

FACULDADE GALILEU

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

EDUARDO ALVES PINTO

**MONITORAMENTO CONTÍNUO DE PONTES E VIADUTOS EM CONCRETO
ARMADO COM O USO DE INTERNET DAS COISAS (IOT)**

BOTUCATU – SP

2020

EDUARDO ALVES PINTO

**MONITORAMENTO CONTÍNUO DE PONTES E VIADUTOS EM CONCRETO
ARMADO COM O USO DE INTERNET DAS COISAS (IOT)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade
Galileu, orientado pelo Profº. Cristiano
Sanchez Júnior

BOTUCATU – SP

2020

EDUARDO ALVES PINTO

**MONITORAMENTO CONTÍNUO DE PONTES E VIADUTOS EM CONCRETO
ARMADO COM O USO DE INTERNET DAS COISAS (IOT)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade
Galileu, como parte das exigências para
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Botucatu, 15 de julho de 2020

BANCADA EXAMINADORA

Profº. Cristiano Sanchez Júnior

Resumo

Entre as muitas obras de infraestrutura, as pontes e os viadutos são de suma importância para o desenvolvimento das cidades, pois interligam setores, agilizando rotas e apresentam soluções para o trânsito. O presente trabalho constituiu-se de uma revisão bibliográfica acerca da utilização IoT - internet das coisas no monitoramento de pontes e viadutos em concreto armado, aplicados à Engenharia Civil. Observou-se que o uso da tecnologia tem facilitado muito o sistema de monitoramento via internet, proporcionando uma análise em tempo real, no entanto para o uso dessa tecnologia as obras precisam ser revistas e adaptadas para a implantação deste sistemas como uma ferramenta de monitoramento das patologias causadas pela ação do tempo, interpéries e utilização.

Palavras Chave: infraestrutura, tecnologia, acompanhamento, análise em tempo real.

Abstract

Among the many infrastructure works, bridges and viaducts are of paramount importance for the development of cities, as they interconnect sectors, streamline routes and present solutions for traffic. The present work consisted of a bibliographic review about the use of IoT - internet of things in the monitoring of reinforced concrete bridges and viaducts, applied to Civil Engineering. It was observed that the use of technology has greatly facilitated the monitoring system via the internet, providing a real-time analysis, however for the use of this technology the works need to be revised and adapted for the implementation of these systems as a tool for monitoring the pathologies caused by the action of time, weather and usage.

Keywords: infrastructure, technology, monitoring, analysis in real time.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	DESENVOLVIMENTO	2
3.	CONCLUSÃO	6
4.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	7

1. INTRODUÇÃO

Entre as muitas obras de infraestrutura, as pontes e os viadutos são de suma importância para o desenvolvimento das cidades, tanto do ponto de vista econômico como do social. Essas estruturas, chamadas de Obras de Arte Especiais (OAE's), são elementos indispensáveis de um sistema viário, e sua eficiência depende das manutenções regulares a que são submetidas (PAVI, BORDIN E VERONEZ, 2014).

Em geral, as inspeções das OAE's no Brasil, são realizadas de maneira bastante rudimentar (não há o emprego de nenhuma tecnologia, além de uma câmera fotográfica). A produtividade é baixa e a presença do dano não é quantitativamente padronizada, dependendo exclusivamente dos critérios qualitativos do inspetor. Há também limitações quanto às inspeções em estruturas de difícil acessibilidade que, muitas vezes, representam riscos à segurança do profissional que as executa. (PAVI, BORDIN e VERONEZ, 2014).

A ausência de políticas e estratégias nas esferas federal, estaduais e municipais, voltadas para a manutenção das obras públicas, faz com que os órgãos responsáveis por estas obras preocupem-se apenas com a execução, não havendo qualquer prioridade para as questões relacionadas à conservação de tais obras (VITÓRIO, 2006).

A possibilidade de acesso remoto, coleta de dados sem fio, velocidade de comunicação alta, conexão direta com computador e comunicação em tempo real são requisitos essenciais ao projeto de engenharia civil. A escolha desse tipo de tecnologia segue a crescente tendência de criação de aplicativos IoT - internet das coisas, que nada mais é do que a conexão de aplicativos antes isolados da rede – como por exemplo, sensores, equipamentos, sistemas, atuadores e mesmo telefones móveis – à internet (TOZETTO, 2016).

