand images to be analyzed. In this context, this article presents the SIVAL and SILEM system modules implemented for critical and mobile reading of electricity consumption as a way to improve the process and reduce non-technical losses within the company. The results obtained indicate the automatic processing of 53.82% of all the images arriving in the validation process in addition to the fully automatic mobile imaging in 62.18% of the cases and 83.64% of the cases with The correction of a maximum of 1 digit.

Resumo—A leitura do consumo de energia elétrica no Brasil é realizada manualmente em sua grande maioria. Uma das formas de validar a medição realizada pelos leituristas em campo é através da solicitação de aquisição de imagens em situações que existem divergência no consumo informado pelo leiturista. Entretanto, esse processo de validação em duas companhias energéticas brasileira (CEMAR e CELPA) acarreta um volume diário de aproximadamente 30 mil imagens para serem analisadas. Neste contexto, este artigo apresenta os módulos do sistema SIVAL e SILEM implementados para crítica e leitura móvel do consumo de energia elétrica como uma forma de melhorar o processo e diminuir perdas não técnicas dentro da empresa. Os resultados obtidos indicam o processamento totalmente automático de 53,82% de todas as imagens que chegam no processo de validação além da leitura móvel totalmente automática por imagem em 62,18% dos casos e em 83,64% dos casos com a correção de no máximo 1 dígito.

I. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica no Brasil vem crescendo exponencialmente ao longo dos anos. No setor residencial esse crescimento é justificado por fatores como o aumento

no número de domicílios, cuja previsão é de que passará de 58 milhões em 2009 para cerca de 75 milhões de unidades em 2020, e a posse de equipamentos que também cresce de forma perceptível [1].

O consumo residencial corresponde a cerca de 30% do consumo total de energia elétrica. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [1], as perdas na distribuição é o somatório de perdas técnicas e não técnicas. As perdas técnicas constituem a quantidade de energia elétrica dissipada entre os suprimentos de energia da distribuidora e os pontos de entrega nas instalações das unidades consumidoras ou distribuidoras supridas. Essas perdas ocorrem nos processos de transporte e transformação de tensão, bem como nos equipamentos de medição. As perdas não técnicas ou comerciais são apuradas pela diferença entre as perdas totais e as perdas técnicas, considerando, portanto, todas as demais perdas associadas à distribuição de energia elétrica, tais como furtos de energia, erros de medição, erros no processo de faturamento, unidades consumidoras sem equipamento de medição, etc. Essas perdas estão diretamente associadas à gestão comercial da distribuidora. As perdas não-técnicas são causadas normalmente por problemas relacionados à falta de faturamento da energia distribuída. As causas mais comuns das perdas não técnicas são a inexistência, falha ou falta de aferição de medidores; Erros na leitura dos medidores ou no faturamento das unidades consumidoras; Furto de energia; Fraude no fornecimento ou no sistema de medição de energia.

Dentre os caminhos possíveis para descobrir fraudes ou erros humanos durante a leitura da medição de energia elétrica está o uso de técnicas de processamento de imagens e inteligência computacional, que têm se tornando um aliado importante na melhoria dos índices de sucesso das inspeções e medições de campo. Em geral a leitura do consumo de energia

elétrica de cada unidade consumidora é feita de porta em porta via leitura manual. As companhias distribuidoras de energia elétricas realizam mensalmente a leitura dos caracteres que representam o consumo da unidade consumidora em kilowatt-hora (kWh). Na maioria das vezes, o processo de leitura é realizado manualmente por leituristas, o que pode resultar em erros de leitura e gerar inconsistências.

A Companhia Energética do Maranhão (CEMAR) e as Centrais Elétricas do Pará S.A (CELPA) utilizam um dispositivo móvel e uma impressora portátil para, respectivamente, coletar o consumo e imprimir a fatura dos clientes. Os leituristas normalmente registram no aplicativo do dispositivo móvel o consumo visualizado no medidor. Caso não haja nenhuma inconsistência, a fatura é gerada, impressa e entregue ao cliente no mesmo instante da leitura.

Existem neste processo dois problemas fundamentais. O primeiro problema que se apresenta é a melhoria de produtividade da leitura de modo a minimizar os custos e diminuir a ocorrência de erros no processo. O segundo se refere a erros na leitura. Por exemplo, quando o consumo informado está fora da média de consumo do cliente ou o leiturista não consegue realizar a leitura, é solicitada a aquisição de uma imagem do medidor, capturada a localização geográfica do leiturista com o registro da leitura informada. Este procedimento pode conter falhas, tais como: imagem adquirida sem um medidor, ou imagem presente de medidor diferente do medidor correspondente, etc.

