

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3

**SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS EM ESCADAS ROLANTES UTILIZANDO
REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

AUTORES

RESUMO

Escadas Rolantes são importantes meios de locomoção dentro de sistemas metroferroviários. Em caso de falhas, elas podem parar bruscamente, podendo gerar graves acidentes. Desta forma, é fundamental que a detecção das falhas nestes equipamentos ocorra de forma correta. Ocorre que os atuais equipamentos de diagnóstico, não conseguem diferenciar uma falha real de uma falsa falha. Em levantamentos preliminares verificou-se que aproximadamente 70% das falhas que provocam a parada das escadas rolantes são falsas. O objetivo deste trabalho é diminuir a incidência de paradas desnecessárias nas escadas rolantes, evitando assim graves acidentes, transtornos aos usuários e também diminuindo custos com manutenção. Para isto, foi desenvolvido um dispositivo de baixo custo para captar os dados vibracionais de uma escada rolante. De posse destes dados, foi realizado um estudo

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

de viabilidade da utilização de uma rede neural artificial do tipo mapa auto-organizável, para que estes dados fossem classificados corretamente e com isto o sistema pudesse diferenciar uma falha real de uma falsa falha. O modelo proposto obteve 77,67% de acerto na classificação das falhas, em relação a outros tipos de sinais provenientes da vibração das escadas rolantes.

INTRODUÇÃO

As escadas rolantes (ERs) são importantes equipamentos que auxiliam no deslocamento de pessoas. Sendo especialmente importantes na ajuda de pessoas idosas e com mobilidade reduzida a transpor grandes desníveis arquitetônicos. São também itens de conforto fundamentais para a boa imagem das empresas que as empregam. Além disto, são utilizadas para direcionar corretamente o fluxo de usuários, levando-os a lugares previamente determinados. Geralmente são utilizadas em locais com grande concentração de pessoas, tais como: *shopping centers*, aeroportos, estações de trem, estações de metrô, etc.

Para o bom funcionamento de uma empresa, é fundamental que seus ativos físicos, estejam em perfeito funcionamento. Pois, a indisponibilidade de algum equipamento certamente lhe causará algum tipo de prejuízo. Estes prejuízos podem ser de ordem material, por exemplo: a não produção de algum bem ou serviço; ou ainda de ordem imaterial, por exemplo: o desgaste da imagem de empresa junto a um cliente que esperava algo que não lhe foi entregue.

Assim, para evitar perdas de qualquer tipo, as organizações prezam por manter seus equipamentos em perfeito estado de funcionamento.

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

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.

De acordo com Silva (2007), a falha de uma máquina pode ser definida como a incapacidade da máquina de desempenhar sua função requerida.

Embora a situação de falha seja inerente a qualquer tipo de dispositivo, é necessário eliminá-la, quando possível, ou ao menos diminuir seus efeitos.

Em relação as ERs, no momento da falha, sua parada brusca 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). Estes problemas podem ocorrer com qualquer um, mas são mais observados em pessoas idosas ou com mobilidade reduzida. 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.

Por outro lado, por ser um equipamento que possui várias partes móveis, como por exemplo: motor, corrimãos, degraus, é natural que durante seu funcionamento ela apresente diversas vibrações provenientes destas partes. Além destas vibrações que são naturais ao equipamento, quando o fluxo de passageiros é muito alto, podem também ocorrer outras vibrações decorrentes da movimentação destes passageiros sobre a ER. A somatória destas vibrações pode levar os sensores de segurança a diagnosticar de forma equivocada uma falha. Ou seja, esta detecção indevida provoca a atuação de dispositivos de proteção, que atuam

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

sem necessidade, levando as ERs a pararem em momentos inesperados. Assim temos o que chamamos de falsas falhas. Por exemplo: a vibração causada pela passagem apressada dos usuários pode gerar uma vibração, que dispara indevidamente o sensor que monitora o cedimento do degrau, desta forma, é enviado um comando ao Controlador Lógico Programável (CLP) que comanda a ER, para que ela pare imediatamente.

DIAGNÓSTICO

A ER não diferencia uma falha real de uma falsa falha; em ambos os casos ela para. Como mencionado anteriormente, as falhas levam a parada brusca da ER e podem ocasionar graves acidentes com os passageiros, além de acarretar grandes custos materiais (deslocamento das equipes de manutenção corretiva sem necessidade) e também imateriais (descontentamento dos usuários devido à indisponibilidade do equipamento). 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).

Segundo Alves 2015, levantamentos de dados 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, pertencentes a linha 5 lilás, cerca de 68% das falhas ocorridas nas ERs foram finalizadas pelo corpo técnico sem que se saiba o real motivo que levou a parada do equipamento. A figura 1 mostra um gráfico com os diagnósticos de encerramento destas falhas.

