

Enxame de Partículas para Segmentação de Cordão de Solda em Imagens Radiográficas

Rafael Arthur R. Miranda¹, Myriam R. Delgado¹,
Tania M. Centeno¹, Ricardo D. da Silva¹

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
{arthur.rafa10, ricardodutr}@gmail.com
{myriamdelg, mezzadri}@utfpr.edu.br

Marlon de Oliveira Vaz^{1,2}.
² Instituto Federal do Paraná (IFPR).
marlonvaz@gmail.com

Resumo—Este trabalho apresenta uma abordagem para a segmentação de cordões de solda em imagens radiográficas do tipo Parede Dupla Vista Dupla (PDVD) combinando dois métodos já conhecidos na literatura: Otimização Por Enxame de Partículas (*Particle Swarm Optimization* - PSO) e *Dynamic Time Warping* - DTW. Um perfil vertical é levantado pelas partículas do PSO e comparado (via DTW) a um perfil modelo. Os resultados obtidos mostram que o PSO, na maioria das vezes, converge satisfatoriamente para soluções que permitem a segmentação do cordão de solda.

Palavras Chave- Imagens Radiográficas PDVD; Detecção de Cordão de Solda; PSO.

I. INTRODUÇÃO

Instalações petroquímicas industriais possuem redes de tubulações por onde são transportados gases e líquidos. Essas tubulações são construídas basicamente pela união de tubos por meio de juntas soldadas [1]. As instalações são projetadas para suportar grandes esforços e condições críticas de temperatura e pressão, pois uma falha pode ocasionar sérios prejuízos ambientais, nos processos e nas instalações. Entretanto o processo de soldagem dos tubos está sujeito a defeitos e falhas durante a formação do cordão de solda. Desta forma, com a finalidade de monitorar a qualidade das juntas soldadas, programas de inspeções periódicas, por meio de Ensaio Não Destrutivo (END)*, contribuem para evitar problemas e danos futuros [2]. A radiografia é um dos métodos mais utilizados para inspecionar juntas soldadas em tubulações.

A inspeção de cordões de solda é comumente realizada por especialistas que, apesar de todo treinamento e conhecimento, podem cometer erros por diversos fatores como cansaço visual, experiência, quantidade de radiografias a serem analisadas, fadiga e distrações [3]. Diante deste fato e com o avanço da radiografia digital, centros de pesquisas têm centrado seus esforços no desenvolvimento de sistemas automáticos ou semiautomáticos para interpretação de radiografias de juntas soldadas. A segmentação e classificação dos defeitos presentes em uma junta soldada é uma área de grande interesse para os pesquisadores. No entanto, grande parte das abordagens para a

* Ensaio Não Destrutivo; Envolve métodos e procedimentos para analisar materiais e produtos sem danificar, modificar ou alterar sua funcionalidade. [2].

classificação de defeitos recorre à segmentação do cordão de solda de forma manual ou semiautomática. Isso porque muitas técnicas apresentadas são específicas (geralmente não se aplicam ao tipo de radiografia PDVD) ou limitadas (comumente não realizam a segmentação automática) e também devido aos desafios impostos pelos aspectos que os cordões apresentam como orientação, tamanho e formato [4].

As dificuldades apresentadas e a necessidade de desenvolver um método automático eficaz para a segmentação do cordão de solda motivaram o desenvolvimento deste trabalho. A abordagem que está sendo proposta utiliza o PSO aplicado em imagens radiográficas juntamente com o DTW, como função de avaliação (fitness) do PSO, para medir a similaridade entre um modelo de perfil gerado previamente e um perfil extraído da imagem. O uso do PSO e DTW em conjunto é pouco explorado na literatura [5], e este artigo busca contribuir nesta área de pesquisa. A escolha da técnica tem por base o fato de que o algoritmo do PSO é de fácil implementação e é bastante utilizado em otimização contínua. Além disso, o PSO pode combinar componentes aleatórios e conhecimento histórico adquiridos para se guiar e realizar a busca no espaço, aumentando as chances da solução ótima ser encontrada [6, 7].

II. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Na técnica para inspeção de soldas conhecida como Parede Dupla Vista Dupla, uma fonte de Raios-X é posicionada no exterior do tubo, no local da junta soldada, e o feixe de radiação atravessa as duas paredes do tubo (Fig.1). Essa técnica é utilizada quando não é possível colocar a fonte ou o filme na parte de dentro do tubo. A fonte de radiação pode estar alinhada ao cordão, criando uma imagem com o cordão sobreposto, ou inclinado (conforme a Fig.1), produzindo sobre o filme radiográfico um cordão com formato elíptico [2].