O setor de crítica da concessionária utiliza a imagem adquirida como uma das formas de analisar as inconsistências na leitura. Isto é feito visando evitar erros no consumo cobrado, furtos ou fraudes. Ou seja, busca evitar as perdas não-técnicas. Diariamente, uns volumes médios de 30 mil imagens são capturados e enviados para análise antes de gerar uma fatura para o cliente. Devido a grande quantidade de imagens a serem avaliadas, a auditoria é feita por amostragem. Já a rotina de verificação das faturas que não foram impressas em campo é feita em sua totalidade. Nos casos em que foram encontradas inconsistências com as imagens, a distribuidora necessita enviar um outro leiturista a campo para refazer a leitura ou investigar a situação.

É necessário também o desenvolvimento de métodos automáticos de leitura que possam, por exemplo, indicar o consumo de energia elétrica a partir da imagem do medidor de eletricidade.

Alguns trabalhos têm sido propostos visando a realização da leitura automática do consumo de unidades consumidoras de energia elétrica baseado em imagens. Em geral esses trabalhos realizam a aquisição da imagem fixando uma câmera posicionada à frente do medidor, focando a região dos dígitos do equipamento e em seguida, utilizam técnicas de processamento de imagens e aprendizado de máquina para realizar o reconhecimento dos dígitos da região de leitura [2], [3]. Uma outra abordagem para a leitura automática do consumo é proposta com base na utilização de medidores inteligentes. Medidores inteligentes são equipamentos que realizam a leitura e as enviam automaticamente via rede de dados (SMS, GSM, PLC

ou wireless) [4], [5].

Neste contexto, este artigo descreve o desenvolvimento de um projeto para atender às demandas de auditoria de leituras de consumo de energia elétrica de usuários domésticos e de leitura automática dos valores dos medidores elétricos a partir de imagens. Apresenta-se, portanto, o desenvolvimento de duas ferramentas computacionais, os sistemas SILEM (Sistema de Leitura da Medição) e SIVAL (Sistema de Validação de Leituras) em desenvolvimento no âmbito de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento CEMAR / CELPA (ANEEL PD-00371-0029 / 2016), executado pelo Grupo de Computação Aplicada NCA-UFMA da Universidade Federal do Maranhão.

II. SISTEMA DE VALIDAÇÃO DE LEITURAS - SIVAL

O escopo do sistema SIVAL engloba as necessidades de revisão crítica de um grande volume de imagens de medidores coletados em campo. A revisão crítica dessas imagens é um processo de validação realizado continuamente como mecanismo de acompanhamento do serviço realizado pelos técnicos que coletam as medições onde se desempenham as tarefas de analisar se o valor aferido corresponde ao valor de medição apresentado na imagem e acompanhar os serviços prestados no sentido de checar se estão sendo coletadas imagens corretamente e de maneira contínua.

O SIVAL tem como objetivo promover mecanismos automáticos de avaliação das imagens dos medidos com a finalidade de obter a medição da imagem, comparar com as informações presentes nas bases de dados da CEMAR/CELPA e quando houver alguma discordância, sinalizar para o gestor quais imagens devem ser analisadas e criticadas pelo especialista humano. Esse processo permite que a análise por especialistas humanos seja focada apenas naqueles que podem possuir por ventura alguma inconsistência, removendo a amostragem do processo que nem sempre era capaz de deduzir todos os pontos de problema.

Verifica-se, portanto, que o sistema deve permitir que as imagens sejam analisadas automaticamente visando identificar o medidor e o consumo apresentado no mesmo, comparando o valor processado com o valor informado pelo operador e realizar uma pré-crítica que contenha um estado da avaliação. Além disso, nos casos em ocorreram falha deve informar o gestor para que a segunda opinião crítica seja realizada.

A Figura 1 apresenta uma visão arquitetural do sistema SIVAL, organizado em dois núcleos principais. Na figura são apresentados os principais componentes do sistema:

- SIVAL Núcleo: executa todas as funcionalidades de reconhecimento e processamento de imagens, implementado em .NET e Emgu;
- SIVAL Web: possui toda a lógica de interface contendo relatórios de processamento, implementando em ASP.NET;
- SAP CCS: integração com a plataforma SAP via arquivo em lote realizado sempre ao início da cadeia de processamento.

