



ANALYSIS OF RECORDED SPEEDS FROM LRT TACHOGRAPHS USING IMAGE PROCESSING

Lucas Gouveia Omena Lopes

lucasomena9@gmail.com

Universidade Federal de Alagoas

Av. Lourival Melo Mota, S/N - Tabuleiro do Martins, 57072-900, Maceió - AL, Brasil

José Wellington Pedro da Silva Filho

wpedrosf@gmail.com

Companhia Brasileira de Trens Urbanos

R. Barão de Anádia, 121 - Centro, 57020-630, Maceió – AL, Brasil

Abstract. *This paper focus in the analysis of recorded speeds from LRT tachographs using image processing. Tachographs are mandatory equipment for commercial vehicles that carry loads and passengers. The main function of this device is to serve as data source for transportation companies and inspection agencies in case of infractions. However, manufacturers do not develop effective tools for practical and accurate interpretation of the measured speeds, making this task costly and subject to error. In order to attend this demand, this paper proposes a methodology for the analysis of tachograph speed data in LRTs using image processing. The methodology presented has the advantage of being an automated software and having an adjustable precision. Calibration tests are performed for the strategy using travel data recorded by the tachographs of LRTs. These tests are also used as a base to improve the user interface of the software. The initial results show a good correspondence with the real values measured by the traffic engineers. In addition, the strategy shows a significant time reduction in the interpretation of the data of interest. The project is a joint initiative between members of CBTU and UFAL, being able to constantly evolve and create opportunities for new projects.*

Keywords: *Tachographs, Image Processing, Light Rail Transit*

INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma metodologia para análise das velocidades registradas pelos tacógrafos dos Veículos Leves sobre Trilhos (VLTs), fazendo uso do processamento de imagens. A estratégia apresentada é capaz de identificar as paradas dos veículos, computar deslocamentos e velocidades médias dos trechos de interesse. Os tacógrafos são a principal fonte de informação acerca das viagens dos veículos. Por conta disso, a análise de seus dados deve ser feita de maneira eficiente e criteriosa pelos engenheiros e operadores de transporte. Existem, portanto, metodologias e recursos computacionais na literatura que tem o objetivo de interpretar esses dados para obtenção das informações de interesse. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta uma estratégia alternativa, fazendo uso do processamento de imagens.

1 RELEVÂNCIA DO TEMA

Os tacógrafos são equipamentos de grande relevância no tráfego de veículos, uma vez que estes dispositivos armazenam os dados de velocidade durante o trajeto. A falta desse equipamento no veículo não é permitida por lei.

Como exemplo da importância do tacógrafo, pode-se mencionar o acidente ocorrido entre uma locomotiva e um ônibus na Região Metropolitana de João Pessoa, no qual três pessoas morreram e muitas outras ficaram gravemente feridas (G1, 2016). A locomotiva da Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU) de João Pessoa não dispunha de tacógrafo, o que impossibilitou a averiguação dos dados armazenados, tais como a verificação da velocidade praticada no momento da colisão, da distância de frenagem e dos procedimentos adotados pelo condutor.

Mediante ao acidente ocorrido na Paraíba, a Engenharia de Transporte da CBTU Maceió resolveu analisar os dados dos tacógrafos dos trens de forma diária, verificando o cumprimento das velocidades máximas estabelecidas e das precauções, nas quais os condutores devem trafegar com velocidade restrita.

Entretanto, para a realização do controle de tráfego supracitado, os Engenheiros esbarraram em um grande problema, o modelo piloto para análise dos dados de todas as viagens de um dia operacional levava cerca de 8h de trabalho manual, com preenchimento de dados em uma planilha para a conclusão dos resultados. Considerando que a jornada de trabalho desses profissionais é de 8h/dia, então a análise era praticamente inviável, todavia extremamente necessária.

Diante da relevância desse controle, os dois Engenheiros dividiram as tarefas e começaram em julho de 2016 a realizar a análise diária dos dados. Verificou-se que o cumprimento das restrições de velocidade estabelecidas era praticamente 0% em todos os dias.