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

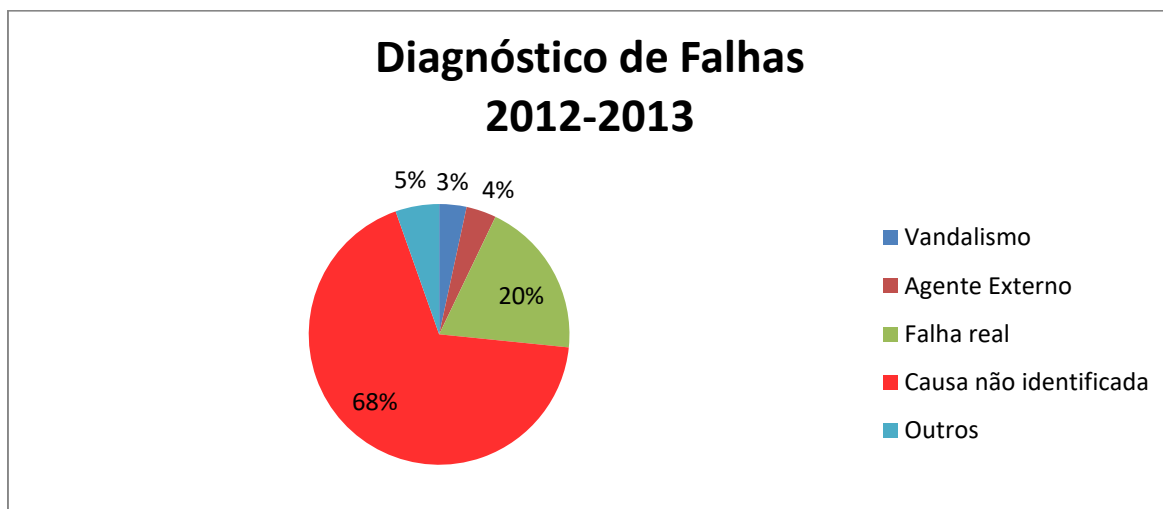


Figura 1 – Distribuição das falhas em escadas rolantes – Linha 5 – Lilás.

Ou seja, há um grande indício de que estas falhas não foram eventos reais, mas sim algum erro de diagnóstico dos sensores de segurança que foi enviado ao CLP da ER.

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 vibracionais da ER e com isto, observar padrões de vibrações em diversos horários do dia e diferentes situações de funcionamento. Assim, foram levantadas as assinaturas de funcionamento da ER. Esses dados foram utilizados em uma rede neural do tipo SOM - *Self Organizing Map* - (Mapa Auto-Organizável) que realizou a separação e classificação destes sinais em normais e de falha. 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.

PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

Para coletar os dados vibracionais das ERs, foi desenvolvido um aparelho coletor de dados portátil e de baixo custo, que monitora as vibrações da ER em três eixos X, Y e Z, e grava

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

estes dados em um cartão de dados, formando assim uma assinatura vibracional do equipamento para posterior análise. Neste trabalho os dados coletados foram analisados utilizando o software *Matlab*. Basicamente, 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).

O princípio de funcionamento do coletor de dados é o seguinte:

- 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.

De forma mais detalhada, o acelerômetro monitora a vibração da ER e a guarda em sua própria memória interna. O microcontrolador lê esta memória e a armazena em sua própria memória, após isto é criado um pacote de dados com estas informações que são enviadas para o leitor/gravador de cartões SD. Este por sua vez, localiza o arquivo que está sendo requisitado, o abre para gravações, acrescenta as informações enviadas, fecha o arquivo e envia a informação de confirmação de que está novamente disponível para ser requisitado. A comunicação de dados entre o acelerômetro e o microcontrolador segue o padrão de comunicação *Inter-Integrated Circuit* (I²C). Entre o microcontrolador e o gravador de cartões SD, o padrão de comunicação é o *Serial Peripheral Interface* (SPI). A taxa de transferência de dados no I²C é menor que no SPI, ocorrendo uma limitação de velocidade dos dados que trafegam no sistema.

A maior preocupação neste trabalho, foi com o comportamento global da vibração da

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ER, afim de formar uma assinatura vibracional. Além de manter um baixo custo do equipamento. Desta forma, 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 amostras por segundo.

O analisador de vibrações foi instalado em duas ERs pertencentes a linha 5 do Metrô de São Paulo. Elas então foram testadas em diferentes períodos do dia. Pretendia-se verificar o comportamento da ER em situações em que houvesse alteração no fluxo de passagem dos usuários sobre o equipamento. Desta forma, foram realizados testes em horários do dia em que ocorre grande passagem de usuários, baixa passagem de usuários e também em que não houvesse o tráfego de passageiros sobre a ER. A figura 3 mostra o analisador de dados sendo instalado em uma ER e também os eixos em que a vibração foi coletada.



Figura 3 – Analisador instalado em uma ER.

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados coletados foram analisados de três maneiras diferentes, todas utilizando o *software* Matlab. Primeiramente foi feita uma análise da assinatura vibracional produzida pela ER em cada eixo coletado X, Y e Z em relação ao tempo. Depois estes dados foram analisados utilizando a técnica de FFT (*Fast Fourier Transform*) para verificar a amplitude destes sinais do ponto de vista das frequências. Foram realizadas análises para verificar os padrões de vibração em funcionamento normal de uma ER e também verificar se ocorrem diferenças no momento em que a ER falha. Finalmente foi utilizada uma Rede Neural Artificial (RNA) do tipo Mapa Auto-Organizável para verificar se era possível realizar a classificação e separação dos padrões vibracionais em diferentes situações.

1. ANÁLISE NO TEMPO

A figura 4 apresenta a assinatura vibracional de uma ER sem a influência da passagem de usuários.