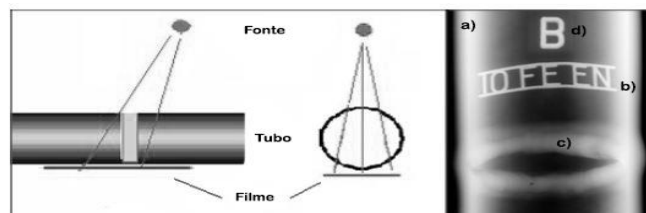


Figura 1. Radiografia PDVD: (a) Parede do tubo; (b) Indicador de qualidade da imagem (IQI); (c) Cordão de solda; (d) marcador indicando o ângulo de exposição da junta soldada. Fonte: adaptada de [8].

III. REVISÃO DA LITERATURA

A. Trabalhos Relacionados

Em [4] os autores propõem uma metodologia para a extração do cordão de solda em imagens radiográficas utilizando um Algoritmo Genético (AG). O método computa transformações geométricas sobre um modelo do cordão para obter a melhor correspondência com o cordão de solda na imagem. A metodologia proposta teve bons resultados com imagens do tipo Parede Simples Vista Simples (PSVS) e Parede Dupla Vista Simples (PDVS), no entanto para o tipo PDVD não teve o mesmo desempenho.

A abordagem proposta em [3] faz uma comparação do AG com PSO na segmentação de cordões de solda. A delimitação do tubo é realizada primeiramente e em seguida é realizada a detecção do cordão de solda com máscaras deformáveis. A abordagem tem bons resultados com imagens do tipo PDVD, PDVS e PSVS. Na comparação dos dois algoritmos o PSO leva vantagem sobre o AG.

Em [9] é proposta uma metodologia para identificação da região central do cordão de solda em imagens radiográficas do tipo PDVD. O método é dividido em três etapas: pré-processamento, onde são realizadas transformações para suavizar os ruídos da imagem; otimização baseada no PSO, que varre um espaço de busca com cinco dimensões tentando fixar a melhor elipse dentro da região central do cordão; e, por fim, a escolha da melhor região candidata, que leva em conta a similaridade e a distância focal.

O trabalho de [10] é baseado na observação da intensidade dos pixels na região do cordão de solda para a segmentação. Esse trabalho mostrou-se eficiente apenas onde o cordão de solda aparece na imagem como uma linha reta. Com esse trabalho também foi possível observar que a distribuição das intensidades no cordão de solda ao longo das linhas da imagem assemelha-se a uma curva gaussiana.

Para suprir algumas das lacunas deixadas pelos trabalhos descritos anteriormente, este artigo propõe um novo método para a segmentação do cordão de solda em imagens radiográficas do tipo PDVD.

B. Otimização por enxame de partículas

O algoritmo de otimização por enxame de partículas (*Particle Swarm Optimization* - PSO) foi desenvolvido por Kennedy e Eberhart em 1995 [11]. A inspiração do algoritmo veio do comportamento de cardumes de peixes e de bandos de pássaros, onde os indivíduos utilizam a estratégia de colaborar para evoluir. O PSO se tornou bastante difundido em otimização contínua por ser uma técnica de baixo custo computacional e que permite compartilhar informações inerentes ao comportamento social de seus indivíduos.

No algoritmo do PSO a população é inicializada aleatoriamente no espaço de busca e para cada partícula é associada uma velocidade. A movimentação das partículas possibilita a busca de posições melhores dentro do espaço. Esse processo é realizado iterativamente até que um critério de parada seja atingido. Os critérios mais utilizados são: número máximo de iterações e valor aceitável de *fitness* atingido [11,6].

A qualidade de cada partícula é medida pela função de avaliação (função de *fitness*). As partículas armazenam suas

experiências ao longo da evolução. A melhor posição já encontrada por uma partícula é armazenada em *personal best* (**PBest**) e a melhor posição encontrada pela população é armazenada em *global best* (**GBest**). Essas informações são usadas para modificar a velocidade, a qual levará a partícula em direção à possível melhora do seu valor de *fitness* [11,12], conforme (1).

$$\mathbf{V}_i^{t+1} = w \mathbf{V}_i^t + c_1 r_1 (\mathbf{PBest}_i^t - \mathbf{p}_i^t) + c_2 r_2 (\mathbf{GBest}_i^t - \mathbf{p}_i^t) \quad (1)$$

onde \mathbf{V}_i^t é a velocidade atual da *i*-ésima partícula na iteração *t*, *w* é o momento de inércia, o qual controla a capacidade de busca no espaço da partícula, \mathbf{p}_i^t representa a *i*-ésima solução candidata na iteração atual, r_1 e r_2 são valores aleatórios uniformemente distribuídos entre 0 e 1 e c_1 e c_2 são duas constantes de aceleração [6,12,13]. As coordenadas da partícula são atualizadas de acordo com (2).

$$\mathbf{p}_i^{t+1} = \mathbf{p}_i^t + \mathbf{V}_i^{t+1} \quad (2)$$

Valores altos para *w* levam a uma maior influência do movimento anterior (exploração global), enquanto que valores baixos tendem a uma busca local no espaço. As constantes c_1 e c_2 também exercem influência sobre a busca. Caso elas tenham valores altos a influência do *w* diminui. Uma forma bastante utilizada para controlar esta questão é a inicialização com valores altos para *w* e ao longo das iterações do PSO este valor sofre um decaimento suave promovendo um balanço entre uma busca global e local [3,13].

