

Comparação de técnicas para extração de linhas de transmissão

Márcia Luzia Correia de Abreu¹

Maria Luiza Fernandes Velloso¹

Guilherme Lúcio Abelha Mota¹

¹ Universidade do estado do Rio de Janeiro - UERJ

Rua São Francisco Xavier, nº 524, Pavilhão Reitor João Lyra Filho, 5º andar, sala 5028-D,

{marcia.luzia.ca, guimota}@gmail.com

m luiza@uerj.br

Abstract. In order to maintain their transmission corridor, utilities need information about their condition. Regular inspections and spatial data collecting are needed in order to address issues as facility inventory (poles, structures, towers ...), maintenance planning, right-of-way management, vegetation management, among others. Graphical elements of geospatial information can be divided into points, lines, planimetric and three-dimensional features. Power transmission lines are important linear topographic features, and this work compares different techniques based on edge detectors, Hough transform, Radon transform, and mathematical morphology, to extract power transmission lines from aerial images. These results had evaluated and compared producing tables of efficiency for each procedure. The technique used to Hough transform obtained better results in images with higher contrast. The edge detection using mathematical morphology, in real images does not have good visualization, because real images submit gray levels very close to one another, it is a problem. The interpretation of the aerial images is a task that requires a person with extensive experience in classification of images, the automation of this process will improve the performance for this type of classification. In the case of this article, all the work of comparison and analysis is performed with real images and the digital processing is carried out with the computational tool MATLAB.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, sensoriamento remoto, processamento de imagens.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil (Leão, 2009), dentre as fontes primárias e secundárias de energia a fonte hidráulica é a que mais contribui para produção de energia elétrica (73,1%). Como os locais produtores estão situados quase sempre em regiões distantes dos centros consumidores, são necessárias grandes extensões de linhas. Para isso, são necessários estudos que permitam monitorar as condições de estado dos componentes das linhas de transmissão (LT) a partir de imagens de sensores remotos, possibilitando a adoção de medidas preventivas no sentido de sua substituição antes da ocorrência de falhas.

No trabalho de Rangel et al (2009), é proposto uma inspeção das LT por veículo aéreo não tripulado, que voa a baixa altitude. Outros trabalhos também propõem monitoramento em tempo real (Claro et al, 2006), onde também são colocadas câmeras nas torres de transmissão, controlando a faixa de servidão das LT. Yan et al (2007) analisa as propriedades das LT e apresenta um algoritmo para a extração das LT de imagens aéreas extraídas de uma câmera digital acoplado a um helicóptero, usando Transformada de Radon (TR) (Deans, 1981), para extrair os segmentos de linhas, utilizando um método de agrupamento para fazer um link entre segmentos.

Há aqueles (Oliveira et al, 2005), que fazem todo o monitoramento da faixa de servidão das LT, utilizando Sistema de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto, trabalhando com imagens de alta resolução. Este monitoramento envolve Processamento Digital de Imagem (PDI) (Gonzalez e Woods, 1993).

O presente trabalho visa realizar inspeções preditivas, visando à detecção de não conformidades dos componentes de Linhas de transmissão, evitando assim a ocorrência de falhas. Isto é feito de forma a avaliar as técnicas trabalhadas para uma consequente extração das LT (Burns, 1986), com imagens aéreas oriundas de sensoriamento remoto.

Neste contexto, este artigo se ocupa da automação da detecção dos cabos das linhas de transmissão em imagens aéreas, imagens estas que apresentam os espectros visíveis, RGB. Se por um lado trabalhar com imagens em RGB, de baixa resolução, representa uma limitação, por outro lado conseguir um resultado eficiente com este tipo de imagens possibilitará soluções práticas a um baixo custo, tendo em vista que hoje as imagens de alta resolução apresentam um custo bem elevado.

2. METODOLOGIA

Dentro da metodologia, várias técnicas foram propostas: a utilização de filtros, como o filtro Canny, utilização experimental da técnica de detecção de bordas SUSAN; uma abordagem prática através de morfologia matemática (MM) (Serra, 1982), e a Transformada de Hough (TH) (Aggarwal, 2006), muito utilizada para extração de linhas. A combinação destas técnicas é o enfoque principal do trabalho.

O trabalho de comparação e análise foi realizado com imagens reais, sendo o tratamento digital realizado através da ferramenta computacional MATLAB, apresentando duas abordagens e seis procedimentos. Observe abaixo:

Tabela 2.1 - Discriminação de Procedimentos dentro das duas Abordagens.