Desta forma, é importante observar que toda a interação entre os atores humanos e o SIVAL dar-se-á diretamente

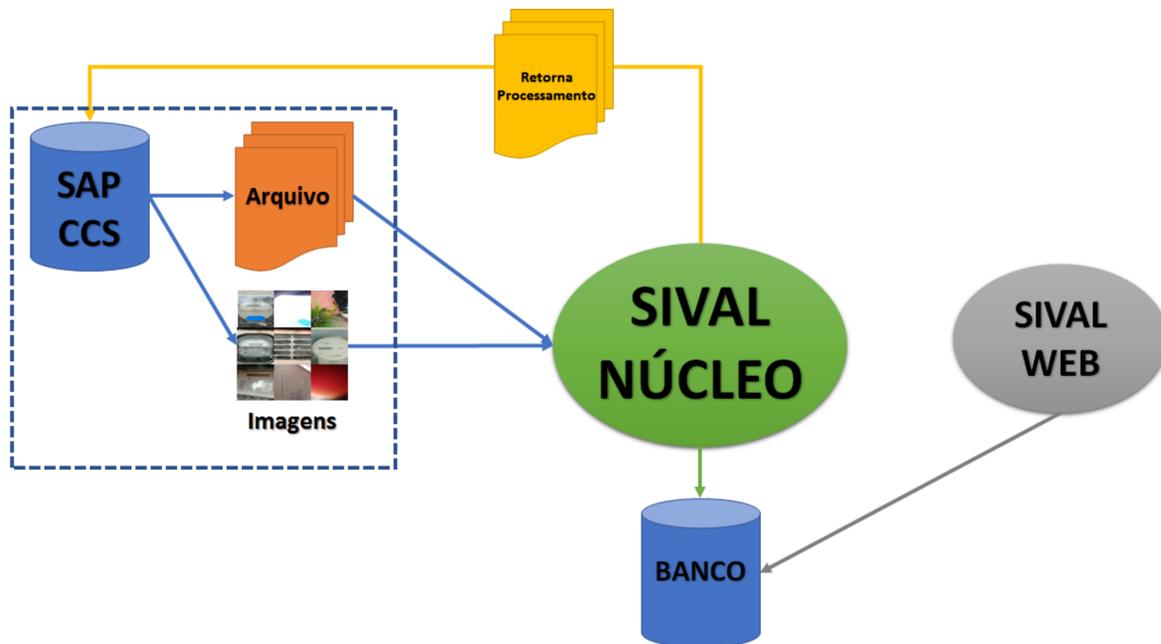


Figura 1. Arquitetura das plataforma SIVAL.

através do servidor Web IIS onde estará o SIVAL Web. Assim, as informações geradas a partir dos dados capturados do SAP CCS e processados pelo SIVAL Núcleo terão um único ponto de acesso, promovendo uma melhor integração, simplificação e manutenção do sistema.

O módulo de processamento de imagens funcionará inteiramente dentro do mesmo servidor, na forma de serviços que pode ser chamado a qualquer momento. Isso será realizado para melhor distribuir a carga do sistema, assim este módulo será ativado em todos os momentos que tiver trabalho a ser realizado num thread separado. Assim, pode-se programar o módulo para trabalhar durante a madrugada, quando não houver atendimentos no sistema, enquanto que o módulo Web estará em uso principalmente durante o dia.

III. SISTEMA DE LEITURA DA MEDIÇÃO - SILEM

O sistema SILEM engloba as necessidades de realizar a leitura mensal do consumo de energia elétrica no ponto de consumo através do registro da imagem do medidor e leitura automática do consumo na imagem adquirida. Os dados de leitura e localização são armazenados localmente no dispositivo e são sincronizados com a base de dados da CEMAR/CELPA. Ou seja, este sistema deve ser capaz de realizar a medição automática do consumo de energia elétrica, permitindo que os dados de medição sejam sincronizados com os sistemas da CEMAR/CELPA.

A Figura 2 apresenta a arquitetura do módulo SILEM. No dispositivo móvel Android executa o módulo MOM utilizado hoje para medição e emissão de fatura remota pela concessionária, em sua grande maioria usando PDAs.

O SILEM é então integrado ao MOM via chamada remota de interface para obter dados do medidor que deve ser lido e enviar dados do consumo reconhecido de volta para o MOM. O módulo SILEM implementa as funcionalidades para a aquisição da foto no dispositivo móvel, tratamento e leitura do consumo usando as rotinas de separação e reconhecimento de dígitos (seção IV-D) implementadas no núcleo da ferramenta.

O acesso necessário ao SILEM consiste na inclusão de interfaces de captura adequada da imagem (que consiste apenas na região do display onde está o consumo), reconhecimento e preenchimento do formulário próprio após o reconhecimento. Embora em um dispositivo móvel, o módulo de reconhecimento presente no SIVAL também estará presente no SILEM e isso será possível devido a implementação baseada em serviços que se deseja dentro deste módulo. No entanto, será necessário portá-lo para o ambiente móvel visto que as restrições neste hardware são diferentes.

A interface de manipulação do SILEM é simples e foi construída de maneira a permitir a fácil captura da imagem, inserção de consumo se necessário, ativar zoom e iluminação, conforme apresentado na Figura 3.