C. Dynamic Time Warping

O algoritmo de comparação entre séries temporais *Dynamic Time Warping* (DTW), busca alinhar da melhor maneira possível os valores de duas séries. A técnica é flexível à diferença de tamanho e de deslocamento entre as séries [14]. O DTW também pode ser usado para identificar pontos correspondentes entre as duas séries [15]. O algoritmo do DTW usa programação dinâmica para mensurar a similaridade entre as duas séries, minimizando uma medida de distância entre as mesmas (a distância é, comumente, a distância euclidiana). O método é utilizado em diversas áreas como reconhecimento de fala, de assinaturas e gestos, robótica, medicina, mineração de dados [14,15,16]. O uso do DTW em imagens é pouco difundido. Um dos primeiros trabalhos a aplicar o método para a detecção de cordões de solda em imagens radiográficas, considerando a técnica no reconhecimento de padrões (realce de perfis de cordões de solda), foi apresentado em [5], trabalho que inspirou a proposta apresentada neste artigo.

O funcionamento do algoritmo DTW pode ser descrito como se segue. A partir de duas séries temporais $A = a_1, a_2, \dots, a_n$ e $B = b_1, b_2, \dots, b_m$ com tamanhos *n* e *m*, o algoritmo constrói uma matriz com dimensões *n* x *m* onde no elemento (*i*, *j*) da matriz é armazenada a distância *d*(*i*, *j*) entre os pontos a_i e b_j . Cada elemento da matriz corresponde ao alinhamento dos pontos entre as duas séries. Um caminho *w* é um conjunto contíguo de elementos da matriz que define o mapeamento das séries *A* e *B* (Fig.2). O caminho está sujeito a algumas restrições [14,16,17], deve começar e terminar em cantos diagonalmente opostos da matriz (restrição de limite); não pode ter saltos, garantindo que o alinhamento não omita características importantes (restrição de continuidade); não

pode voltar, garantindo que as características não se repitam (restrição de monotonicidade).

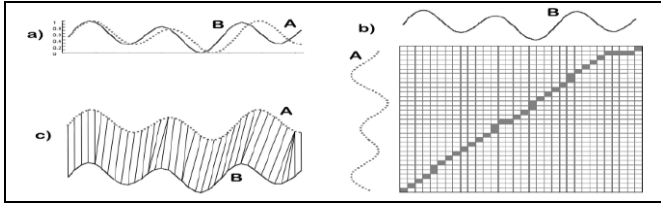


Figura 2. a) Duas séries semelhantes e não alinhadas. b) Matriz de distância e melhor caminho ressaltado na diagonal. c) Alinhamento resultante. Fonte: adaptada de [17].

O custo total do caminho (alinhamento) é dado por:

$$\text{Custo}(A,B) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k C_i \quad (3)$$

onde c_i é o i -ésimo elemento do caminho, k é o total de elementos do caminho e $N = n + m$. Existem vários caminhos possíveis, no entanto o escolhido é aquele que minimiza o custo da função (3) [16]. O caminho pode ser encontrado utilizando programação dinâmica com base na distância acumulada na matriz conforme a sequência de passos [16]:

1. Condição inicial;
 $D(1, 1) = 2d(1, 1)$ (4)

2. Equação do caminho;
 $D(i, j) = \text{Mín} [D(i, j-1) + d(i, j), D(i-1, j-1) + 2d(i, j), D(i-1, j) + d(i, j)]$ (5)

3. Condição de restrição (janela de ajuste)
 $|i - j| \leq r$ (6)

onde r é um número inteiro positivo chamado de janela de ajuste, i e j são os índices atuais da matriz D . Essa janela tem a função de acelerar a execução do DTW, limitando uma janela onde os dados serão analisados.

IV. DESCRIÇÃO DA PROPOSTA

Este trabalho é parte integrante de um projeto desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Imagens e Visão Computacional - GIVIC, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O objetivo do projeto é identificar discontinuidades (defeitos) em cordões de solda, utilizando imagens radiográficas de solda de tubulações de petróleo do tipo Parede Duplas Vista Dupla PDVD, fornecidas pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobras (CENPES). Para isso, o trabalho desenvolvido em [5] realiza um pré-processamento, reconhecendo o tubo e retirando alguns marcadores presentes na imagem, retornando então uma região de interesse (ROI) (ilustrada na Fig. 3, incluindo a área hachurada), onde possivelmente o cordão de solda está presente.