O funcionamento da Internet das Coisas é baseado em sensores usados para coletar dados em tempos reais. Necessita-se de conexão a uma rede para enviar os dados coletados, geralmente feitos via Wifi ou Bluetooth. Após isso, segue com o processamento de dados, normalmente feito de forma centralizada por um software. Finaliza-se na interface com o usuário por meio de um aplicativo ou programa que dá ao operador a oportunidade de ler os dados coletados e operar os dispositivos conectados (ROCHA, 2019).

O presente trabalho constituiu-se de uma revisão bibliográfica acerca da utilização IoT - internet das coisas no monitoramento de pontes e viadutos em concreto armado, aplicados à Engenharia Civil.

2. DESENVOLVIMENTO

Segundo definição do DNIT, Ponte é um Estrutura, inclusive apoios, construída sobre uma depressão ou uma obstrução, tais como água, rodovia ou ferrovia, que sustenta uma pista para passagem de veículos e outras cargas móveis, e que tem um vão livre, medido ao longo do eixo da rodovia, de mais de seis metros. Ficam incluídos nesta definição viadutos, passagens superiores e passagens inferiores (DNIT, 2020).

A ausência de políticas e estratégias voltadas para a conservação resulta em graves consequências, principalmente no que se refere aos riscos causados aos usuários pelos acidentes estruturais ocorridos com OAE's no País. Deve ser considerado, também, os prejuízos materiais e financeiros do setor produtivo, do setor público e da própria sociedade a quem cabe, em última análise, arcar com os altos custos dos reparos. A demora em iniciar a manutenção de uma obra torna os reparos mais trabalhosos e onerosos. A lei de evolução dos custos, conhecida como Lei de Sitter, mostra que os custos de correção crescem segundo uma progressão geométrica de razão cinco (VITÓRIO, 2006)

Muitas pontes e viadutos estão localizados em ambientes considerados de forte agressividade ambiental, como matas, rios, regiões industrializadas, ambientes nativos e de forte variações climáticas. A agressividade destes ambientes proporciona estados de corrosão associados a outras patologias inerentes que atacam o concreto armado e o material metálico em pontes e viadutos, o que pode trazer graves consequências à vida útil e à funcionalidade da estrutura (MENDES et al., 2010).

Além dos problemas de natureza estrutural, muitas pontes e viadutos estão com o gabarito insuficiente para as condições atuais de tráfego, tornando-se pontos críticos de estrangulamento do fluxo de veículos e de ocorrência de acidentes (VITÓRIO, 2006).

A grande maioria dos programas de conservação de pontes adotados em diversos países estabelece níveis de inspeção que se diferenciam pela finalidade, frequência, meios humanos e materiais necessários, etc. No Brasil, a NBR-9452/86 considera os seguintes tipos de vistorias:

a) vistoria cadastral - trata-se de uma vistoria de referência, quando são anotados os principais elementos relacionados à segurança e durabilidade da obra. Este tipo de vistoria é complementado com o levantamento dos principais documentos e informes construtivos da obra vistoriada;

b) vistoria rotineira - é uma vistoria destinada a manter atualizado o cadastro da obra, devendo ser realizada a intervalos de tempo regulares não superiores a um ano. Esta vistoria também pode ser motivada por ocorrências excepcionais;

c) vistoria especial - vistoria pormenorizada da obra, visual e/ou instrumental, realizada por engenheiro especialista, com a finalidade de interpretar e avaliar ocorrências danosas detectadas pela vistoria rotineira (VITÓRIO, 2006 e BRASIL, 2004).

Segundo DNIT (2020) a inspeção de uma ponte deve ser conduzida de forma sistemática e organizada, de modo a garantir que todo elemento estrutural seja inspecionado; adequadas fichas de inspeção garantem este procedimento. O documento fotográfico ou de imagens digitalizadas deve ser abrangente e completo; um mínimo de seis fotos deve registrar vista superior, vista inferior, vistas laterais e detalhes de apoios, articulações, juntas etc; defeitos eventualmente encontrados em qualquer elemento estrutural devem ser cuidadosamente examinados e registrados para permitir avaliar suas causas.