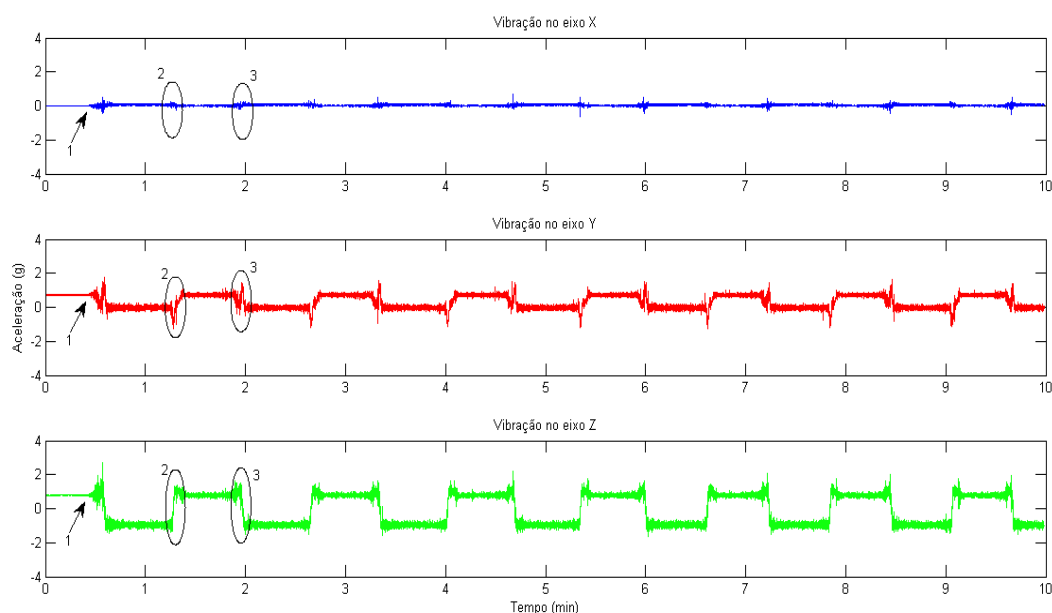


Figura 4 – Vibração nos eixos X, Y e Z da ER sem usuários.

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Pela análise da figura 4, observa-se no ponto 1 o início do deslocamento da ER. Nos pontos 2 e 3, observa-se a inversão do analisador, pois o mesmo foi instalado na parte inferior dos degraus. Nestes pontos o degrau instrumentado passa por suas guias de recolhimento e é girado em 180º, 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 o degrau e a guia de recolhimento.

Já a figura 5 mostra o efeito da passagem de usuários no padrão vibracional da ER.

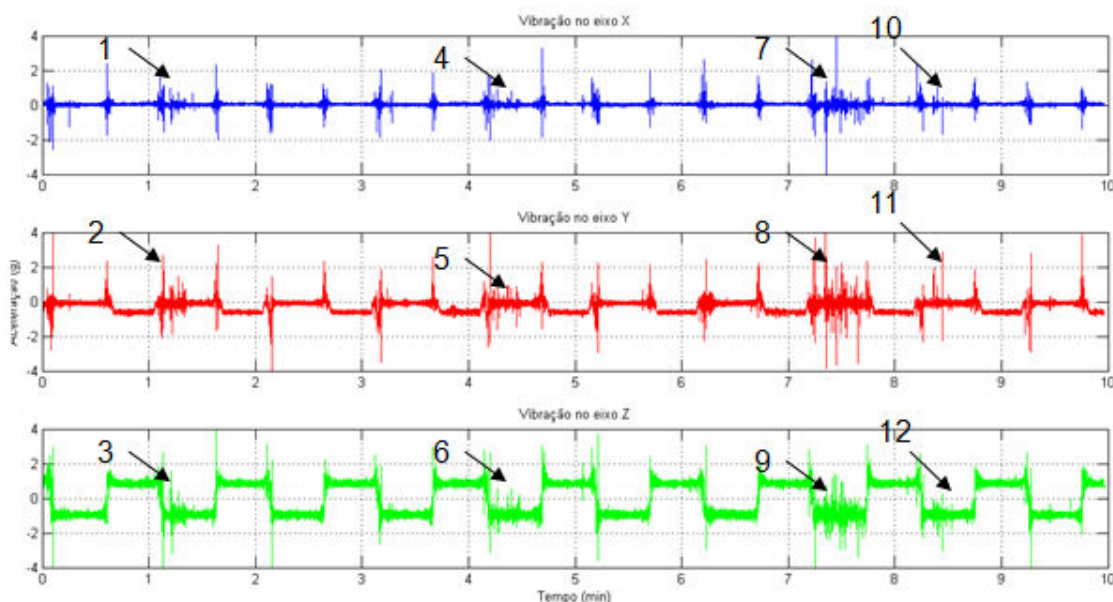


Figura 5 – Padrão de vibração ER com alta movimentação de usuários.

Na figura 5, é mostrado o padrão vibracional de uma ER às 7h00. Ou seja, em pleno horário de pico de movimentação de passageiros. Nos pontos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12, pode-se observar que existe uma vibração de grande amplitude e longa duração causada pelos usuários. É importante salientar que esta vibração adicional, somente foi observada em momentos em que os usuários se deslocam rapidamente sobre a ER.