Após essa etapa de pré-processamento e de posse da ROI, este trabalho realiza uma busca nesta imagem, aplicando o PSO e utilizando o custo do DTW como fitness, o qual retorna uma medida de similaridade entre um perfil extraído pela partícula do PSO com um modelo previamente definido. O método proposto neste artigo compreende três etapas para a

segmentação do cordão: a construção do modelo sintético, a otimização realizada pelo PSO e finalmente o ajuste fino. A otimização via PSO compreende dois passos principais: a busca e extração do perfil pela partícula, e o cálculo da similaridade por meio do DTW.

A. Modelo Sintético

Este trabalho considera imagens do tipo PDVD. Neste tipo de imagem a distribuição das intensidades de pixels na região do cordão de solda se assemelha àquela destacada na (Fig. 1), cujo perfil tem formato composto por dois picos de intensidade, região correspondente aos arcos do cordão e um vale de intensidade, correspondente a região central do cordão. Um exemplo de perfil semelhante ao modelo é mostrado na Fig. 5(b). Para a construção do modelo, utiliza-se uma curva gaussiana com a distribuição do intervalo dos níveis de cinza [0, 255]. Inicialmente o modelo foi definido com um conjunto de 720 pontos, e com a evolução da proposta, uma redução (Fig. 5) é aplicada no modelo resultando num conjunto de 120 pontos.

B. Otimização via PSO

Devido ao elevado tempo de processamento, observou-se a necessidade de reduzir o tamanho da ROI para 50% do seu tamanho original. Outro procedimento foi realizado com o objetivo de reduzir o espaço de busca. Este procedimento envolve a exclusão das laterais da imagem: um total de 20% da largura da imagem é extraído de cada lado (parte hachurada na Fig. 3), pois a intensidade dos pixels nestas regiões é praticamente homogênea e não se assemelharia com o modelo gerado. Desta forma apenas 60% da largura da imagem é utilizada como espaço de busca válido. No caso da altura, considera-se toda a dimensão (altura) da imagem (ROI) como espaço de busca válido.

A busca pela região candidata que mais se assemelha ao modelo do cordão de solda é realizada pelo PSO, que inicializa as partículas aleatoriamente no espaço de busca válido. As partículas são encarregadas de definir a janela para a extração do perfil a partir de sua posição. Cada partícula $P = (p_1, p_2, p_3)$ representa uma possível solução e é caracterizada pelos seguintes atributos:

- p_1 : Posição no eixo X da janela de extração do perfil;
- p_2 : Posição no eixo Y da janela de extração do perfil;
- p_3 : Altura H da janela (representando o tamanho do perfil a ser extraído pela partícula).

O valor de p_3 pode variar no intervalo $[H_{\min}, H_{\max}]$. Dois intervalos possíveis foram testados $[0,3, 0,5]$ e $[0,2, 0,35]HI$, onde HI indica a altura da imagem (ROI) que representa o espaço de busca do PSO. Os valores de p_1 podem variar no espaço de busca válido, p_2 pode variar na altura total da imagem. Os valores para p_1, p_2 e p_3 são gerados aleatoriamente dentro dos limites permitidos para cada um deles. As partículas que extrapolam as dimensões do espaço de busca são refletidas para a primeira posição válida do espaço de busca.

Ao final de todas as iterações do PSO, os elementos p_1, p_2 e p_3 do **GBest** definem o local onde será efetuado o recorte na imagem (suposto local do cordão de solda). A largura do recorte é a mesma da ROI.

Extração do Perfil Vertical

O local da janela de extração do perfil do cordão de solda dado por p_1 , p_2 e p_3 é ilustrado na Fig. 3. p_1 e p_2 definem a coordenada de início da janela e p_2 e p_3 definem a coordenada da janela.

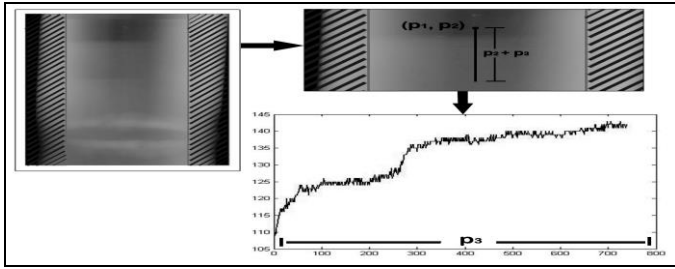


Figura 3. Ilustração da extração do perfil vertical de uma região fora do cordão.