IV. NÚCLEO DA FERRAMENTA

Tanto o SIVAL como o SILEM fazem uso de funcionalidades que estão disponibilizadas no módulo de reconhecimento no Núcleo da Ferramenta (NF). Este módulo é responsável por validar e realizar a leitura em medidores de energia elétrica analógicos e digitais. A Figura 4 apresenta as etapas principais do núcleo da ferramenta, o qual disponibiliza informações para o SIVAL. Os módulos de separar dígitos e reconhecimento

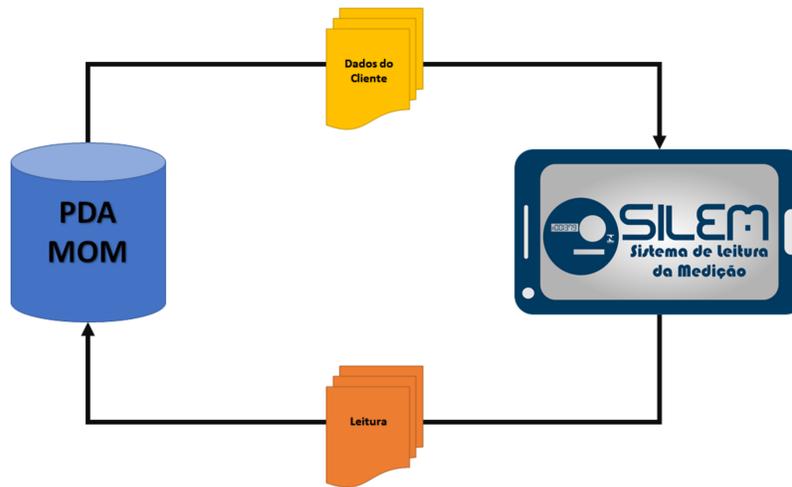


Figura 2. Arquitetura da plataformas SILEM.

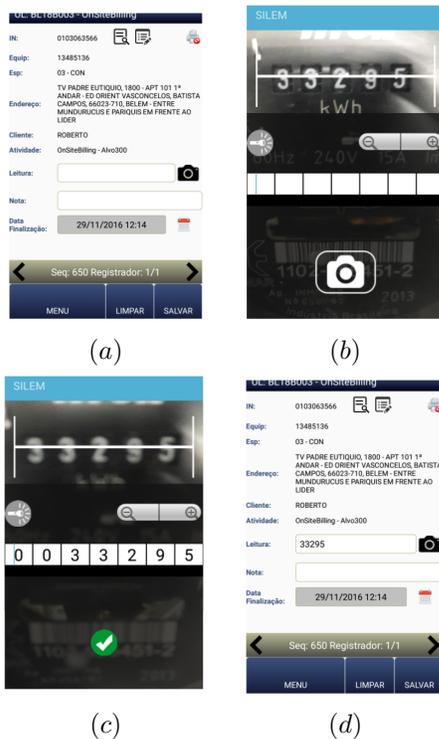


Figura 3. Interfaces do SILEM, em (a) tela do MOM, em (b) captura da imagem com o SILEM, em (c) reconhecimento com o SILEM e em (d) retorno para o MOM

de dígitos também são integrados ao SILEM na plataforma móvel.

Este fluxo recebe uma imagem no início e ao final retorna os números que estão no display do medidor de eletricidade. O fluxo se inicia com a checagem da presença de medidor na imagem, realizada em 3 etapas. Caso o medidor esteja presente na imagem, é realizado a correção de orientação. Com a orientação corrigida, são realizadas a segmentação do

display, separação dos dígitos e reconhecimento dos dígitos.

Verificamos que existe a presença de uma grande quantidade de modelos de medidores diferentes nas empresas, por volta de 800. Essa quantidade fez com que algoritmos genéricos não possuíssem bom desempenho. Optamos então por criar especializações dos algoritmos, escolhidos em tempo de execução de acordo com o modelo do medidor de entrada. Assim podemos escolher o melhor algoritmo de acordo com o problema em questão. O modelo do medidor é obtido pela base cadastral da empresa através do número identificador do medidor - TAG e das informações de modelo e empresa vindas do fabricante.

Para maiores detalhes, as seções a seguir abrangem os algoritmos usados em cada etapa do núcleo.

A. Verificar a presença de medidor na imagem

A verificação da presença do medidor na imagem consiste na primeira checagem da crítica da imagem. Caso não possua medidor, ou o mesmo se encontre distante demais, o setor deve ser informado para realizar uma segunda leitura.

O processo é dividido em duas etapas. A etapa 1 utiliza características locais [6] da imagem e Máquina de Vetores de Suporte (SVM) [7] para identificar se existe ou não medidor na imagem. São usadas duas abordagens diferentes e independentes. Somente se os resultados divergirem, é que será realizada a etapa 2. A etapa 2 trata das divergências vindas da primeira etapa. Nesta segunda é usada uma abordagem de Deep Learning, onde busca-se a substituição de características feitas manualmente por algoritmos eficientes, e assim melhorar a acurácia total.