1ª ABORDAGEM → Detecções distintas			
PROCEDIMENTOS	REALCE	DETECÇÃO DE BORDAS	EXTRAÇÃO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO
1º	<i>Realce</i>	<i>Filtro Canny</i>	Transformada de Hough
2º			Transformada de Hough utilizando Transformada de Radon
3º		<i>Detector Susan</i>	Transformada de Hough
4º			Transformada de Hough utilizando Transformada de Radon
2ª ABORDAGEM → Detecção por morfologia matemática			
5º	<i>Realce</i>	Filtragem Morfológica	Transformada de Hough
6º		+ <i>Detector Morfológico de Bordas Externas</i>	Transformada de Hough utilizando Transformada de Radon

- O Detector de Bordas SUSAN → Esta técnica realiza uma filtragem não-linear. É usada para definir que partes da imagem são estreitamente relacionadas a cada pixel individual; cada pixel associa com ele uma região local da imagem onde o brilho é similar a esse pixel. Esta técnica tende a ser resistente a ruídos e rápida.
- Filtragem Morfológica → Esta filtragem será realizada por operações morfológicas, a qual realiza suas operações considerando principalmente a forma das estruturas representadas na imagem, as noções de conjunto e operações lógicas são requisito fundamental para o bom entendimento desta abordagem. As operações são: dilatação, erosão, soma e subtração.
- Detector Morfológico de Bordas Externas. → A imagem oriunda de pré-processamento será encaminhada a detecção inicial das bordas com operadores morfológicos, chamado de detector de bordas externas, onde são realizadas operações morfológicas de adição, subtração, abertura e fechamento.
- Utilização da Transformada Hough → É uma técnica para reconhecimento, em imagens computacionais, de forma que sejam facilmente parametrizadas, ou seja, que possua uma equação com fórmula conhecida, tais como retas, círculos e elipses, entre outras, de uma equação, reconhecendo o ponto inicial e final de um segmento de linha.
- Utilização da Transformada de Hough Alternativo, com Transformada de Radon → A técnica calcula a TH através da TR. A TR computa as projeções de uma matriz ao longo de direções específicas. A TR pega múltiplas projeções de vigas paralelas de uma imagem de diferentes ângulos e rotações. Tais parâmetros são dados da TR que estão intimamente ligados a TH, daí se utilizar a TR e TH conjuntamente. Estes dados farão parte de acumuladores. Os valores máximos são candidatos aos parâmetros da linha. A localização dos pontos máximos (picos) corresponde à localização das linhas retas. Os valores de limiarização aumentam a sensibilidade da extração de linhas.

2.1. Eficiência Metodológica

Devido aos tipos de imagens e as técnicas aplicadas, foi criada uma forma de avaliar a eficiência de cada técnica. Tendo como base resultados ideais de extração de linhas, isto é, se deseja verificar o quanto as linhas e/ou segmentos extraídos se aproximam das originais, dentro de certos limites. Temos:

- Calcula-se para cada linha e/ou segmentos em cada imagem a área mais provável das linhas de transmissão serem encontradas. A área mais provável, em uma imagem está nos

intervalos: $\rho - \Delta\rho$ a $\rho + \Delta\rho$, onde ρ é a localização do pixel e $q - \Delta q$ a $q + \Delta q$, onde q é o ângulo. Adotou-se $\Delta q = 3$ e $\rho = 0,5^\circ$.

Obs.: Este processo será realizado para cada linha e/ou segmento em cada imagem.

- As linhas e/ou segmentos encontrados dentro destes intervalos serão considerados como localizados de forma positiva (positivos - P). Os falsos positivos - FP são aquelas linhas e/ou segmentos encontrados fora da área de incidência provável. Os falsos negativos - FN são aquelas linhas e/ou segmentos que deveriam ter sido encontrados nas áreas de provável incidência. Há normalização dos valores encontrados, quando necessário.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Dados de Testes

O material para este artigo foi cedido gentilmente por Furnas Centrais Elétricas. Figuras do entorno da subestação onde aparecem as linhas de transmissão da Usina de Serra da Mesa, em Goiás, na região Centro-Oeste do Brasil. Localizada na Bacia do Alto Tocantins, que totalizam 1.275 MW, responsáveis por energizar o Sistema Interligado Sul/Sudeste/Centro-Oeste, sendo esta usina a maior em volume de água, com uma área de 1.784 km².

3.2. Subdivisão da Imagem

Tendo em vista as imagens adquiridas, foram realizados recortes, de áreas de interesse para análise, que servem para verificar a eficiência dos algoritmos nestas diferentes áreas.



Figura 3.1 - Obtenção do recorte das imagens.

