

# INTERFERÊNCIA DO TRÁFEGO DE PASSAGEIROS EM RELAÇÃO A FALHAS EM ESCADAS ROLANTES

## INTERFERENCE OF PASSENGER TRAFFIC IN RELATION TO FAILURES IN ESCALATORS

Data de entrega dos originais à redação em: 23/03/2015  
e recebido para diagramação em: 20/06/2016.

Alessandro Lins Alves <sup>1</sup>  
Alexandre Simião Caporali <sup>2</sup>

*O objetivo deste artigo é comprovar que o deslocamento dos passageiros sobre as escadas rolantes (ERs), gera vibrações que podem levar ao acionamento indevido dos sensores de segurança, responsáveis pela parada da ER. Pois, para segurança dos passageiros e também do próprio equipamento, as ERs possuem diversos sensores espalhados em seu corpo. Estes dispositivos são responsáveis pela parada imediata da ER em uma situação de risco iminente, tanto ao passageiro como ao próprio equipamento. Assim, é importante que estas paradas ocorram somente em situações em que sua atuação é realmente necessária, ou seja, somente atuem para evitar uma falha. Pois, tais paradas bruscas podem ocasionar graves acidentes com os usuários. Por exemplo, quedas, escoriações e fraturas. Ocorre que, em diversas ocasiões, os sensores levam os atuadores a atuarem de maneira indevida, fazendo com que a ER pare sem necessidade. Uma das possíveis causas das falsas falhas são as vibrações adicionais, causadas pelo fluxo de passageiros durante a operação normal da ER. Para medir estas vibrações foi desenvolvido um dispositivo de baixo custo para coletar os dados, utilizando um acelerômetro e a plataforma Arduino. São apresentados os resultados preliminares que indicam que estas vibrações podem interferir nos sensores resultando em falsas falhas.*

*Palavras-chave: Vibração. Escadas Rolantes. Detecção de Falhas. Segurança. Arduino. Acelerômetro.*

*The purpose of this paper is to prove that the movement of passenger on the escalators (ERs) generates vibrations that can lead to improper activation of safety sensors, responsible for the ERs stop. Because of the safety of passengers and also because of the equipment itself, the ERs have several sensors spread over its body. These sensors are responsible for the immediate stop of the ER in an imminently hazardous situation for both passengers and the equipment itself. It is therefore important that these stops occur only in situations where their performance is really necessary, that is, it only acts to avoid a crash, because these sudden stops can cause serious injury to users, such as falls, bruises and fractures. In several occasions, these sensors operate improperly, causing the abrupt ER stop. One possible cause of false failures are the additional vibrations, caused by passenger flow during a normal operation of the ER. To measure these vibrations, we have developed a low-cost device to collect data using an accelerometer and the Arduino platform. Preliminary results indicate these vibrations can interfere with sensors, resulting false failures.*

*Keywords: Vibration. Escalators. Fault Detection. Security. Arduino. Accelerometer.*

### 1 INTRODUÇÃO

As escadas rolantes (ERs) são importantes equipamentos que auxiliam no deslocamento de pessoas, tanto como item de conforto, quanto para transportar grandes desníveis arquitetônicos, mas principalmente para direcionar corretamente o fluxo de passageiros. Normalmente são utilizadas em locais com grande concentração de pessoas, tais como: *shopping centers*; aeroportos; estações de trem; estações de metrô; etc.

Atualmente existe uma grande preocupação das empresas com a questão da confiabilidade e disponibilidade de seus equipamentos. Idealmente é desejado que todo equipamento seja seguro para quem o utiliza e que esteja disponível para uso durante todo seu ciclo de operação. Porém toda máquina pode apresentar alguma falha de funcionamento.

A definição do conceito de falha, citada no parágrafo anterior, de acordo com Pinto (1999) baseada na NBR 5462-1994, é a seguinte:

"A falha é o término da capacidade de um item desempenhar a função requerida. É a diminuição total ou parcial da capacidade de uma peça, componente ou máquina de desempenhar a sua função durante um período de tempo, quando o item deverá ser reparado ou substituído. A falha leva o item a um estado de indisponibilidade."