A etapa 1 é realizada através do ensemble de duas estratégias de Bag Of Features (BoF) [8] sobre keypoints obtidos do *Features from Accelerated Segment Test* (FAST) [9], *Good Features To Track* (GFTT) [10] juntamente com *Fast Retina Keypoint* (FREAK) [11] para extração de características.

A etapa 2 é atingida através da proposição de uma arquitetura de aprendizado profundo através do conceito de

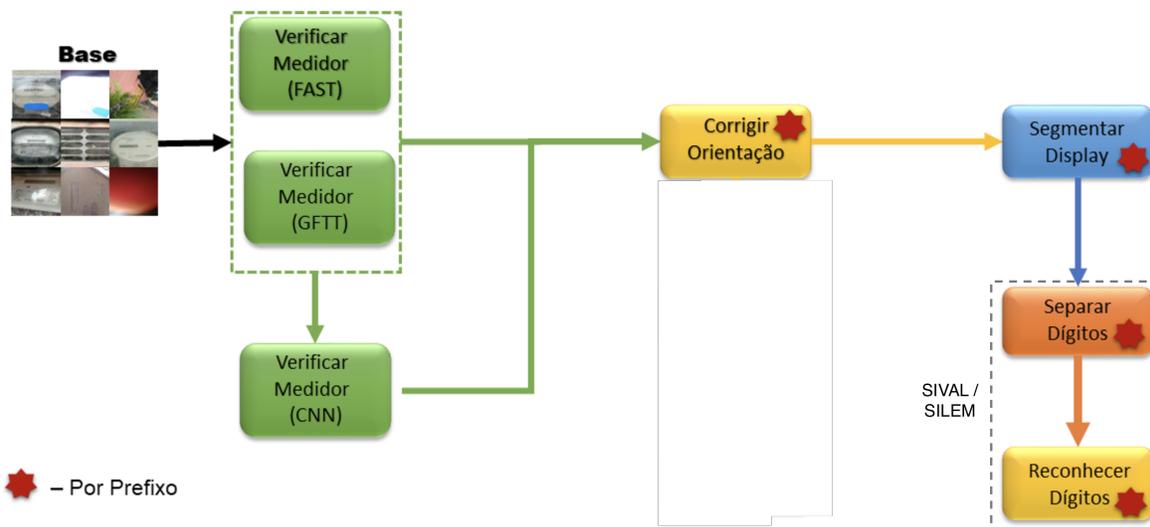


Figura 4. Fluxo de informações do núcleo do sistema de reconhecimento.

Convolutional Neural Networks (CNN) [12]. O motivo da utilização da estratégia em cascata consiste em minimizar a quantidade de falsos positivos ao mesmo tempo em que se tenha grande precisão. A configuração escolhida obteve melhor resultado comparada com a utilização individualizada das técnicas propostas.

B. Corrigir Orientação

Em muitas imagens o medidor não está orientado na posição padrão que consiste na orientação em retrato, com o medidor alinhado com o eixo X, considerando X a base da imagem. O problema deve ser causado principalmente por dificuldade de manuseio da câmera do dispositivo móvel ou mesmo por dificuldades que o local impõe durante a aquisição das imagens.

Neste caso, para melhorar o desempenho das etapas seguintes, é necessário realizar um ajuste de orientação, tentando deixar a área de leitura e da TAG orientada com o eixo X da imagem. Para tanto foi utilizado o conceito de homografia para realizar sobre keypoints extraídos usando *Speeded-Up Robust Features* (SURF) [13] sobre templates de medidores para grupos de modelos específicos e depois alinhando esses pontos através do *K-Nearest Neighbour Matcher* [14]. O resultado (exemplificado na Figura 5) consiste na correção de orientação e padronização de escala baseada no template utilizado.

A escolha do template a ser utilizado é realizada por amostragem. Imagens de um determinado modelo são cruzadas com uma base de validação até se obter o melhor template global para orientação. O processo de escolha de template é automatizado e pode ser repetido a cada nova inserção de modelo de medidor ou quando se desejar melhorar o desempenho da abordagem.

C. Segmentar Display

O objetivo dessa etapa consiste na segmentação da área onde se encontra o display do medidor (no caso digital e analógico).



Figura 5. Exemplo do resultado da correção de orientação.

Após essa etapa, a metodologia poderá segmentar os números e reconhecê-los.

Dado que a metodologia já conhece o modelo dos medidores, utiliza-se a técnica de *Template Matching* [15] para aproximar a localização do display na imagem. O processo (exemplificado na Figura 6) inicia-se com a criação dos templates de visores, dependente do modelo e na utilização da técnica para sua localização, restringindo a área de busca para a área superior do medidor.