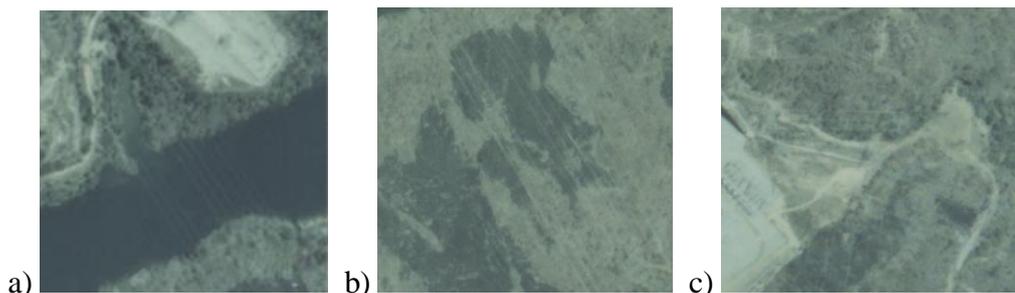


Figura 3.2– Recortes da Figura 3.1, nomeadas “a_agua.tif”, “a_rocha.tif”, “a_mista.tif”, respectivamente.

3.3. Procedimentos

O inverso da imagem foi a técnica de realce utilizada em todas as imagens (Abreu, 2009), pois proporcionou uma visualização mais nítida das linhas de transmissão.

1º Procedimento: *Realce* → *Filtro Canny* → Transformada de Hough

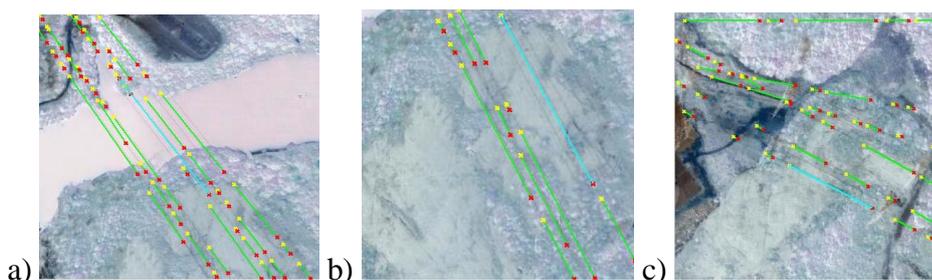


Figura 3.3 - Extração de linhas das imagens da Figura 3.2, respectivamente, para o 1º procedimento.

2º Procedimento: *Realce* → *Filtro Canny* → TH utilizando TR

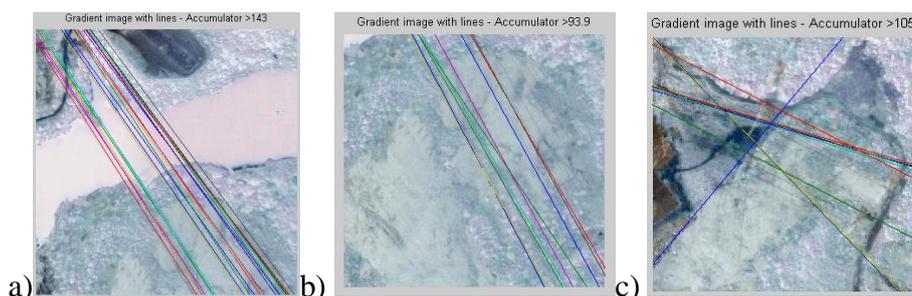


Figura 3.4 - Extração de linhas das imagens da Figura 3.2, respectivamente para o 2º procedimento.

3º Procedimento: *Realce* → *Detector Susan* → Transformada de Hough

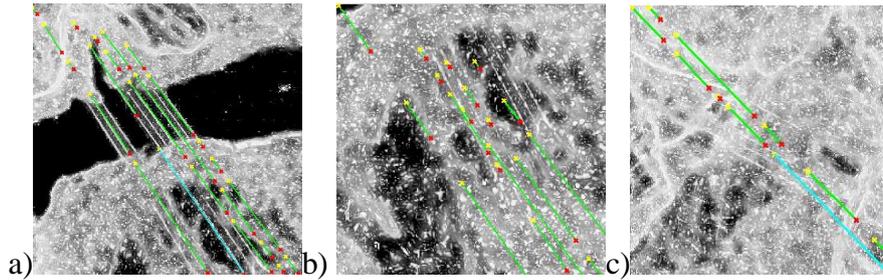


Figura 3.5 - Extração de linhas das imagens da figura 3.2, respectivamente, para o 3º procedimento.