Após um árduo trabalho de educação de tráfego, o cumprimento das precauções passou a ser aproximadamente 70% ao longo dos dias do mês de dezembro de 2016. Entretanto, o acúmulo de atribuições para os profissionais da Engenharia de Transporte da CBTU Maceió acabou inviabilizando o controle de tráfego com esse modelo piloto, o qual demandava elevado tempo de análise. Então, havia uma necessidade imperiosa de uma ferramenta que

possibilitasse uma análise eficiente em um tempo muito inferior, possibilitando assim, retomar a análise dos dados dos tacógrafos dos trens de forma diária.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tacógrafos

De acordo com o Artigo 105 do Código de Trânsito Brasileiro o Tacógrafo, ou cronotacógrafo, é previsto como equipamento obrigatório para veículos que transportam cargas e passageiros. A principal função dessa ferramenta é servir como fonte de dados, tanto para a empresa responsável pelos veículos, quanto para órgãos legais em caso de eventuais infrações. Os tacógrafos registram velocidades em cada instante de tempo das viagens, sendo possível extrair variadas informações de interesse a partir das velocidades aferidas, como distâncias percorridas e procedimentos de frenagem. As informações podem ser registradas de forma analógica, em discos de tacógrafo, ou digitalmente. Todos os registros obtidos pelos tacógrafos são inalteráveis, uma vez que suas informações são utilizadas por órgãos fiscalizadores. Por conta disso, os fabricantes dos dispositivos digitais disponibilizam os dados na forma de arquivos criptografados, podendo ser visualizados por ferramentas através de *softwares* desenvolvidas e distribuídas pelas mesmas empresas. Porém essas ferramentas nem sempre são efetivas, tornando onerosa a obtenção das informações de interesse.

2.2 Processamento de Imagens e Análise de Tacógrafos

Segundo Christensen (1995), a Visão Computacional é uma área de análise para coleta de informações baseada na visão humana através de técnicas de processamento de imagens. Seu uso está cada vez mais popular nas áreas acadêmica, comercial, industrial, de segurança e em várias outras. A literatura apresenta trabalhos que tratam da verificação das informações registradas nos tacógrafos, fazendo uso da visão computacional. Antonacopoulos e Kenedy (2002) apresentam uma metodologia para a análise de discos de tacógrafos através do processamento de imagens. A estratégia apresentou uma eficiência de 94%, mostrando-se interessante uma vez que, como referência, a resolução do CONTRAN 396/11 estipula que os radares de velocidade rodoviários podem apresentar uma margem de erro de 7%. Rygula e Mitas (2010) propõem uma metodologia para a leitura dos discos de velocidade, que toma proveito de transformações geométricas, transformando as imagens circulares em gráficos retangulares. Ambas as estratégias têm por objetivo tornar a interpretação dos dados dos tacógrafos um procedimento automatizado e reduzir o tempo de verificação das informações pelos engenheiros de transporte. Porém as metodologias apresentadas não se aplicam a registros de tacógrafos digitais. A proposta do presente trabalho é a obtenção de uma ferramenta capaz de ler as informações de tacógrafos digitais e interpretá-las, fazendo uso de processamento de imagens através da leitura dos campos escalares RGB.

Uma imagem pode ser definida como um campo escalar, $f(x,y)$, em que x e y são coordenadas cartesianas. Cada par coordenado representa um elemento que pode ser chamado de elementos pictóricos, elementos de imagem, pels e, mais comumente, pixels. Para representar cores, cada elemento carrega informações capazes de se combinar e formar a cor almejada. Existem alguns padrões de cores como, por exemplo, HSI, CMYK e o mais comum RGB. O acrônimo RGB deriva de *Red*, *Green* e *Blue*, e recebe esse nome, pois cada pixel carrega três valores de intensidade correspondente a cada uma dessas cores. Richard e Woods

(2010) falam que a maioria das cores visíveis ao olho humano podem ser compostas por uma combinação dessas três bases. Utilizando os valores do campo escalar RGB fornecido por uma imagem de tacógrafo, é possível isolar os armazenar os dados da função velocidade pelo tempo. A partir da determinação dos dois vetores que contém as velocidades e tempos, é possível obter as demais grandezas de interesse, como deslocamentos, velocidades médias e máximas nos trechos da viagem.

No desenvolvimento do ambiente computacional, utiliza-se a biblioteca OpenCV. Segundo Eric Gregory (2012), Open Source Computer Vision Library (OpenCV) é uma coleção de algoritmos colocados juntos em uma biblioteca a ser utilizado pela indústria e academia para aplicações de visão computacional e pesquisa.

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento do ambiente computacional para análise das velocidades foi dividido em três macro etapas, como descrito na Figura 1.