O perfil computado usando os pixels do eixo vertical (janela de largura de 1 pixel) definido por p_1 , p_2 e p_3 tende a ser ruidoso (Fig. 4(a)). Para contornar esse problema, o perfil é computado usando a média dos pixels para cada linha de uma janela de largura de 100 centralizada sobre o eixo vertical (Fig. 4(b)).

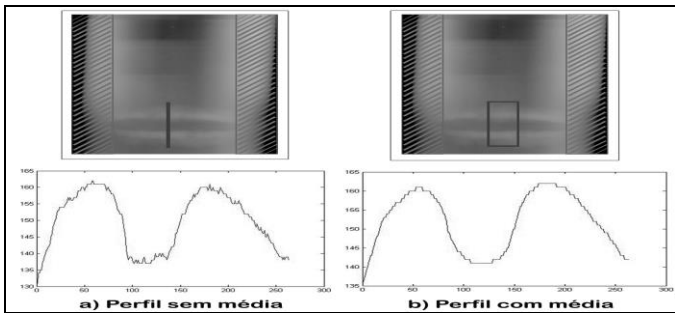


Figura 4. Extração do Perfil. a) Perfil extraído sem média. b) Perfil extraído com média.

Após a extração do perfil, seus valores são normalizados no intervalo $[0, 255]$. A normalização é realizada ou não dependendo de um limiar T (diferença entre o máximo e o mínimo nível de cinza - neste trabalho T foi empiricamente definido com o valor 30). Com a normalização, as curvas do perfil ficaram mais evidentes melhorando a compatibilidade com o modelo.

Cálculo de Similaridade via DTW

No cálculo de similaridade, o perfil levantado na seção anterior representa a série $A = a_1, a_2, \dots, a_n$ e $B = b_1, b_2, \dots, b_m$ será o perfil sintético. A programação dinâmica é então utilizada para o cálculo de c_i e posteriormente do custo, conforme (3). Neste trabalho, uma versão do DTW sem normalização é testada, conforme (7), com o objetivo de reduzir a geração de perfis alongados.

$$\text{Custo}(A,B) = \sum_{i=1}^k C_i \quad (7)$$

A justificativa da mudança no cálculo do DTW é apresentada a seguir. Assumindo-se que o resultado do cálculo do DTW normalizado seja Custo_1 , quando há um incremento

no valor de p_3 (tamanho do perfil), o resultado Custo_2 do cálculo do DTW tende a ser menor. Isso porque, na maioria das vezes, a parte incrementada (tubo) não tem uma contribuição tão expressiva no somatório, quanto no incremento do valor de N , diminuindo assim o valor do custo calculado por (3). Assim, com o aumento de p_3 , o valor retornado com o DTW normalizado é em geral menor ($\text{Custo}_2 < \text{Custo}_1$), sem representar, no entanto uma melhora efetiva na detecção. Como o objetivo do trabalho é a minimização da função de custo, a escolha acaba sendo pelo menor valor, aceitando-se assim o resultado do incremento em p_3 .

Neste trabalho utiliza-se uma técnica de redução dos dados do perfil, onde a cada seis pontos (valor definido empiricamente) do perfil original, é calculada a média que irá representar os pontos originais. Esta técnica suaviza os ruídos presentes no perfil, conforme ilustra a Fig. 5.

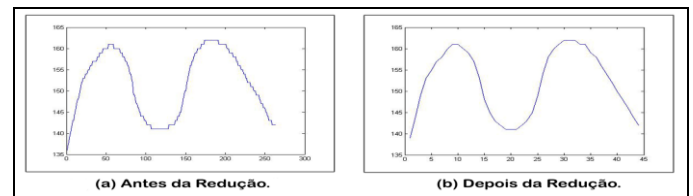


Figura 5. Ilustração da amostragem de dados.

No DTW um alinhamento ótimo entre duas séries temporais resultaria em um caminho com uma diagonal perfeita na matriz de distâncias, no entanto nem sempre isso ocorre. Para se encontrar o melhor alinhamento possível é necessário analisar toda a matriz o que pode ocasionar aumento do tempo de processamento. Desta forma, é especificada uma janela diagonal de forma que a análise seja realizada somente dentro deste intervalo, uma vez que quanto pior for o alinhamento mais distante da diagonal ele vai estar. Assim, nesta abordagem foi utilizada a técnica de Sakoe-Chiba [16] e o valor para a janela de ajuste foi definido (de modo empírico) como 50. Este trabalho utiliza uma modificação para esta técnica proposta em [18] para garantir que os pontos finais sempre estejam presentes.