Brasil (2004) o concreto, como todos os demais materiais, está sujeito à degradação natural; entretanto, várias causas, grupadas a seguir, podem apressar a degradação das estruturas de concreto armado, em particular as pontes:

- a) projeto inadequado, na concepção, no dimensionamento, no detalhamento e nas especificações;
- b) construção sem controle de qualidade, podendo gerar escoramentos e fôrmas defeituosas, má colocação de armaduras, cobrimentos insuficientes, concreto com qualidades inferiores às especificadas, ausência de plano de concretagem;
- c) manutenção inexistente ou inadequada;
- d) utilização inadequada da estrutura, submetendo-a a sobrecargas imprevistas;
- e) causas de origem química, tais como reações internas do concreto, presença de cloretos, presença de água, presença de anidrido carbônico, presença de ácidos e sais;
- f) causas de origem física, tais como ação do calor, do vento e da água;
- g) causas de origem mecânica, tais como choques de veículos e embarcações, acidentes de origem diversa e recalque de fundações;
- h) causas de origem biológica, mais raras, tais como o crescimento de vegetais nas juntas, de

raízes sob fundações diretas e superficiais e a ação de insetos, tais como cupins e formigas.

A fissura é uma fratura linear no concreto que pode se estender parcial ou completamente através do elemento; excetuados alguns casos particulares, a fissuração, isoladamente, não indica perda de resistência ou de durabilidade: nos elementos de concreto armado convencional, a fissuração pode ser inevitável, em virtude de tensões de tração provocadas pela flexão, força cortante, torção e restrições à movimentação. A NB-1/78 considerava que a fissuração seria nociva quando a abertura das fissuras na superfície do concreto armado, não protendido, ultrapassava os seguintes valores:

- a) 0,1mm para peças não protegidas em meio agressivo;
- b) 0,2 mm para peças não protegidas em meio não agressivo;
- c) 0,3 mm para peças protegidas (BRASIL, 2004).

As causas da fissuração podem ser variadas e, nem sempre, de fácil identificação; entretanto, as mesmas causas produzem idênticos padrões de fissuras, o que facilita bastante a tarefa do Inspetor. As principais causas são as que se relacionam a seguir: cura deficiente; retração; expansão; variações de temperatura; ataques químicos; excesso de carga; erros de projeto; erros de execução; recalques diferenciais (BRASIL, 2004).

Elementos de concreto protendido podem ter sua capacidade resistente reduzida em consequência de várias formas de deterioração do concreto e da incorreta avaliação de certos fenômenos já bastante conhecidos e quantificados; além disto, estes elementos são particularmente sensíveis à corrosão e à fadiga em fissuras isoladas. Causas da deterioração de elementos de concreto protendido, algumas delas podendo implicar em colapso, estão relacionadas a seguir:

- a) perda de aderência entre o aço tensionado e o concreto;
- b) relaxação do aço de protensão;
- c) retração do concreto;
- d) fluência do concreto;
- e) corrosão do aço de protensão, quando em tensão, “stress corrosion”. (BRASIL, 2004).

Com o objetivo de auxiliar o monitoramento das pontes e viadutos em tempo real, atualmente utiliza-se a tecnologia IOT - Internet das Coisas é uma tradução literal da expressão em inglês Internet of Things (IoT). Segundo Alecrim (2017) apud Rocha (2019), em português, o nome mais adequado poderia ser algo como "Internet em Todas as Coisas". A proposta da IoT é que a conectividade sirva para que os equipamentos possam ficar mais eficientes ou receber atributos complementares. Cada vez mais tem se notificado as aplicações de IoT nas mais diversas tecnologias, tais como, no monitoramento da natureza, gerenciamento de cidades, manufatura, na área da saúde, automação residencial, entre várias outras. Ademais, a Internet das Coisas refere-se, de forma geral, a capacidade das máquinas interagirem entre si, automatizando e trazendo maior mobilidade. Essa comunicação entre os aparelhos acontece através de softwares e aplicações, requerendo pouca ou nenhuma interferência humana no processo (TROMBINI, 2019 apud ROCHA, 2019).

Nesse contexto, as atividades de monitoramento de processos têm sido particularmente beneficiadas com as tecnologias IoT. A partir de um dispositivo de medição com capacidade de conexão com a internet é possível tornar a informação disponível a outros dispositivos, possibilitando a realização do monitoramento à distância, permitindo a identificação de problemas estruturais em tempo real, assegurando eficiência e confiabilidade. Os dados de medição podem ser processados em computadores distribuídos e conectados (cloud computing) e disponibilizados para dispositivos portáteis como tablets e smartphones. Desse modo, é possível desenvolver um sistema de monitoramento remoto, e isso é um grande avanço para várias áreas profissionais, dentre elas o monitoramento de grandes estruturas. Uma ilustração do sistema de monitoramento é apresentado na Figura 1 (CLAUDINO, 2019).