D. Separar e Reconhecer Dígitos

Essa etapa tem como finalidade separar os dígitos que são apresentados nos displays e fornecer a informação para a etapa

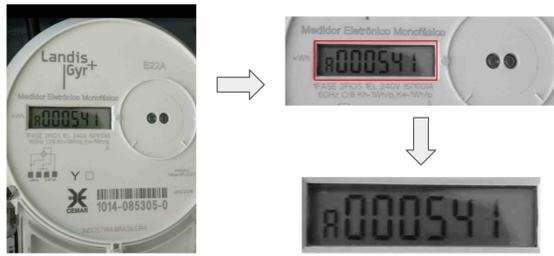


Figura 6. Exemplo do resultado da segmentação de display.

de reconhecimento. Foi identificado que esta tarefa depende do tipo de medidor, seja ele analógico ou digital.

O processo para medidores digitais segue uma abordagem adaptativa de limiarizações e Template Matching. Observamos que as imagens extremamente ruidosas dificultam o reconhecimento. O processo apresentado na Figura 7 se baseia na localização dos dígitos usando uma janela deslizante. Cada janela é limiarizada com 2 algoritmos (Wolf [16] e Sauvola [17]). Cada limiarização é reconhecida usando matching com o template previamente criado. Ao se localizar o primeiro dígito, procura-se pelos demais no mesmo alinhamento. O matching é considerado consistente caso obedeça a relação de similaridade imposta por:

$$S = M * (1 - IM) * (1 - N) * (1 - L) \quad (1)$$

onde M representa o coeficiente de matching, IM o coeficiente de matching complementar, N o coeficiente de matching com ruído e L o coeficiente de matching com perda.

Em medidores analógicos, o processo é realizado em duas etapas, conforme exemplificado na Figura 8. Todas as imagens passam por um pré-processamento com conversão de cor para o modelo CIE XYZ. Utilizando o canal Y de luminância, é aplicado o *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) [18]. Com a imagem realçada, dois fluxos de segmentação de dígitos são usados. O primeiro baseado em programação dinâmica para encontrar entre vários limiares aquele que determina a maior quantidade de dígitos segmentados que obedeçam a restrição de alinhamento e tamanho iguais (redução de falso positivos). O segundo realiza cortes no histograma de projeção onde afim de localizar os dígitos. Por fim, os resultados das duas abordagens é combinado afim de recuperar dígitos perdidos.

O reconhecimento de cada dígito é realizado extraindo características através do *Histogram of Oriented Gradients* (HOG) [19] e classificando usando o SVM.

V. RESULTADOS

Para fins de validação, fizemos a anotação de 8.286 imagens sendo 6.375 medidores e 1.911 não medidores, todas extraídas da base de dados da CEMAR e correspondem a um lote real de imagens que caiu em crítica da empresa. A anotação consiste em informar a presença ou não do medidor na imagem, demarcar a área de display, marcar cada dígito, informar o consumo (caso legível) e informar a TAG.

Tabela I
RESULTADOS GERAIS DO SIVAL NA BASE DE 8.286 IMAGENS ANOTADAS

Etapas	Acurácia (%)
Verificação do Medidor	93,99
Correção de Orientação	82,36
Segmentação do Display	90,39
Reconhecimento do Consumo	41,79

Tabela II
RESULTADOS DE ACERTOS DE DÍGITOS PARA O SIVAL NA BASE DE 8.286 IMAGENS ANOTADAS

Reconhecimento de Dígitos	
Quantidade de Dígitos	Acurácia (%)
Todos do display	41,79
Errou 1 dígito	21,32
Errou 2 dígitos	12,17
Errou 3 dígitos	8,29
Errou 4 dígitos	7,99
Errou 5 dígitos	7,68
Errou 6 dígitos	0,72
Acerto Individual	73,51

A Tabela I apresenta os resultados obtidos em cada etapa do núcleo da ferramenta. Entende-se por acerto na etapa de verificação de medidor quando a metodologia foi capaz de reconhecer adequadamente a presença ou ausência de medidor. O acerto em orientação consiste na correção total de orientação da imagem. O acerto na segmentação do display consiste em identificar uma região onde ao menos 80% dela está dentro da região anotada e o o reconhecimento do consumo consiste em reconhecer todos os dígitos presentes no display, pois para o SIVAL o importante é verificar se o consumo informado em campo é exatamente igual ao presente na imagem. Logo inversões de dígitos não fazem com que o resultado seja usado. A Tabela II apresenta os resultados de reconhecimento de consumo discretizada por dígito.

Analisando a Tabela I baseado nos objetivos do projeto da empresa, verificamos que os resultados são promissores ao gerar um acerto total de 41,79% para o reconhecimento de consumo e de 53,82% se acumularmos os acertos em identificação de medidores e em consumo. Isso significa que mais da metade das imagens que caem em crítica serão liberadas automaticamente para faturamento ou para releitura, tornado todo o processo muito mais eficiente.