Outra técnica utilizada visando diminuir o custo computacional do DTW foi a inclusão de uma lista dos cálculos já realizados. O valor do custo do DTW e as coordenadas (local na imagem) da partícula são armazenados e, caso uma partícula se mova para uma posição anteriormente visitada (isso geralmente acontece pouco antes do PSO convergir, pois as partículas ficam muito próximas uma das outras), o *fitness* não é recalculado.

C. Ajuste Fino

O ajuste fino é executado após a finalização do PSO no caso da imagem de saída necessitar de alguns ajustes (parte do tubo anexada ao cordão ou cordão cortado). Assim, após o levantamento do perfil na região delimitada pela janela codificada pela partícula, o perfil pode ser incrementado ou decrementado buscando uma similaridade maior com o modelo. O ajuste fino trabalha com um limite máximo de incremento ou decremento em relação à altura do perfil detectado. O limite máximo definido empiricamente neste trabalho foi de 30% do tamanho do perfil original (levantado

pelo PSO). O funcionamento do ajuste considera todas as possibilidades de incremento (6 possibilidades) e decremento (6 possibilidades), com valores variando de 10% a 30% na parte inferior ou superior do perfil. Todas as possibilidades são testadas (num total de 12) e aquela que resultar numa maior similaridade (calculada via DTW) com o modelo será a escolhida. Caso não haja melhora, o perfil originalmente encontrado pelo PSO é mantido.

Com a junção dos processos descritos anteriormente (seções A-C), o processo de busca é aplicado nas imagens radiográficas do tipo PDVD e a segmentação do cordão de solda é realizada.

V. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Para a análise dos resultados, a abordagem proposta foi testada em um conjunto de 30 imagens radiográficas de tubulações de petróleo do tipo PDVD. Alguns critérios numéricos foram estabelecidos para diferenciar os resultados. São considerados cinco tipos de saída como resultado, cada um indicando um nível diferente de qualidade. No caso de erro total (cordão de solda não encontrado) é atribuído o valor 0 (zero) para imagem; quando a saída contiver apenas uma parte (arco) do cordão (podendo ser a parte superior ou inferior) recebe o valor 25; caso uma parte do cordão de solda seja cortada na segmentação (superior ou inferior) é atribuído o valor 50; quando o cordão é segmentado, mas há sobra de imagem do tubo atribui-se o valor 75 e, por fim, quando o cordão é segmentado corretamente recebe o valor 100. Esta forma de análise é exemplificada na Fig. 6.

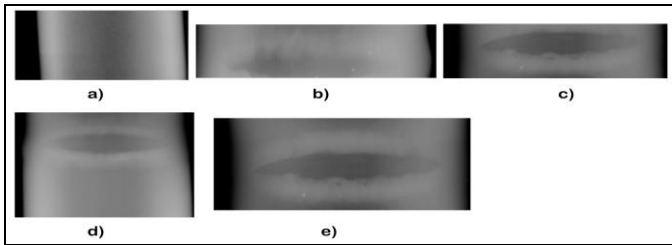


Figura 6. Exemplo de pontuação considerada. a) Totalmente errada, valor 0; b) Parcialmente errada, valor 25; c) Parcialmente errada, valor 50; d) Parcialmente correta, valor 75; e) Correta, valor 100.

Para cada imagem o PSO é executado 30 vezes (cada rodada com uma semente aleatória diferente). O PSO conta com 35 iterações, 15 partículas, c_1 igual a 0,7, c_2 igual a 1,2, decaimento linear do coeficiente de inércia, inicial de 0,9 e mínimo de 0,4. Esses valores foram definidos de forma empírica, exceto pelos valores de c_1 , c_2 e decaimento da inércia, que foram baseados em [5]. Em relação ao DTW, o fato do cálculo do custo ser ou não normalizado tem influência no resultado, como será mostrado na próxima seção.

A. Variação do elemento p_3 : Intervalo 1

O intervalo em que p_3 pode variar considera 30 a 50% da altura da ROI.

Segmentação com o DTW Normalizado

Nesta primeira parte dos experimentos, a versão normalizada do cálculo do custo do DTW é utilizada (3). A métrica de avaliação (pontuação) definida no início da seção

(valores de acerto variando de 0 a 100) é utilizada para definir o percentual médio de acerto para cada uma das 30 imagens. E a Tabela 1 traz a média de acerto para as 30 imagens. A Tabela 1 contém ainda o tempo médio que a abordagem levou para executar a detecção do cordão em cada rodada completa do PSO.

Neste teste, com o p_3 variando entre 30% e 50% da altura total da imagem e com o DTW normalizado, a abordagem obteve uma boa taxa de acerto, chegando a 85,17%. No entanto grande parte das imagens recebeu a “nota” 75, ou seja, a segmentação do cordão é realizada com parte excedente do tubo.