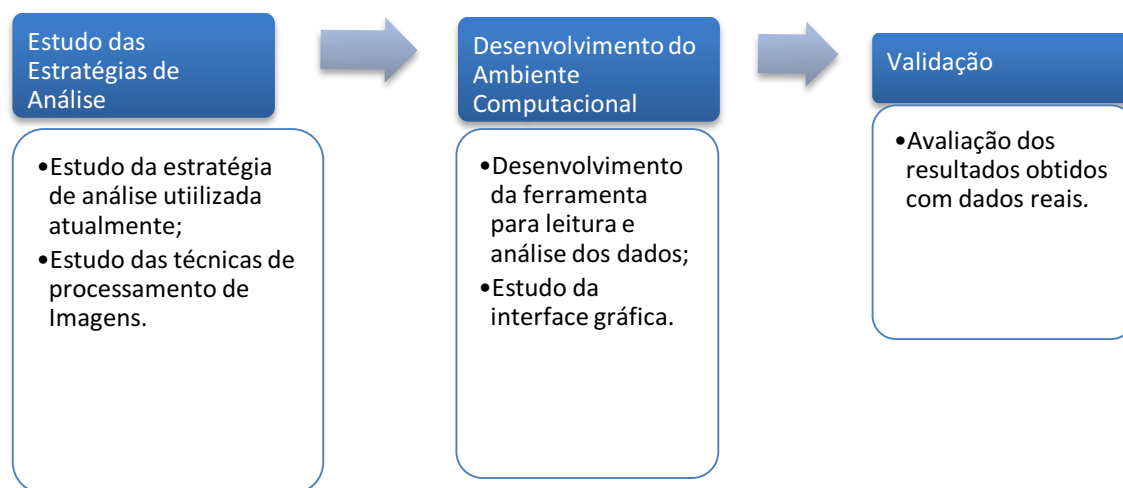


Figura 1 – Etapas do Trabalho

A primeira macro etapa consiste no estudo da estratégia atualmente utilizada na CBTU para análise dos dados, bem como das técnicas de processamento de imagens. A metodologia utilizada pelos engenheiros de transporte consiste na análise de deslocamentos fornecidos pelo *software* de leitura de dados L1000Report, fornecido pela empresa Actia fabricante dos tacógrafos. Essa ferramenta é capaz de mostrar o gráfico da velocidade em função do tempo em formato de imagem, e estimar o deslocamento para períodos de 24 horas, 15 minutos e 45 segundos. Por conta dessa limitação, a metodologia usa os dados de deslocamento de 45 segundos, tomado como ponto de partida as estações (que possuem velocidade nula), para estimar as velocidades médias e máximas dos trechos de interesse. A Figura 2 ilustra a saída do *software* de leitura fornecido pelo fabricante para um período de 15 minutos. Nessa etapa também é realizada uma revisão nas técnicas de processamento de imagem que podem extrair as informações fornecidas pelo L1000Report de forma automatizada.