Para validar o SILEM foram realizadas duas visitas a campo, junto com a equipe de leituristas da CEMAR, onde foram capturadas 275 imagens, uma de cada medidor, todos analógicos. Até o momento, o SILEM está codificado apenas para o processamento de medidores analógicos. A Tabela III sumariza os resultados obtidos nos dois testes com o módulo do SILEM. Salienta-se que a interface do SILEM permite a correção de dígitos, logo, diferente do SIVAL, o reconhecimento parcial com o erro em apenas 1 dígito é também muito importante.

Os resultados observados pelo SILEM são melhores do que os obtidos pelo SIVAL pois aqui existe um protocolo mínimo de aquisição das imagens. Estas se restringem apenas a região

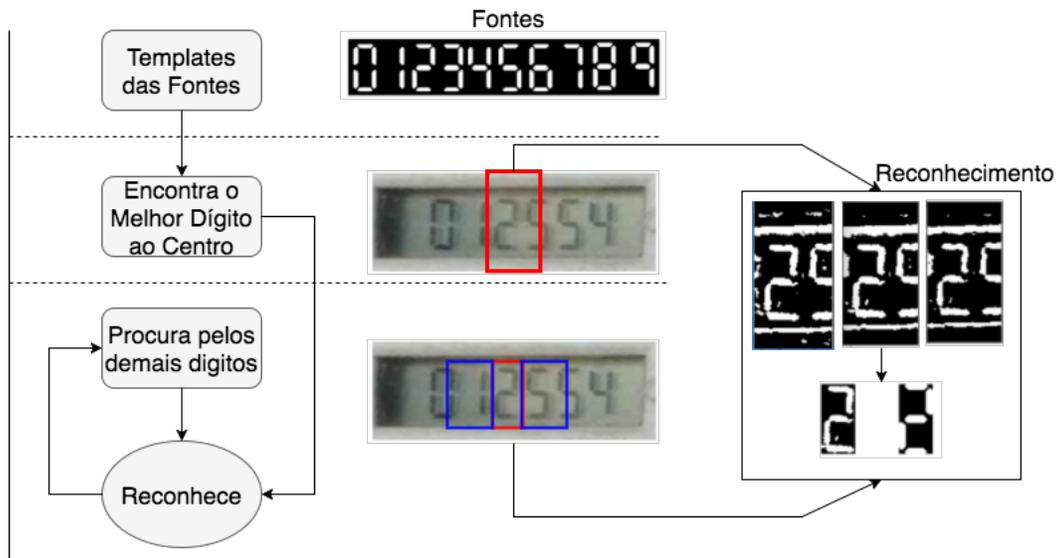


Figura 7. Processo de reconhecimento dos dígitos em medidores digitais

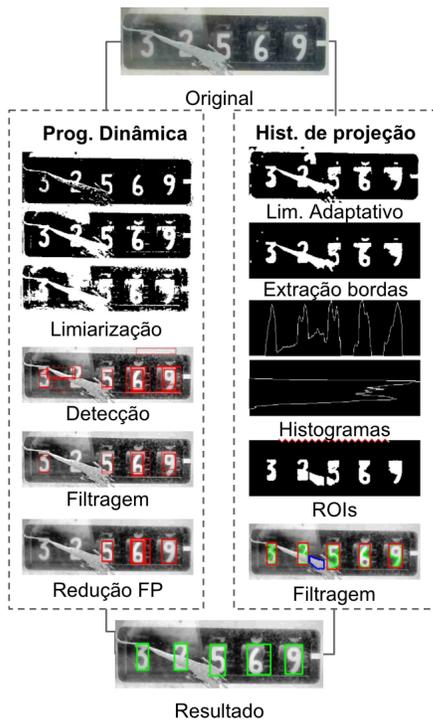


Figura 8. Processo de reconhecimento dos dígitos em medidores analógicos.

do visor. Ao todo, em 62,18% dos casos houve reconhecimento total, sendo que em 21,46% houve a correção de apenas um dígito. Verifica-se portanto a eficácia do módulo para o reconhecimento em campo.

VI. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a arquitetura básica dos sistemas SILEM e SIVAL, em desenvolvimento no âmbito de Projeto de P&D, e que visam a avaliação crítica de imagens fotográficas

Tabela III
RECONHECIMENTO DE DÍGITOS NOS TESTES DO SILEM

Reconhecimento de Dígitos no SILEM	
Quantidade de Dígitos	Acurácia (%)
Todos do display	62,18
Errou 1 dígito	21,46
Errou 2 dígitos	8
Errou 3 dígitos	4,36
Errou 4 dígitos	1,82
Errou 5 dígitos	2,18

contendo medidores de energia elétrica. Além disso apresentou o núcleo comum aos dois sistemas responsáveis pelo reconhecimento dos dígitos de medidores presentes na imagem o que permite a leitura automática e a validação em massa das imagens obtidas no sistema de leitura pelo leitorista.