Segmentação com o DTW Não Normalizado

Na tentativa de reduzir a parte do tubo que permaneceu junto ao cordão de solda, uma nova modificação foi realizada. Neste teste, as configurações em relação ao PSO e o espaço de busca permanecem as mesmas, a mudança é apenas no cálculo do DTW que antes trabalhava de forma normalizada (3) e para este teste deixa de ser normalizado (7). Os resultados são mostrados na Tabela 1.

Variação do elemento p_3 : Intervalo 2

Neste teste, o intervalo dos valores em que o p_3 pode variar, passou de 30% a 50% para 20% a 35% para as imagens com altura maior que 2000 pixels (valor definido empiricamente). Como o DTW não normalizado obteve melhores resultados, este foi mantido para esta parte dos experimentos. A Tabela. 1 mostra os resultados. Com estas modificações a abordagem aumenta a sua taxa de acertos, chegando a 93,11% na média para todas as imagens.

Tabela 1. Resultado dos testes nos 2 intervalos.

	Média de Acertos	Desvio Padrão	Tempo Médio (seg)	Desvio Padrão
Intervalo 1 DTW Normalizado	85,17%	0,129791	21,98	5,700397
Intervalo 1 DTW Não Normalizado	90,67%	0,123048	24,38	6,556928
Intervalo 2 DTW Não Normalizado	93,11%	0,121275	26,69	11,939737

B. Ajuste Fino

Esta seção discute os resultados relativos ao ajuste fino proposto. A Tabela. 2 ilustra, na coluna 1, a média percentual das vezes em que o especialista julgou que o ajuste fino foi aplicado adequadamente (Total Estimado). A coluna 2 traz a média percentual das aplicações do ajuste fino efetivamente realizadas pelo sistema (Total Aplicado). Por fim, a coluna 3 mostra, dentre as aplicações de ajuste fino efetivamente realizadas, qual o percentual de sucesso (Eficiência da Aplicação). Pela análise da Tabela. 2, verifica-se que nos dois primeiros casos (p_3 variando no intervalo 1), a aplicação do ajuste fino ficou bem abaixo da média estimada e no terceiro caso (p_3 variando no intervalo 2), a aplicação ocorreu mais vezes do que o previsto pelo especialista. A análise da coluna 1 mostra ainda que a própria evolução do algoritmo (com versão final não normalizada e p_3 no intervalo 2) reduziu a demanda, estimada pelo especialista, pela aplicação do ajuste fino.

Tabela 2. Uso do ajuste fino.

	Total Estimado (Especialista)	Total Aplicado (sistema)	Eficiência da Aplicação
Intervalo 1 Normalizado	60,56%	38,22%	8,89 %
Intervalo 1 Não Normalizado	44,33%	19,89%	8,95%
Intervalo 2 Não Normalizado	17,22%	27,89%	7,39%

Apesar do baixo percentual de uso, o ajuste fino foi mantido por contribuir na melhora da segmentação nos casos em que foi aplicado, conforme (Fig. 8).

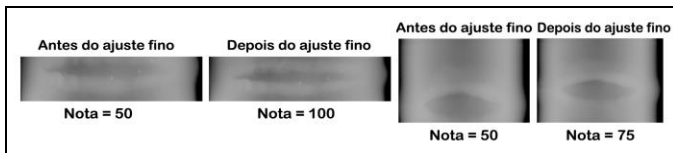


Fig. 8. Contribuição do ajuste fino.

VI. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A contribuição do trabalho consiste em uma nova abordagem que considera duas técnicas PSO e DTW, aplicadas em um problema desafiador na área de reconhecimento de padrões: a segmentação de cordões de solda em imagens radiográficas do tipo PDVD de tubulações de petróleo. Os testes mostram que a segmentação de cordões de solda utilizando a abordagem proposta obteve resultados promissores.

O PSO convergiu com aproximadamente 35 iterações, um valor maior para c_2 foi adotado para uma busca mais influenciada pelo **GBest** e a inércia teve o valor inicial 0.9 e foi decaindo ao longo das iterações. Os detalhes observados sobre os limites do espaço de busca e o tamanho do perfil a ser extraído auxiliam na busca do cordão pelo PSO. A redução do custo computacional do DTW permitiu uma execução mais rápida, reduzindo o tempo médio de execução de 15 minutos para até 30 segundos por imagem. A não normalização no cálculo do DTW teve influência positiva sobre o resultado, ao produzir uma segmentação mais precisa do cordão.

A inspeção de radiografias de tubulações de petróleo é uma tarefa subjetiva e somente um inspetor qualificado deve emitir um laudo técnico. Desta forma, a abordagem proposta acrescenta agilidade na segmentação de cordões de solda para que posteriormente uma detecção de defeitos possa ser realizada por um inspetor laudista.