4º Procedimento: *Realce* → *detector Susan* → TH utilizando TR

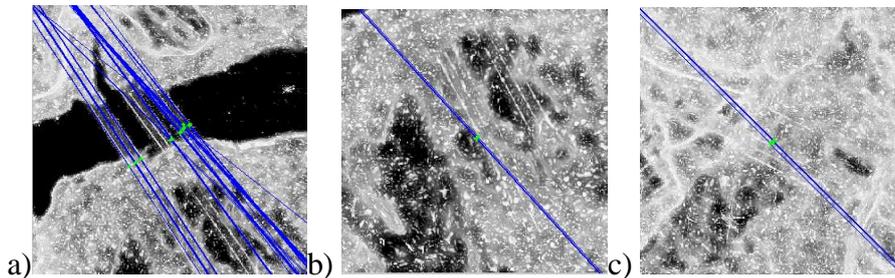


Figura 3.6 - Extração de linhas das imagens da figura 3.2, respectivamente, para o 4º procedimento.

5º Procedimento: *Realce* → *Filtragem Morfológica + Detector Morfológico de Bordas Externas* → Transformada de Hough

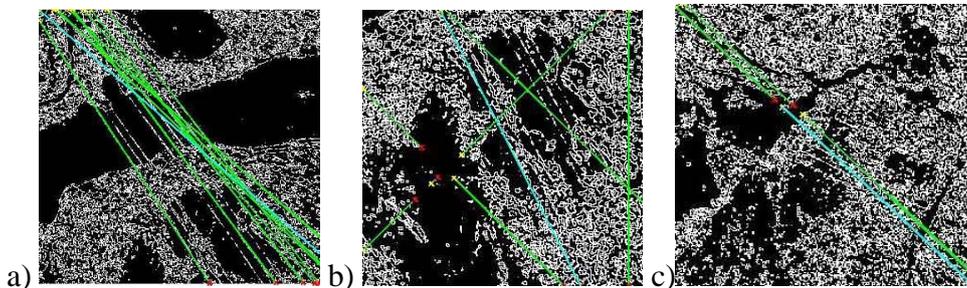


Figura 3.7 - Extração de linhas das imagens da figura 3.2, respectivamente, para o 5º procedimento.

6º Procedimento: *Realce* → *Filtragem Morfológica + Detector Morfológico de Bordas Externas* → TH utilizando TR.

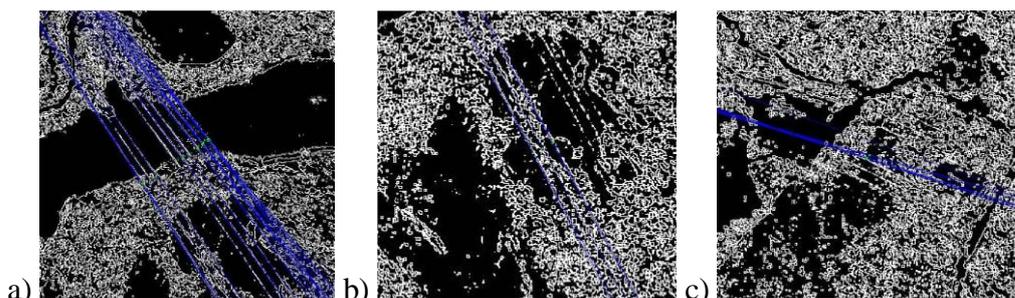


Figura 3.8 - Extração de linhas das imagens da figura 3.2, respectivamente, para o 6º procedimento.

Tabela 3.1 - Quadro Comparativo dos procedimentos para a imagem “a_agua”.

	Linhas Presentes na imagem original	Linhas Reconhecidas P	Linhas não percebidas FN	Falsas linhas encontradas FP	Nº de segmentos encontrados certos	Nº de segmentos encontrados errados	
P R O C E D I M E N T O S	EXTRAÇÃO POR TRANSFORMADA DE HOUGH						
	1º	9	7	2	0	39	15
	2º	9	5	4	1	26	0
	3º	9	3	6	5	9	5
	EXTRAÇÃO POR TH UTILIZANDO TR						
	4º	9	4	5	0	10	0
	5º	9	4	5	4	16	4
	6º	9	9	0	muitas	9	8

Tabela 3.2 - Quadro Comparativo dos procedimentos para a imagem “a_rocha”.