Os resultados apresentados são promissores e aplicáveis dentro da empresa com a finalidade de aumentar a eficiência do leitorista em campo e permitir que ao menos 53,82% de todas as imagens que devam ser analisadas sejam automaticamente processadas.

Este método é útil, ainda, para alertar as companhias energéticas quanto a possível necessidade de manutenção nos medidores que não forem detectados corretamente pelo método. É importante que a área da display esteja bem conservada e com os dígitos visíveis para que os sistemas logrem êxito nas demais etapas do projeto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradem a CEMAR/CELPA pelo suporte financeiro disponibilizado através do projeto PD-00371-0029/2016.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Vidinich and G. Nery, "Pesquisa e desenvolvimento contra o furto de energia," *Revista Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL-P&D*, p. 15, 2009.

- [2] K. Parthiban and A. Palanisamy, "Reading values in electrical meter using image processing techniques," in *Intelligent Interactive Systems and Assistive Technologies (IISAT), 2013 International Conference on*. IEEE, 2013, pp. 1–7.
- [3] Y. Zhang, S. Yang, X. Su, E. Shi, and H. Zhang, "Automatic reading of domestic electric meter: an intelligent device based on image processing and zigbee/ethernet communication," *Journal of Real-Time Image Processing*, vol. 12, no. 1, pp. 133–143, 2016.
- [4] A. Ali, N. Saad, N. Razali, and N. Vitee, "Implementation of automatic meter reading (amr) using radio frequency (rf) module," in *Power and Energy (PECon), 2012 IEEE International Conference on*. IEEE, 2012, pp. 876–879.
- [5] C. Prapasawad, K. Pornprasitpol, and W. Pora, "Development of an automatic meter reading system based on zigbee pro smart energy profile ieee 802.15. 4 standard," in *Electron Devices and Solid State Circuit (EDSSC), 2012 IEEE International Conference on*. IEEE, 2012, pp. 1–3.
- [6] T. Tuytelaars and K. Mikolajczyk, "Local invariant feature detectors: a survey," *Foundations and trends in computer graphics and vision*, vol. 3, no. 3, pp. 177–280, 2008.
- [7] V. N. Vapnik, *Statistical learning theory*. New York, USA: Wiley New York, 1998, vol. 1.
- [8] E. Nowak, F. Jurie, and B. Triggs, "Sampling strategies for bag-of-features image classification," in *European conference on computer vision*. Springer, 2006, pp. 490–503.
- [9] E. Rosten and T. Drummond, "Machine learning for high-speed corner detection," in *Computer Vision–ECCV 2006*. Graz, Austria: Springer, 2006, pp. 430–443.
- [10] J. Shi and Tomasi, "Good features to track," in *Computer Vision and Pattern Recognition, 1994. Proceedings CVPR'94., 1994 IEEE Computer Society Conference on*. IEEE, 1994, pp. 593–600.
- [11] A. Alahi, R. Ortiz, and P. Vanderghenst, "Freak: Fast retina keypoint," in *Computer vision and pattern recognition (CVPR), 2012 IEEE conference on*. Ieee, 2012, pp. 510–517.
- [12] Y. LeCun, K. Kavukcuoglu, and C. Farabet, "Convolutional networks and applications in vision," in *Circuits and Systems (ISCAS), Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on*. IEEE, 2010, pp. 253–256.
- [13] H. Bay, T. Tuytelaars, and L. Van Gool, "Surf: Speeded up robust features," *Computer vision–ECCV 2006*, pp. 404–417, 2006.
- [14] P. Cunningham and S. J. Delany, "k-nearest neighbour classifiers," *Multiple Classifier Systems*, vol. 34, pp. 1–17, 2007.
- [15] R. Brunelli, *Template matching techniques in computer vision: theory and practice*. John Wiley & Sons, 2009.
- [16] C. Wolf and J.-M. Jolion, "Extraction and recognition of artificial text in multimedia documents," *Pattern Analysis & Applications*, vol. 6, no. 4, pp. 309–326, 2004.
- [17] J. Sauvola, T. Seppanen, S. Haapakoski, and M. Pietikainen, "Adaptive document binarization," in *Document Analysis and Recognition, 1997., Proceedings of the Fourth International Conference on*, vol. 1. IEEE, 1997, pp. 147–152.
- [18] K. Zuiderveld, "Contrast limited adaptive histogram equalization," in *Graphics gems IV*. Academic Press Professional, Inc., 1994, pp. 474–485.
- [19] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection," in *Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on*, vol. 1. IEEE, 2005, pp. 886–893.