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

2. ANÁLISE EM RELAÇÃO A FREQUÊNCIA

A figura 6, mostra os padrões vibracionais da ER em relação aos picos de amplitude. Ela apresenta intervalos de dois minutos de vibração da ER no eixo Z em três momentos do dia, quando a ER estava sem movimento de passageiros (SM), com baixo movimento de passageiros (BM) e com alto movimento de passageiros (AM). É possível observar que os sinais são semelhantes, mas diferentes ao longo do dia.

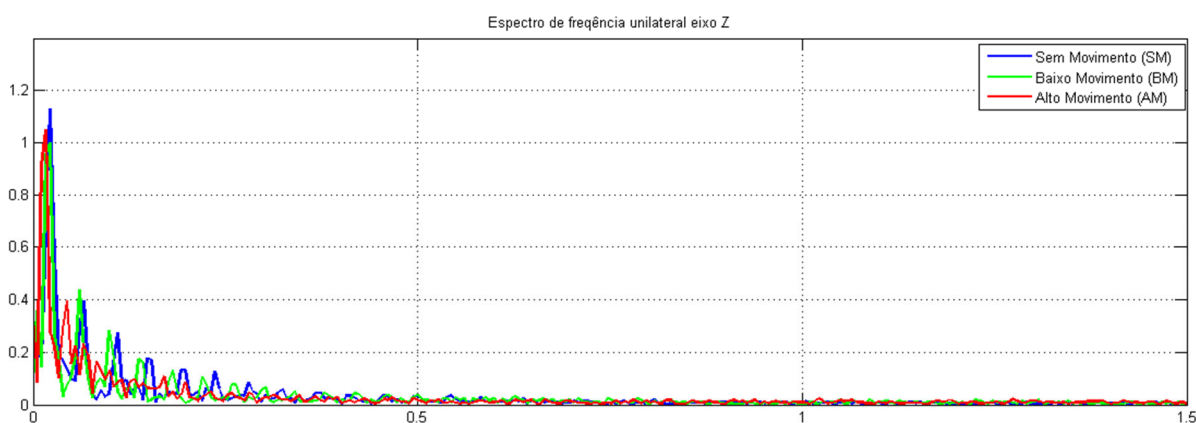


Figura 6 – Modelos de frequências da ER ao longo do dia.

3. ANÁLISE DE FALHAS

Após uma análise inicial, pretendia-se analisar o padrão vibracional da ER, no momento imediatamente anterior a uma falsa falha. Decidiu-se instalar o coletor de dados por duas semanas consecutivas em uma ER. Os dados coletados foram descarregados e analisados, tanto de forma temporal, como em relação a amplitude e frequência das vibrações.

Durante o tempo em que o analisador ficou instalado nesta ER ocorreram cinco falsas falhas. Todas ocorreram no horário de alta movimentação de usuários na estação. A figura 7 mostra uma destas falhas. Pode-se observar nos pontos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 uma vibração de grande amplitude ocasionada pelos usuários. Os pontos 10, 11 e 12 indicam o momento

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

que a ER parou de funcionar. Os pontos 13, 14, 15, 16, 17 e 18 indicam a continuidade da movimentação dos passageiros, mesmo com a ER parada. Durante os testes, observou-se que todas as falsas falhas, ocorreram em momentos de alto movimento de usuários sobre a ER.

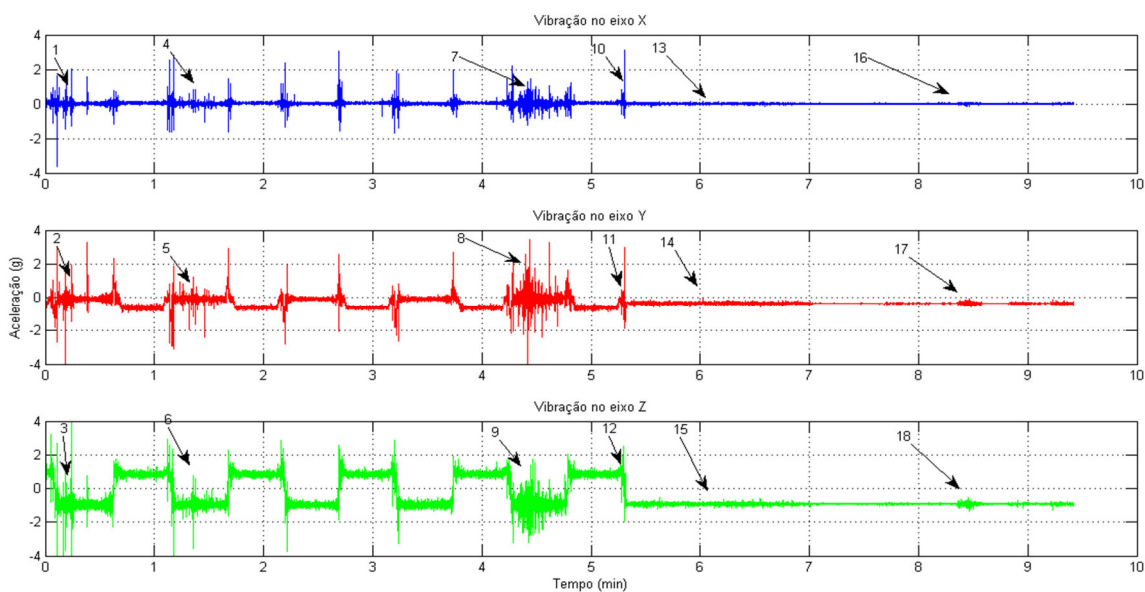


Figura 7 – Momento de Falha ER.