Por estes motivos as falhas são situações indesejáveis nos equipamentos, pois podem torná-los indisponíveis. Embora a situação de falha seja inerente a qualquer tipo de dispositivo, é necessário mitigá-la, quando possível, ou ao menos diminuir seus efeitos.

Em levantamentos preliminares realizados durante os anos de 2012 e 2013, verificou-se que no parque instalado de escadas rolantes da Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô SP, cerca de 68% das falhas ocorridas nas ERs pertencentes a linha 5 lilás são encerradas pelo corpo técnico sem que se saiba o real

1 - Engenheiro Elétrico - Mestre em Automação e Controle de Processos pela Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP. < ales.lins1@gmail.com >.

2 - Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo - Coordenador do Mestrado Profissional em Automação e Controle de Processos do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP. < alexandre.caporali@gmail.com >.

motivo que levou a parada do equipamento. Ou seja, há um grande indício de que estas falhas não foram eventos reais, mas sim algum erro de diagnóstico gerado pelos sensores de segurança.

As modernas escadas rolantes são derivadas de invenções com mais de 150 anos de idade, a primeira patente deste equipamento é de 1859, e foi requerida por Natham Ames. Na figura 1 pode-se ver seus esboços. Desde então se mantém sua concepção mecânica básica. (CABANELLAS et al., 2008). Logo em seus primeiros anos foram patenteados diferentes sistemas visando itens de segurança. Como por exemplo, freios, parada de emergência e controle de velocidade. Alguns destes sistemas estão descritos em John (1913); Woodward (1925); Radcliffe (1926); Blackburne (1926). Ou seja, desde sua invenção até os dias atuais, foram desenvolvidos e patenteados sistemas que visam melhorar a segurança e o conforto dos usuários além de minimizar os custos com energia, ou que tratem especificamente sobre métodos de análise ou redução de falhas nestes sistemas.

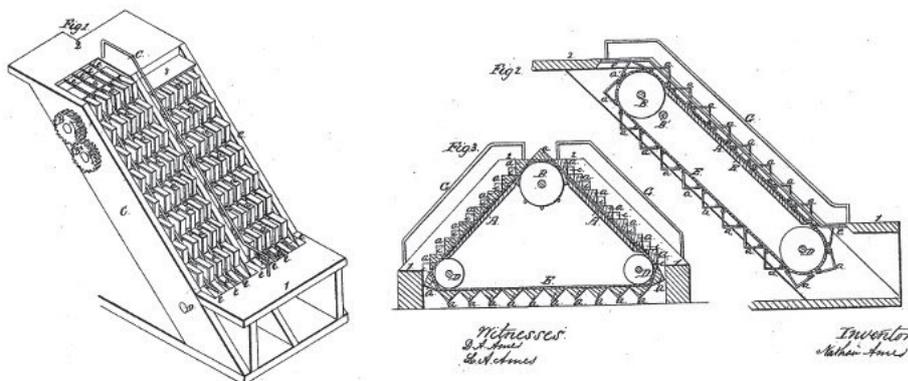


Figura 1 - Modelo de escada rolante. Fonte: Ames, 1859

Existem diversos fatores que podem levar uma ER a parar seu funcionamento durante sua operação. Dentre estes fatores pode-se citar tanto falhas de elementos pertencentes ao equipamento como os componentes mecânicos, elétricos ou eletrônicos, sinalizações corretas dos sensores de segurança da ER (onde realmente o equipamento deve parar), sinalizações incorretas dos mesmos sensores (onde ocorre a parada indevida da ER), ou ainda eventos externos ao equipamento, tais como atos de vandalismo. Como dito anteriormente, a parada brusca deste equipamento pode causar acidentes (Al-SHARIF et al., 2012) e que cerca de 68% das falhas em escadas rolantes na linha 5 da Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô) tem causas desconhecidas. Além disto, por serem muito importantes nos deslocamentos, os clientes de ERs necessitam que o tempo de parada deste equipamento para manutenção seja o menor possível (TERAZONO et al., 1994).

No ano de 2005, Tsutada et al. propuseram a análise de falhas em ERs através do sensoriamento de um degrau e analisando aspectos de vibração no eixo Z e som. Porém este método tem o inconveniente de necessitar que um degrau seja retirado e substituído por outro instrumentado. Além disto, os instrumentos utilizados são de custo elevado.