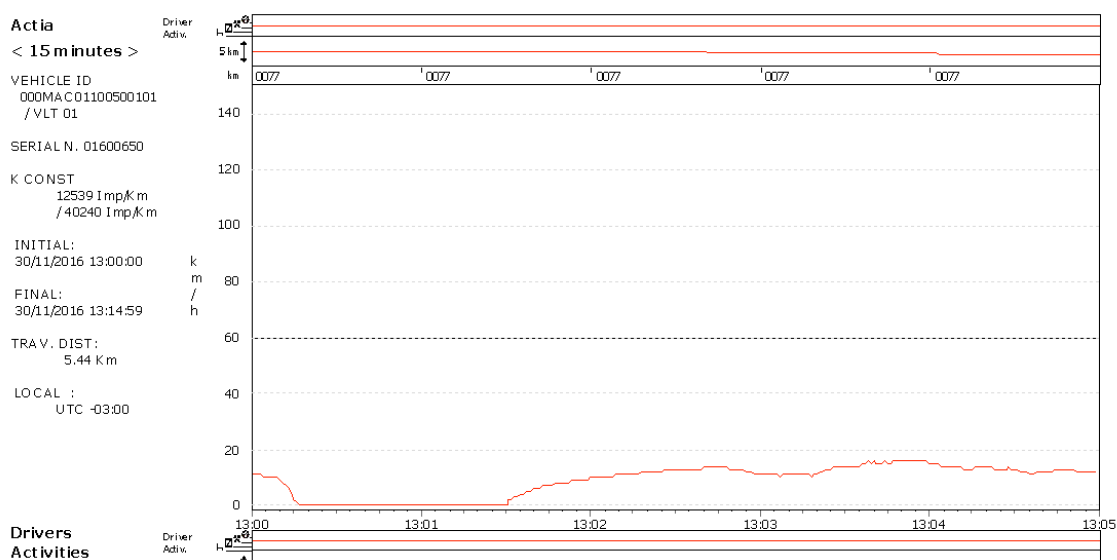


Figura 2 – Leitura de Dados do Programa L1000Report

Após a revisão e estudo das técnicas de análise, é implementada a estratégia que faz uso do processamento de imagens. Inicialmente é utilizado uma planilha em Excel associado a um *software* desenvolvido na linguagem Python e fazendo uso da biblioteca OpenCV. Faz-se um estudo da melhor configuração de interface para que um usuário, mesmo leigo, possa utilizar sem dificuldades. Através de testes iniciais utilizados na calibração da estratégia, desenvolve-se uma versão da mesma na linguagem de programação C++. O ambiente computacional desenvolvido em C++ tem seu tempo de análise reduzido em aproximadamente 100 vezes quando comparado com a implementação que utiliza Python.

A terceira e ultima etapa do trabalho consiste na avaliação da resposta do ambiente computacional na leitura e interpretação de dados reais. Os dados são fornecidos pela unidade de Maceió da CBTU, e as respostas são comparadas com as análises obtidas pelos engenheiros de transporte para as mesmas informações. Para o presente trabalho, realiza-se o estudo do caso particular das zonas de precaução de velocidade.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Estudo de caso e validação

Fez-se uso de dados reais registrados por tacógrafos dos VLTs para validar a estratégia proposta no trabalho. O estudo de caso apresentado é a verificação dos trechos de precaução de velocidade, e comparação dois resultados de referência de velocidade média e tempos de permanência aferidos pela estratégia com os valores constatados pelos engenheiros de transporte. Avaliou-se os registros relativos ao mês de novembro do ano 2016, utilizando dados de diferentes VLTs em dias variados. São apresentados parte dos resultados nas Tabela 1 e Tabela 2, juntamente com a Figura 3 que ilustra o erro percentual relativo para as medições realizadas.

Tabela 1 – Análise de Velocidades Médias nas Zonas de Precaução de Velocidade

Data	Veículo	Precaução	Velocidade de Referência (km/h)	Velocidade da Estratégia Proposta (km/h)
3/11/16	VLT-07	337.300-339.200	17,1	17,11
11/11/16	VLT-03	339.200-337.300	22,35	22,37
11/11/16	VLT-02	339.200-337.300	27,14	26,95
17/11/2016	VLT-01	311.725-312.000	12,53	12,34
23/11/2016	VLT-02	339.200-337.300	22,14	22,3
23/11/2016	VLT-01	311.725-312.000	17,68	17,48
24/11/2016	VLT-03	311.725-312.000	9,8	9,81
24/11/2016	VLT-03	324.500-326.000	11,92	12,5
30/11/2016	VLT-01	324.500-326.000	12,8	12,9
30/11/2016	VLT-01	337.300-339.200	18,84	18,7

Tabela 2 – Análise de Tempos nas Zonas de Precaução de Velocidade

Data	Veículo	Precaução	Tempo de Referência (min)	Tempo da Estratégia Proposta (min)
3/11/16	VLT-07	337.300-339.200	7,03	7,09
11/11/16	VLT-03	339.200-337.300	5,56	5,59
11/11/16	VLT-02	339.200-337.300	4,55	4,63
17/11/2016	VLT-01	311.725-312.000	1,3	1,33
23/11/2016	VLT-02	339.200-337.300	5,6	5,61
23/11/2016	VLT-01	311.725-312.000	0,98	0,94
24/11/2016	VLT-03	311.725-312.000	1,67	1,68
24/11/2016	VLT-03	324.500-326.000	9,5	9,2
30/11/2016	VLT-01	324.500-326.000	7,7	7,74
30/11/2016	VLT-01	337.300-339.200	6,5	6,6



Figura 3 – Erros Relativos Percentuais Aferidos

Para os dados analisados, apresentou-se um erro médio relativo as velocidades médias de referência de 1,16% e de 1,54% relativo aos tempos de referência. Se comparado com o erro apresentado pela estratégia de Antonacopoulos e Kenedy (2002), temos que os resultados mostram boa compatibilidade com os dados de referência.

Um ganho significativo é o tempo total demandado para analisar os dados para todas as viagens de um dia. Estima-se que os engenheiros de transporte demandam aproximadamente um tempo de 30 minutos para interpretar os dados de uma viagem de VLT. Isso demanda cerca de 8 horas de trabalho diárias para as 16 viagens, divididas entre dois engenheiros. A análise de cada viagem utilizando o ambiente computacional proposto no presente trabalho demanda entre 4 e 5 minutos, reduzindo o tempo total de análise diária em até oito vezes.