Figura 1 - Monitoramento de estruturas utilizando tecnologias IOT.



Fonte: Claudino (2019).

A Internet das Coisas (IoT) envolve diversos aparelhos conectados (Figura 1) que interagem uns com os outros para monitorar, relatar e alternar as coisas com diferentes graus de inteligência. A automatização torna os dados mais precisos e, também, evita erros comuns na passagem de documentos para sistemas digitais. A transformação digital está revolucionando o mundo, e com o setor da construção não é diferente (ROCHA, 2019)

Um sistema de monitoramento remoto de estruturas em pontes e viadutos possibilitaria a sinalização de problemas com antecedência, permitindo aos responsáveis técnicos realizarem as devidas manutenções necessárias dentro do prazo, evitando acidentes (CLAUDINO, 2019).

O aumento das facilidades de acesso à internet vem impulsionando sua utilização em larga escala para o monitoramento de dados. Atualmente, a maioria dos processos e produtos possuem dispositivos eletrônicos interconectados através da rede mundial de computadores, lançando trilhões de *bytes* de dados a todo momento na internet. Dessa maneira, a conexão de sensores, através de uma rede baseada em internet, torna possível que os dados coletados cheguem a qualquer lugar no mundo com um pequeno atraso de alguns milissegundos, podendo ser considerado um sistema de leitura em tempo real. Além disso, toda comunicação através da rede mundial de computadores é padronizada através de protocolos bem estruturados, como o TCP (*Transmission Control Protocol*) que é responsável pelo controle e qualidade de comunicação e o IP (*Internet Protocol*), responsável pelo endereçamento nas redes (TOZETTO, 2016)

3. CONCLUSÃO

Com o grande número de componentes utilizados na engenharia civil e há necessidade de precisão e monitoramento desses projetos de pontes e viadutos de concreto armado, mostra que a aplicação da Internet das Coisas pode ser de grande ajuda fazendo um monitoramento em tempo real, mostrando e processando informações em tempo real que além de criar possibilidades de intervenções preventivas, e preditivas mitigando as ocorrências e grandes gastos com ações corretivas, e transtornos a sociedade, lógico que para isso é necessário adaptações e investimento em obras públicas. As novas tecnologias estão acelerando e melhorando o intercâmbio de dados. Já a digitalização e a computação em nuvem trazem mais precisão e eficiência aos processos. Podemos destacar também a possibilidade de intervenções prevendo atos de segurança na contenção de acidentes provenientes de estruturas danificadas.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004. 253p.

CLAUDINO, Thiago Koerich. Monitoramento de carregamentos estáticos e dinâmicos utilizados em tecnologias IOT. Trabalho de Conclusão de curso de Engenharia Mecatrônica. Instituto Federal de Santa Catarina. 2019. 54p.

DNIT - Departamento nacional de infraestrutura de transportes. NORMA DNIT 010/2004 – PRO. Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento. Disponível em < http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/procedimento-pro/dnit010_2004_pro.pdf>. Acessado em 03/07/2020.

MENDES, Luiz Carlos.; LOURENÇO, Líbia da Costa.; ALVES, Vancleir Ribeiro.; LOURENÇO, Mychael Vinicius da Costa.; JORDY, João Cassim. Pontes em concreto armado em meios de elevada agressividade ambiental. Anais VI Congresso Internacional sobre Patologia Y Recuperacion de EStructuras, 2010. Argentina.

PAVI, Suelen.; BORDIN, Fabiane.; VERONEZ, Maurício Roberto. O Uso do Laser Scanner Terrestre na Inspeção de Pontes e Viadutos de Concreto: uma Revisão Bibliográfica. Anais VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. Rio de Janeiro. 2014.

ROCHA, Nicole Giovana Menezes. O uso da iot para monitoramento do desempenho térmico de um empreendimento imobiliário em palmas/to, à luz da norma de desempenho NBR 15575. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil. Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas. 2019. 103p.

TOZETTO, Ricardo Schleder. Desenvolvimento de um sistema de monitoramento de vibrações em estruturas de baixa frequência natural. Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, 2016. 118p.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. Avaliação do grau de risco estrutural de pontes rodoviárias de concreto Assessment of the degree of structural risk in concrete roadway bridges. Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto - cbc2008 – 50cb, setembro de 2008.