A figura 8 indica a diferença, em relação a amplitudes e frequências, entre o sinal normal da ER e o imediatamente anterior a incidência da falsa falha. Desta forma, verificou-se que embora muito semelhantes, existe uma diferença entre o padrão vibracional normal de uma ER e o imediatamente anterior ao da falha.

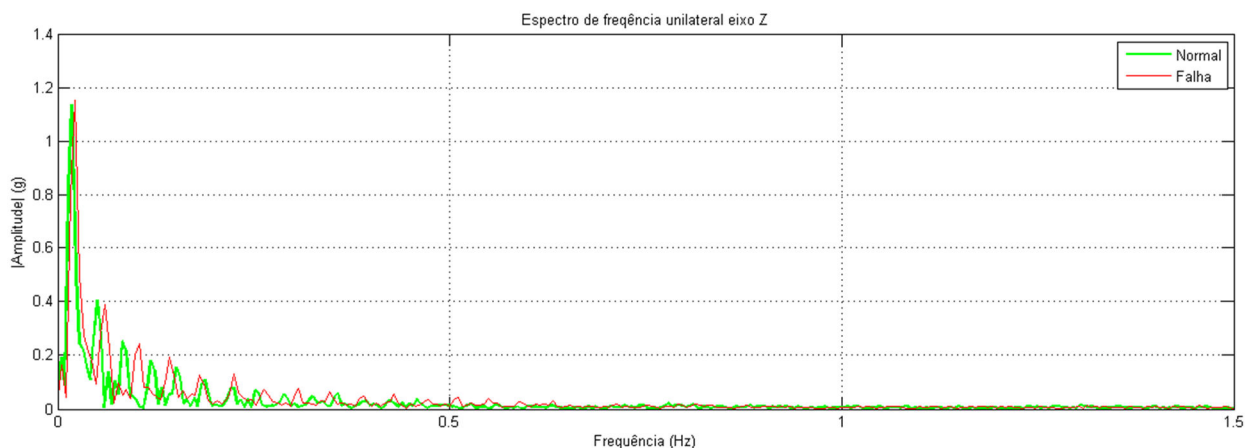


Figura 8 – Falha ER2.

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

UTILIZAÇÃO DE MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS

Conforme observado anteriormente, os sinais provenientes da vibração em uma ER nos diversos momentos do dia, incluindo os momentos em que apresenta falha, são muito semelhantes. Desta forma são de difícil classificação, seja por meio de análise visual dos sinais no tempo ou pelo domínio da frequência, conforme visto na seção anterior.

A RNA tipo SOM, também conhecido por mapa de Kohonen, é usada para agrupamento de dados e mapeamento segundo suas características. (KOHONEN, 2001). Para isto, um conjunto de dados é dividido em grupos, ou *clusters*, baseados em características específicas intrínsecas ao grupo. Ou seja, são verificadas as semelhanças e diferenças dos elementos dentro de um grupo, para que seja realizada a separação dos mesmos. São apresentados a este tipo de RNA apenas os vetores de entrada, desta forma são também amplamente utilizadas para classificar sistemas (KOHONEN, 2013).

Para a criação da RNA utilizada neste trabalho usou-se a ferramenta *SOMtoolbox* do *Matlab*. Embora não seja distribuída com o próprio *Matlab*, ela é amplamente utilizada para o estudo de RNA tipo SOM. Esta ferramenta foi desenvolvida por uma equipe de pesquisadores do Laboratório de Computação e Ciência da Informação, da Universidade de Tecnologia de Helsinque na Finlândia e contou com a participação de diversos pesquisadores. A principal finalidade desta *Toolbox* é facilitar o estudo envolvendo as redes Kohonen. Maiores informações podem ser obtidas na página do projeto no seguinte endereço eletrônico <http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox/about>.

De maneira empírica, foram realizados diversos experimentos para definir a configuração final da rede SOM. O objetivo foi determinar aquele que apresentasse os

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

menores erros de dispersão ou quantização (q_e) e de erro topográfico (t_e). Foram testados mapas de diferentes tamanhos, bem como vários valores para as épocas de treinamento, e também diferentes valores para os raios da grade.

Em relação a quantidade de amostras utilizadas no treinamento da RNA, definiu-se que no treinamento da rede seriam usadas cinco amostras de cada tipo de sinal obtido Sem Movimento (SM), Baixo Movimento (BM) Alto Movimento (AM) e Falha (F), pois nos dados capturados foram identificadas cinco falhas. Desta forma, a RNA foi testada com 20 amostras de sinais de vibração, cada um destes sinais tem a duração de 2 minutos. Conforme dito anteriormente, a frequência de amostragem dos sinais foi de 90 amostras por segundo, assim cada um dos vetores da matriz de treinamento da rede tem o comprimento de 9600 amostras.