4.2 Interface com o usuário

Nas primeiras etapas do trabalho, fez-se a opção de implementar a estratégia na linguagem de programação Python, para fins de testes. Essa interface inicial foi desenvolvida com base nas recomendações dos engenheiros de transporte da CBTU e servirá de base para interface final desenvolvida utilizando a linguagem C++. A Figura 4 ilustra a interface desenvolvida em Excel em conjunto com Python. Essa interface apresenta células para entrada de dados (em cinza), como quilometro que se localiza a estação mais próxima a precaução, hora de chegada na estação e localização da precaução. Os dados de saída (células em verde) são os horários de entrada e saída das precauções e velocidade média. A interface também tem um campo de imagem, que plota os dados de velocidade (curva em azul) e o ponto de entrada e saída da precaução (retas laranjas).

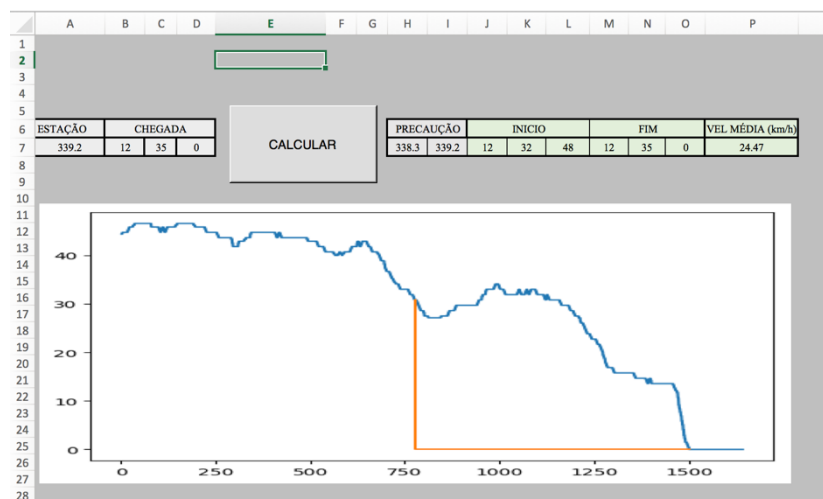


Figura 4 – Interface Gráfica Inicial Desenvolvida com Excel e Python

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram alcançados os objetivos propostos no trabalho, desenvolvendo-se um ambiente computacional para análise de tacógrafos dos VLTs. Os resultados apresentam boa correspondência com os valores de referência obtidos pelos engenheiros de transporte da CBTU, apresentando um erro médio de 1,16% para as velocidades e 1,54% para o tempo de permanência nas precauções. Um resultado significativo é a redução do tempo demandado para processar os dados das viagens diárias, passando de oito horas com a metodologia vigente para uma hora com a estratégia proposta. Também foi desenvolvido e apresentado uma interface gráfica inicial utilizando Excel e Python, que servirá de base para o ambiente computacional implementado em C++.

A ferramenta proposta no presente trabalho representa um ganho significativo no processamento das velocidades, sendo configurável e possibilitando análises mais rápidas e automáticas. Por se tratar um projeto desenvolvido em conjunto por membros da CBTU e da Universidade Federal de Alagoas, o trabalho apresenta possibilidade de constante evolução e pode abrir portas para novos projetos

REFERÊNCIAS

ANTONACOPOULOS, A., KENEDY, D. P. An Automated Tachograph Chart Analysis System. Springer Lecture Notes in Computer Science, University of Liverpool, 2002.

CHRISTENSEN, J. L. C. Vision as process. Springer-Verlag, 1995.

CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO (CTB). Lei Nº 9.503, de 23 de Setembro de 1997

GREGORY, E. Introduction to Computer Vision Using OpenCV. Embedded Systems Conference, Boston, September 2012.

G1 - Colisão Entre Trem e Ônibus Deixa Mortos e Feridos Na Paraíba. 29 de fevereiro de 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2016/02/colisao-entre-trem-e-onibus-deixa-mortos-e-feridos-na-paraiba.html>>. Acesso em: 12 de Julho de 2017.

RESOLUÇÃO CONTRAN Nº 396. Conselho Nacional de Trânsito, 13 de Dezembro De 2011.

RYGULA, A., MITAS, A. W. Analog Tachogram Analysis In The Euclidean Coordinates. Transport Problems, vol. 5, issue 3. Poland, 2010.