Para trabalhos futuros propõe-se realizar uma comparação entre a abordagem proposta com o PSO e o DTW e outras técnicas de análise de séries temporais como função de avaliação do PSO. Propõe-se também ampliar o banco de dados de imagens a serem analisadas, bem como buscar na literatura técnicas de detecção de cordões PDVD que possam servir de comparação para validação deste trabalho visto que há uma escassez de trabalhos baseados em radiografias do tipo PDVD.

Reconhecimento

A equipe agradece ao CNPq e Capes pelo auxílio financeiro e ao Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobras (CENPES) pelas imagens utilizadas na pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] Telles, P. C. S. "Tubulações Industriais - Materiais, Projeto e Montagem". 10ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- [2] Andreucci, R. "Radiologia Industrial". Ed. Jul/ 2014. Andreucci, Assessoria e Serviços Técnicos Ltda. 2014. <Disponível em: www.abendi.org.br>.
- [3] Kroetz, M. G. "Sistema de apoio na inspeção radiográfica computadorizada de juntas soldadas de tubulações de petróleo". Dissertação (Mestrado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, CPGEI, Curitiba, 2012.
- [4] Felisberto, M. K; Lopes, H. S; Centeno, T. M; De Arruda, L. V. R. "An object detection and recognition system for weld bead extraction from digital radiographs". Computer Vision and Image Understanding, v. 102 n.3, p. 238-249, 2006.
- [5] Vaz, M. O." Detecção de cordão de solda em imagens radiográficas do tipo parede dupla vista dupla através do PSO e do DTW". Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná – CPGEI. Julho 2015. <Disponível em: http://www.dainf.ct.utfpr.edu.br/~myriam/Technical_Report_Download/Relatorio_Tecnico_PSO_DTW_MarlonVaz.pdf >.
- [6] Perlin, H ; Lopes, H. S; Centeno, T. M. "Particle Swarm Optimization for Object Recognition in Computer Vision". Lecture Notes in Computer Science, v. 5027, p. 11-21, 2008.
- [7] Waintraub, M. ; Schirru, R. ; Pereira, C. M. N. A. . "Parallel Particle Swarm Optimization Algorithms In Nuclear Problems". In: International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2009, 2009, Rio de Janeiro. 2009
- [8] Kroetz, M., Centeno, T. M., Delgado, M. R., Felisberto, M., Lucas, L. A., Dorini, L. B., ... & Vieira, A. "Genetic algorithms to automatic weld bead detection in double wall double image digital radiographs". In: Evolutionary Computation (CEC), 2012 IEEE Congress on (pp. 1-7). IEEE. Junho. 2012
- [9] Suyama, F. M; Krefer, A; Faria, A. R; Centeno, T. M. "Identificação da região central de cordões de solda em imagens radiográficas de tubulações de petróleo do tipo parede dupla vista dupla". Brazilian Conference on Intelligent Systems, (BRACIS), Fortaleza, 2013
- [10] Liao, T. W; NI, J. "An automated radiographic NDT system for weld inspection: part I—weld extraction". Ndt & E International, v. 29, n. 3, p. 157-162, 1996.
- [11] Kennedy, J; Eberhart, R. "Particle swarm optimization". In Neural Networks. Proceedings., IEEE International Conference on Neural Networks, volume 4, pages 1942–1948. vol.4. 1995.
- [12] Shi, Y; Eberhart, R. "Empirical study of particle swarm optimization". In: Evolutionary Computation, 1999. CEC 99. Proceedings of the 1999 Congress on. IEEE, 1999.
- [13] Shi, Y; Eberhart, R. "A modified particle swarm optimizer". In: Evolutionary Computation Proceedings, 1998. IEEE World Congress on Computational Intelligence., The 1998 IEEE International Conference on. IEEE, 1998. p. 69-73.
- [14] Chino, D. Y. T. "Mineração de padrões frequentes em séries temporais para apoio à tomada de decisão em agrometeorologia". Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Computação e Matemática Computacional. Maio. 2014.
- [15] De Azevedo, A. C. G. "Implementação de um método para Reconhecimento On-line de Assinaturas". Trabalho de conclusão de curso (graduação). Universidade de Brasília. Instituto de Ciências Exatas Departamento de Ciência da Computação. Brasília. 2011.
- [16] Sakoe, H; Chiba, S. "Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition". Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions on, v. 26, n. 1, p. 43-49, 1978.
- [17] Jeske, J . "Similaridade de series temporais na bolsa de valores". Trabalho de conclusão de curso (graduação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Informática. Porto Alegre. 2011.
- [18] Paliwal, K, K.; Agarwal, A; Sinha, S, S. "A modification over Sakoe and Chiba's dynamic time warping algorithm for isolated word recognition". Signal Processing, v. 4, n. 4, p. 329-333, 1982.