De acordo com Vesanto *et al* (2000) o número de unidades, ou neurônios, padrão de um mapa segue a seguinte fórmula:

$$munits = 5 \times dlen^{0,54321}$$

onde: *munits*, é o número de neurônios do mapa;

dlen, representa a quantidade de amostras no mapa.

Foram testados mapas pequenos com seis unidades, médios com 25 unidades e grandes com cem e quatrocentas unidades. Os melhores resultados foram obtidos com mapas de tamanho grande contendo quatrocentas unidades. A distribuição dos neurônios foi feita em uma grade de vinte linhas por vinte colunas. Assim, os parâmetros do mapa foram definidos conforme a Tabela 1. Nela pode-se observar as configurações finais da rede.

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Tabela 1- Parâmetros de Configuração RNA	
σ_1 = raio inicial	3
α_1 = taxa de aprendizagem	0,5
α_2 = taxa de aprendizagem fase de ajuste fino	0,05
Tamanho do mapa	20 x 20
Formato do mapa	Folha
Padrão de distribuição dos neurônios	Hexagonal
Vizinhança dos neurônios	Gaussiana
Épocas de treinamento	1000
Inicialização	Aleatória

Após o treinamento da RNA, o erro de dispersão (q_e) obtido foi de 0,0044 e o erro topográfico (t_e) foi igual a zero.

ANÁLISE DOS MAPAS

Uma das principais formas de visualização dos mapas auto-organizáveis é através da visualização de sua matriz de distâncias unificadas (U-matrix). A figura 9 mostra a U-matrix da RNA após seu treinamento. A cor azul indica proximidade com os neurônios vencedores distribuídos na grade, já as cores verde, amarelo e vermelha indicam as bordas do agrupamento. A análise deste mapa mostra claramente a formação dos grupos.

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

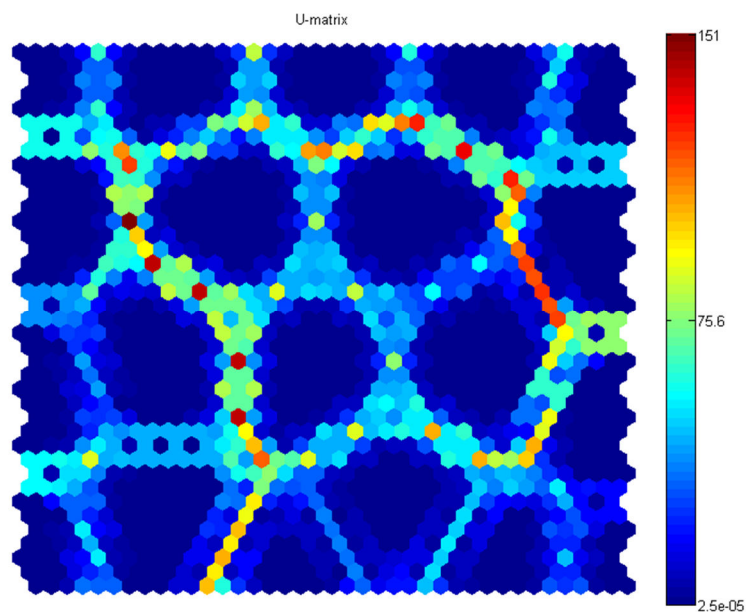


Figura 9 - Matriz de distâncias Unificadas - U-matrix.

A figura 10, mostra a distribuição dos neurônios vencedores no mapa. Nela, utilizou-se uma escala de tons de cinza para mostrar os neurônios vencedores, onde valores mais claros indicam mais proximidade e valores mais escuros indicam maiores distâncias dos mesmos. Em azul, pode-se observar os neurônios de falha

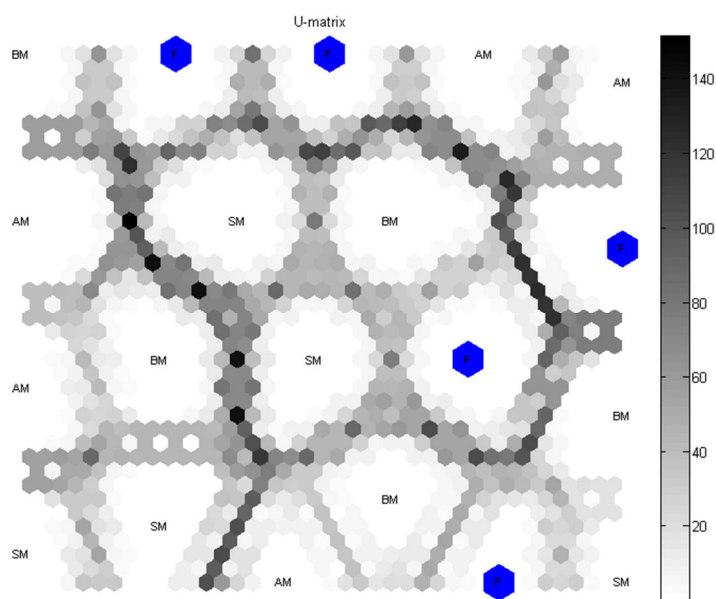


Figura 10 - Distribuição dos neurônios vencedores.

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Pela análise das figuras 9 e 10 é possível observar que há uma distribuição das amostras de treinamento em toda a grade da RNA. Além disto, embora os sinais de vibração provenientes desta ER sejam muito próximos, a RNA conseguiu diferenciá-los e separá-los em neurônios distintos.