Durante seu funcionamento normal, ocorrem diversas vibrações na ER provocadas pela sua

movimentação. Mas em locais de grande concentração de usuários, tais como estações de interligação de metrô, a passagem de um grande número de pessoas de maneira rápida e desordenada pode introduzir outros tipos de vibrações nas ERs. Suspeita-se que estas vibrações adicionais podem levar os sensores a diagnosticar de forma equivocada uma falha. Ao serem acionados, os sensores provocam a atuação de dispositivos de proteção, que atuam sem necessidade real, levando as ERs a pararem em momentos inesperados e desnecessários.

No momento da falha, a parada brusca da ER pode causar o desequilíbrio das pessoas causando diversas lesões tais como: cortes; contusões; aprisionamento de dedos; quedas; escoriações; fraturas; e em certos casos esmagamentos levando até ao sufocamento (Al-SHARIF et al., 2012). Para evitar estes acidentes, as ERs possuem diversos sensores de segurança colocados ao longo de seu corpo, tanto para preservar seu funcionamento, como para manter a segurança dos usuários.

Ou seja, essas falsas falhas podem ocasionar graves acidentes com os passageiros das ERs, além de acarretar custos materiais (deslocamento das equipes de manutenção corretiva sem necessidade) e também imateriais (descontentamento dos usuários devido à indisponibilidade do equipamento).

A fim de confirmar se as vibrações provenientes da passagem dos usuários sobre as ERs influenciam na atuação dos sensores de segurança, foi desenvolvido um aparelho de baixo custo para coletar os dados de vibração. Este aparelho foi projetado utilizando a plataforma de programação aberta Arduino, um microcontrolador ATmega328P da Atmel, um acelerômetro triaxial ADXL 345 da Analog Devices além de um gravador de cartões do tipo *Security Digital* (SD). Este aparelho coletor foi instalado em duas ERs distintas, uma com baixo índice de falhas e outra com alto índice de falhas. Os resultados obtidos são mostrados neste trabalho.

## 2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A fim de comprovar as alegações anteriormente mencionadas, foi desenvolvido neste estudo, um equipamento portátil e de baixo custo, que monitora as vibrações da ER em três eixos X, Y e Z, e grava estes dados em um cartão de dados para posterior análise. Neste trabalho os dados coletados foram analisados utilizando o programa computacional *Matlab*.

O princípio de funcionamento do coletor de dados é detalhado a seguir:

A vibração da ER é monitorada pelo acelerômetro ADXL 345.

O microcontrolador ATmega 348P lê os dados do acelerômetro e os grava em um cartão SD.

Neste trabalho, a maior preocupação é com o comportamento global da vibração da ER, assim o coletor de dados foi parametrizado para ter uma taxa de

amostragem de 400 amostras por segundo e gravar os dados do cartão SD a uma taxa de 90 dados por segundo.

A figura 2 mostra o coletor de dados sendo instalado na parte inferior do degrau de uma ER e os eixos de vibração analisados.



Figura 2 – Analisador instalado em uma ER

### Procedimento do teste

O analisador de vibrações foi instalado em duas ERs usando o seguinte procedimento:

Inicialmente as ERs encontravam-se paradas, pois se pretendia registrar o momento de partida dos equipamentos. Elas então foram ligadas no sentido de descida, após isto, o analisador ficou por duas horas em cada ER.

Para facilidade de leitura dos dados, e também devido a uma limitação do equipamento utilizado, o analisador grava no cartão SD um arquivo de registro de dados a cada dez minutos, totalizando doze arquivos de registro para cada ER. Como estes dados são analisados utilizando o *software* Matlab, os dados registrados são arquivos de computador com a extensão .m, nativa do Matlab. Esta opção foi feita durante o desenvolvimento do programa instalado no analisador, utilizando a plataforma Arduino.

Na figura 3 pode-se observar a vibração da ER1 nos três eixos analisados.