	Linhas Presentes na imagem original	Linhas Reconhecidas P	Linhas não percebidas FN	Falsas linhas encontradas FP	Nº de segmentos encontrados certos	Nº de segmentos encontrados errados	
P R O C E D I M E N T O S	EXTRAÇÃO POR TRANSFORMADA DE HOUGH						
	1º	9	4	5	0	10	0
	2º	9	0	9	5	0	2
	3º	9	1	8	7	9	7
	EXTRAÇÃO POR TR UTILIZANDO TR						
	4º	9	5	4	4	9	9
	5º	9	0	9	2	2	2
	6º	9	3	6	4	4	1

Tabela 3.3 - Quadro Comparativo dos procedimentos para a imagem “a_mista”.

	Linhas Presentes na imagem original	Linhas Reconhecidas P	Linhas não percebidas FN	Falsas linhas encontradas FP	Nº de segmentos encontrados certos	Nº de segmentos encontrados errados	
P R O C E D I M E N T O S	EXTRAÇÃO POR TRANSFORMADA DE HOUGH						
	1º	12	4	8	6	18	23
	2º	12	0	12	2	0	10
	3º	12	0	10	6	2	5
	EXTRAÇÃO POR TH UTILIZANDO TR						
	4º	12	2	10	6	2	5
	5º	12	0	9	2	3	3
	6º	12	1	11	7	1	7

4. CONCLUSÃO

A extração de linhas na literatura é vista, como uma área do processamento digital de difícil formulação, não sendo assim uma análise trivial. A técnica que utilizou a TH obteve melhores resultados em imagens com maior contraste, como na imagem “a_agua”. Utilizar o detector SUSAN sugere imagens com bordas mais bem definidas. A detecção de bordas

utilizando morfologia matemática, em imagens reais é de difícil visualização, pois imagens reais apresentarem níveis de cinza muito próximos, o que é um complicador. Esta técnica apresentou um bom número de segmentos detectados corretamente. Sabe-se também que, quanto melhor a qualidade da imagem, melhor será a extração. Um fator que dificultou o bom reconhecimento das LT foi a qualidade das imagens originais.

Futuramente outras análises utilizando outras escalas e tratamentos onde a resolução espacial chegue ao nível dos componentes das linhas de transmissão e/ou expandindo-se seus contornos, podem ser realizadas.

5. REFERÊNCIAS

Abreu, Márcia Luzia Correia. **Extração de Linhas de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 2009. 131p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação, Ênfase – Geomática) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.

Aggarwal, Nitin. **Line Detection in Images Through Regularized Hough Transform**, Student Member, *IEEE*, and William Clem Karl, *Senior Member, IEEE*. Ieee Transactions On Image Processing, VOL. 15, NO. 3, MARCH 2006.

Burns, J.B.; Hanson, A.R.; Riseman, E. M., *Extracting straight lines*. Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 8, pp. 425-455, 1986.

Claro, R. T.; et al. **Desenvolvimento de Sistema de Segurança Patrimonial Aplicado a Linhas de Transmissão de Energia Elétrica**. Disponível em: 23 out. 2009. <http://www.cteep.com.br/port/institucional/artigos/Artigo_0068_001_2006.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2009.

DEANS, STANLEY R. **Hough Transform from the Radon Transform**, IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, VOL. PAMI-3, NO. 2, MARCH 1981

FURNAS Centrais Elétricas S.A. [S.I.: s.n., 200—]. Disponível em: <http://www.furnas.com.br/hotsites/sistemafurnas/usina_hidr_serramesa.asp>. Acesso em 16 de agosto de 2009

Gonzalez, R.C. and R. E. Woods- Digital Image processing, Addison Wesley, Pub. Co. 1993 – ISBN 0-201-60078-1.

Gonzalez, R.C. and R. E. Woods-Digital Image processing, Addison Wesley, Pub. Co.199 ISBN 0-201-60078-1.

Guangjian Yan, et al. **Automatic Extraction of Power Lines from Aerial Images**. IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters, VOL. 4 NO. 3, july 2007.

Leão, Ruth, *GTD – Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica* [Apostila]. Universidade Federal do Ceará Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica. 2009.

Oliveira, Francisco Henrique de; Wosny, Guilherme Clasen; Dal Santo, Mariane Alves. **Análise e monitoramento das Linhas de Transmissão e Faixas de Servidão, utilizando SIG**. UDESC. Disponível em: <www.geolab.faed.udesc.br/publicacoes/.../SIGSUL_2005.pdf>. Acesso em: 23-08-2009.

Rangel, Rodrigo Kuntz; et al. **Sistema de Inspeção de Linhas de Transmissão de Energia Elétrica utilizando veículos aéreos não tripulados**. Brazilian Symposium on Aerospace Eng. & Applications. 2009

Serra, J. **Image Analysis and Mathematical Morphology**. London. Academic Press Inc. (LONDON) LTD. 1982.