A figura 11 mostra o agrupamento da RNA em diferentes regiões. Pode-se observar a formação de nove agrupamentos e que mesmo sinais vibracionais diferentes foram colocados em grupos semelhantes. A região 1 agrupa sinais do tipo BM e F; a região 2 agrupa sinais do tipo AM e F; as regiões 3, 6 e 7 do tipo SM; as regiões 4 e 8 sinais do tipo BM e AM; a região 5 sinais do tipo BM e F e a região 9 sinais do tipo SM, BM e F. É importante notar que mesmo os grupos contendo elementos de natureza distinta as falhas ficaram sempre próximas dos elementos de alto movimento. Desta forma pode-se verificar que o treinamento da RNA foi satisfatório, uma vez que não ocorreu sobreposição de sinais.

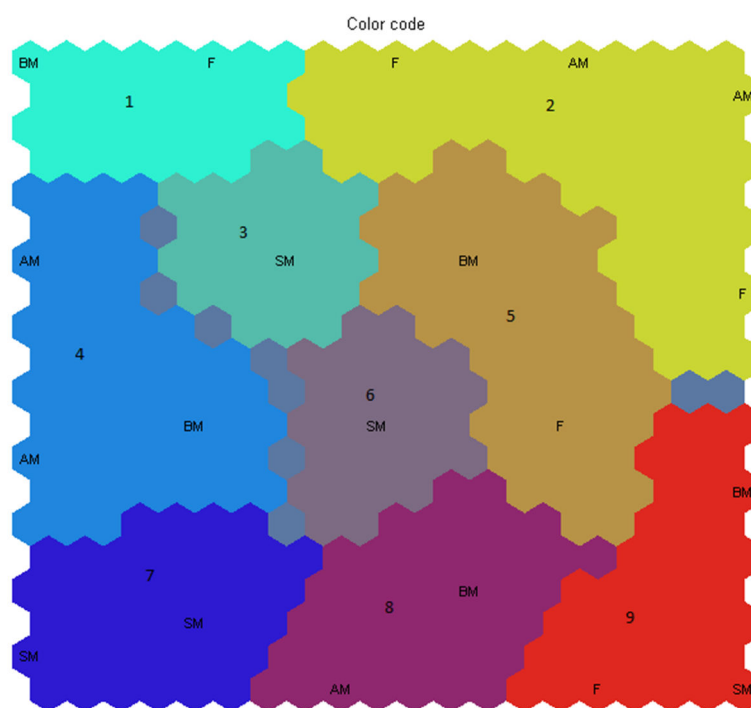


Figura 11 - Formação dos agrupamentos (clusters) da RNA.

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Após a fase de treinamento, a RNA foi utilizada para separar trezentos padrões vibracionais aleatórios. Estas amostras foram coletadas em diferentes horários do dia seguindo o padrão de distribuição da movimentação de passageiros no Metrô de SP. Estas amostras são totalmente diferentes daquelas utilizadas na fase de treinamentos, pretendia-se assim, verificar a capacidade de generalização do modelo obtido. A figura 12 mostra a distribuição e agrupamento dos sinais.

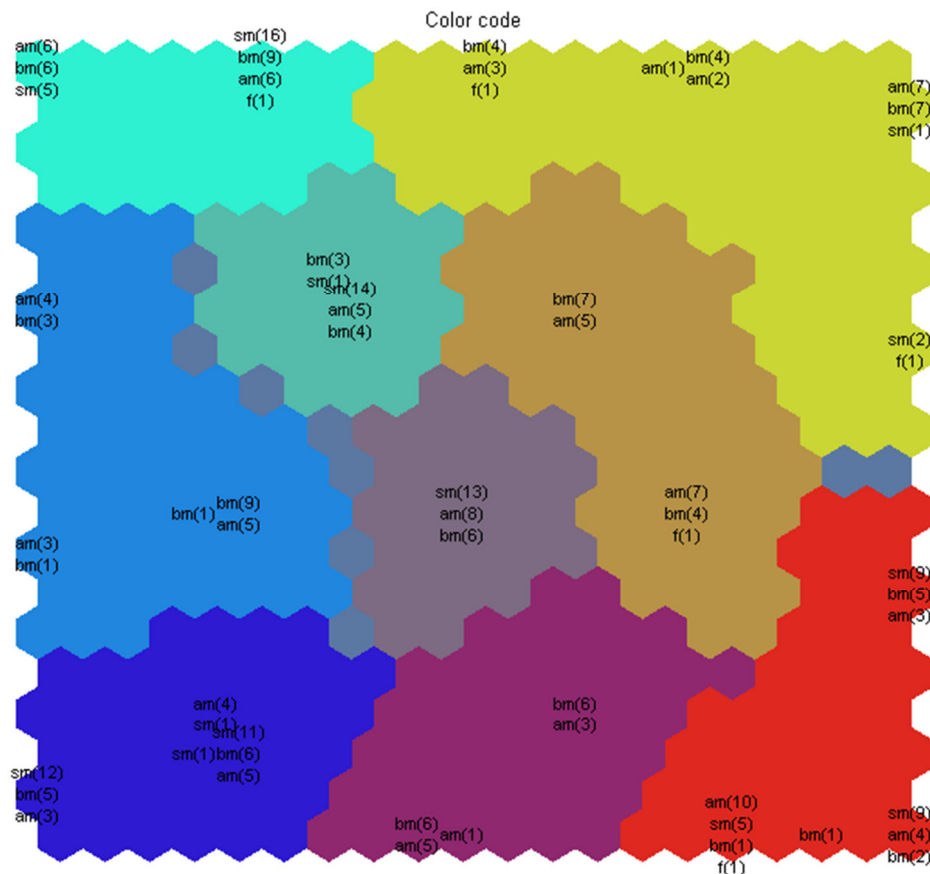


Figura 12 - Distribuição dos neurônios vencedores, utilizando os dados de generalização.