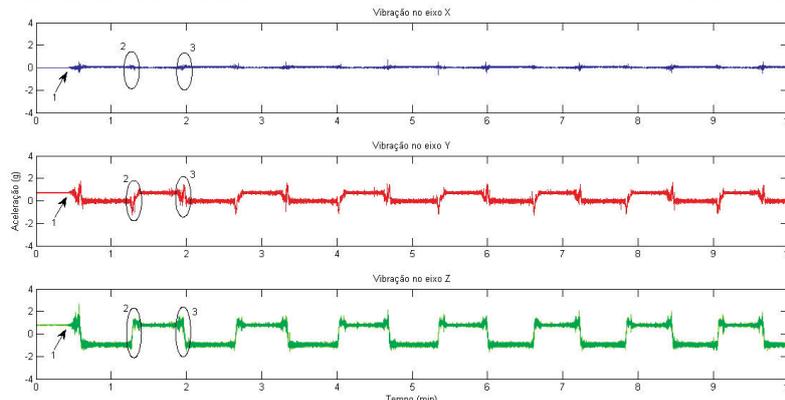


Figura 3 – Vibração nos eixos X, Y e Z da ER1

Pela análise da figura 3 observa-se no ponto 1 o início do deslocamento da ER. Nos pontos 2 e 3 o analisador está instalado embaixo do degrau. Nestes pontos o degrau instrumentado passa pelas guias de recolhimento do mesmo, e é girado em 180°, conseqüentemente ocorre a alteração do eixo de vibração. É possível notar que somente nestes pontos, ocorre uma pequena vibração no eixo X, possivelmente pelo menor atrito entre os degraus e a guia de recolhimento.

Devido à natureza contínua de trabalho das ERs, após a saída do estado de repouso, o padrão de vibração se repete e é o mesmo em todo o tempo que o analisador de vibração ficou instalado.

Na figura 4 pode-se observar a vibração da ER2 nos três eixos analisados.

Através da análise da figura 4 observa-se no ponto 1 o início do deslocamento da ER. Nos pontos 2 e 3 o local em que o degrau instrumentado é recolhido. No ponto 4 a vibração proveniente do deslocamento dos usuários sobre a ER e no ponto 5 a aceleração no momento de recolhimento do degrau.

Comparando-se as figuras 3 e 4, observa-se que a vibração no eixo X na ER1 é de pequena amplitude

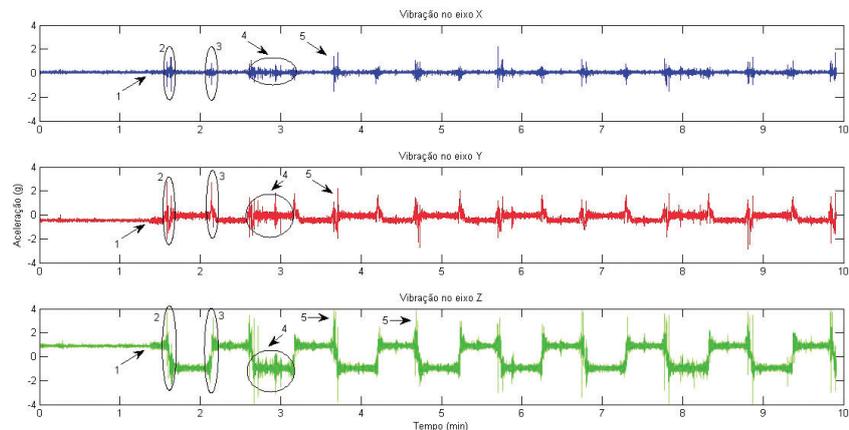


Figura 4 – Vibração nos eixos X, Y e Z da ER2

e aparece somente no momento em que ocorre o recolhimento do degrau que o analisador está instalado. Já na ER2, a amplitude do sinal é maior e ocorre também em outros momentos, por exemplo, quando os usuários estão transitando sobre a ER. Além disso, observa-se que de forma geral, os gráficos da ER1 são mais "limpos" que os da ER2.

Na figura 5 são mostrados dois ciclos de deslocamento da ER2. Nela é destacado nos pontos 1 e 2, o efeito do deslocamento dos passageiros nos eixos Y e Z neste equipamento.