Devido as características de fluxo de usuários, existem momentos em que não há trânsito de passageiros nas ERs. Assim, quando analisados intervalos de tempo relativamente curtos, mesmo em horários de muito movimento, o padrão de vibração da ER é semelhante aos momentos de baixo movimento. Ou seja, para estes intervalos o comportamento

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

vibracional não apresenta a influência da passagem dos usuários. Igualmente em determinados momentos a vibração provocada pelos passageiros em horários de baixo movimento podem ter padrões de comportamento como os de alto movimento. Por exemplo, quando um trem chega à estação, diversos passageiros podem descer do mesmo e utilizar a ER. Assim, dependendo da quantidade de passageiros seu comportamento vibracional pode ser classificado como de AM. Do ponto de vista do trabalho proposto isto é uma vantagem, pois a RNA separou os sinais pelo padrão de vibração, e não por um critério temporal.

A tabela 2 foi elaborada após análise dos neurônios vencedores, e da distribuição das amostras pelo mapa (Figura 12). Assim é apresentada a quantidade de amostras que foram confundidas com falhas separadas por tipo.

Tabela 2 - Taxa de acerto por amostras gerais da RNA			
Amostra	Acertos	Erros	% de acertos
SM	77	23	77
BM	82	18	82
AM	74	26	74
Desempenho geral			77,67

Analisando a porcentagem de erro ocorrida com cada tipo de amostra, verifica-se que a RNA apresentou um resultado global de 77,67% de acertos. Apresentando uma melhora significativa em relação ao acerto dos sistemas hoje utilizados.

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CONCLUSÕES

Durante a realização deste trabalho, foi desenvolvido um instrumento de baixo custo capaz de medir a vibração da ER possibilitando verificar as assinaturas vibracionais de funcionamento de uma ER.

Observando-se os dados obtidos através do analisador de vibrações, utilizando os algoritmos desenvolvidos neste trabalho, foi possível constatar a influência da movimentação dos usuários sobre as ERs. Assim, através do cruzamento das informações dos horários em que a maioria das falsas falhas ocorreram, somado ao conjunto dos dados obtidos pelo analisador de vibrações, pode-se concluir que as vibrações provenientes do fluxo de passageiros influenciam na incidência destas falhas.

A RNA do tipo SOM desenvolvida neste trabalho, foi treinada utilizando-se os dados de vibração coletados e transformados em vetores para a matriz de treinamento da rede. Apesar dos sinais vibracionais serem muito parecidos, a RNA mostrou-se eficaz na separação e classificação das amostras. Utilizando-se os dados obtidos em diversos momentos do dia, a RNA conseguiu classificá-los e separá-los de forma satisfatória, obtendo 77,67% de êxito nesta tarefa.

Conclui-se, portanto, que as técnicas estudadas neste trabalho possibilitam a abertura de novos enfoques da manutenção de sistemas metroferroviários. Com a utilização de um instrumento de baixo custo, definiu-se a assinatura vibracional de um equipamento. Desta forma, é possível acompanhar o desempenho do mesmo ao longo do tempo, verificando qualquer desvio da curva padrão e realizando assim um acompanhamento preditivo deste equipamento. Ou ainda, com a utilização de técnicas de inteligência artificial, melhorar o

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

diagnóstico de falhas, pois estas técnicas permitem que situações corriqueiras, tais como a vibração adicional introduzida pelo movimento de passageiros, entre outras, sejam consideradas e as vezes descartadas pelos sistemas de diagnóstico, evitando assim paradas desnecessárias dos equipamentos monitorados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. L., “Sistema de Identificação de Falhas em Escadas Rolantes Utilizando Redes Neurais Artificiais [Dissertação]”, São Paulo, Instituto de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo, 2015.

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.

SOMtoolbox - disponível em (<http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox/about>), acesso em 08/07/2015

KOHONEM, T., "Essentials of the self-organizing map", *Neural Networks*, n.37, p. 52-65, 2013.

KOHONEN, T., "Self-organizing maps", Springer Science & Business Media, 2001.

SILVA, C. W., “Vibration Monitoring, Testing, and Instrumentation”, CRC Press, Florida, USA, 2007.

TERAZONO, N., MATSUKURA, Y., “High Technology in Elevator”, Ohmsha, Japão, 1994.

VESANTO, J.; HIMBERG, J.; ALHONIEMI, E.; PARHANKANGAS, J. "Self-organizing map in Matlab: the SOM Toolbox" *Laboratory of Computer and Information Science, Helsinki University of*

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Technology, Finlândia, 2000.