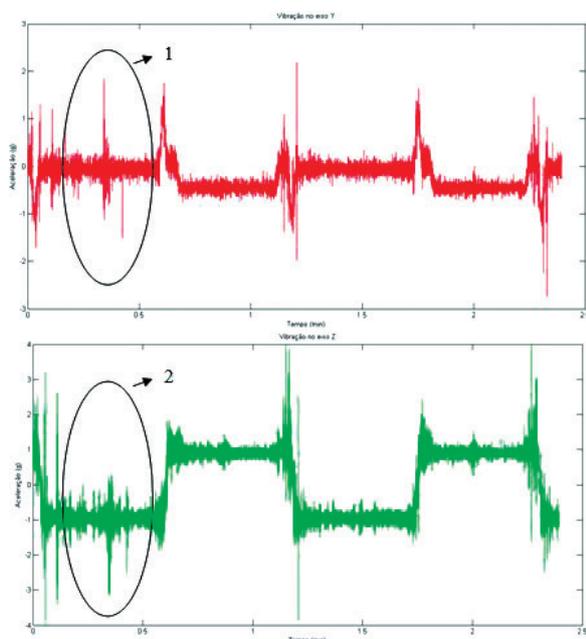


Figura 5 – Efeito dos passageiros sobre a ER2 nos eixos Y e Z

### 3 CONCLUSÕES

Embora esta seja uma análise inicial, a partir dos dados apresentados neste estudo, pode-se observar que a vibração causada pelo deslocamento de uma grande quantidade de passageiros, é intensa o suficiente para ser percebida pelo equipamento de diagnóstico. Pois, na ER instalada em uma estação de Metrô com grande fluxo usuários, verificam-se vibrações adicionais nos eixos Y e Z, o mesmo efeito não foi observado na ER instalada em uma estação com baixo fluxo de usuários. Assim, esta vibração adicional, pode ser um dos agentes causadores da maior incidência de falhas com causas não identificadas nas ERs. Para comprovar esta hipótese, é necessário analisar um maior número de ERs. Outrossim, estes dados iniciais, apontam que cada ER possui um padrão vibracional específico de funcionamento. Este padrão é importante pois, determina o funcionamento normal de uma ER.

Uma vez determinado o padrão operacional normal, as vibrações da ER podem ser utilizadas, para determinar o comportamento vibracional da ER durante uma falha. Assim, em conjunto com outros métodos de análise de falhas, e também utilizando técnicas de confiabilidade de equipamentos, diferenciar as falhas reais de outras em que ocorreram erros de diagnóstico.

### REFERENCIAS

AL-SHARIF, L.; DADO, M.; HABASH, N.; RAWASHDEH, Z.; AL-SHUBBAK, A.; “Modeling and Verification of the Kinematics of passenger falls on escalators”, *Simulation* 2012 **88**, p. 988, Fevereiro 2012.

AMES, N.; “Revolving Stairs” **Patente 25076**, USA, 1859.

BLACKBURNE, F.W.; “Escalator Safety Device” **Patente 1 695 083**, USA, 1926.

Braga, A. P.; Ludemir, T. B.; Carvalho, A. C.; “**Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações**”, LTC, Rio de Janeiro, 2000.

CABANELLAS, J. M.; CANO-MORENO, J.D.; SUÁREZ, B.; CHOVER J.A.; FÉLEZ, J. “Methods for Improving Escalators”, *Elevator Technology* 17, **Proceedings of Elevcon 2008**, pp. 22-33, 2008.

JOHN, G.; “Escalator Brake” **Patente 1 200 502**, USA, 1913.

PINTO, A. K.; Xavier, J. N., “**Manutenção: função estratégica**”, Qualitymark Editora, Rio de Janeiro, 1999.

RADCLIFFE, A.; “Escalator” **Patente 1 682 052**, USA, 1926.

Terazono, N., Matsukura, Y.; “**High Technology in Elevator**”, Ohmsha, Japão, 1994.

TSUTADA, H.; HIRAI, T.; ITOH, Y.; SHIGA, S.; “Fault Diagnosis for Escalator Using Statistical Parameter of Sound and Vibration”, **Proceedings of the Twelfth International Congress of Sound and Vibration (ICSV12)**, Lisboa, Portugal, 11-14 Julho 2005.

WOODWARD, G.E.; “Conveyer” **Patente 1 659 968**, USA, 1925.