

## MONITORAMENTO DA ESTABILIDADE GEOMÉTRICA DE ESTRUTURAS UTILIZANDO TECNOLOGIAS IOT

**Thiago Koerich Claudino** – koerich.t@gmail.com

Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis, Departamento de Metal-Mecânica  
Av. Mauro Ramos, 950  
88020 - 300 – Florianópolis – Santa Catarina

**André Roberto de Sousa** – asousa@ifsc.edu.br

**Resumo:** *A boa estabilidade geométrica de grandes estruturas metálicas e de concreto armado é um indicativo da sua confiabilidade operacional e da adequação das ações de manutenção dedicadas a estas estruturas. Contrariamente a isto, alterações na geometria destas estruturas são indícios de problemas que podem gerar limitações operacionais, altos custos de reparo e riscos para a sua segurança. Para identificar problemas estruturais ainda em fase inicial, gerando informações valiosas para ações preventivas e corretivas, o monitoramento em tempo real da estabilidade geométrica destas estruturas é a estratégia mais racional mas, infelizmente, quase inexistente no Brasil. Diante desse contexto, desenvolveu-se no laboratório de Metrologia e Instrumentação do IFSC Campus Florianópolis um sistema de monitoramento de estruturas, composto por uma mini ponte em alumínio, sensores para o monitoramento de deslocamentos, e uma plataforma de IOT chamada NodeMCU. O resultado desta composição é uma plataforma de monitoramento integrada, permitindo avaliar o comportamento de uma estrutura em tempo real de forma simplificada e sem custo elevado, sendo um excelente instrumento gerador de conhecimentos em disciplinas de engenharia.*

**Palavras-chave:** *Monitoramento. Deslocamentos. IOT.*

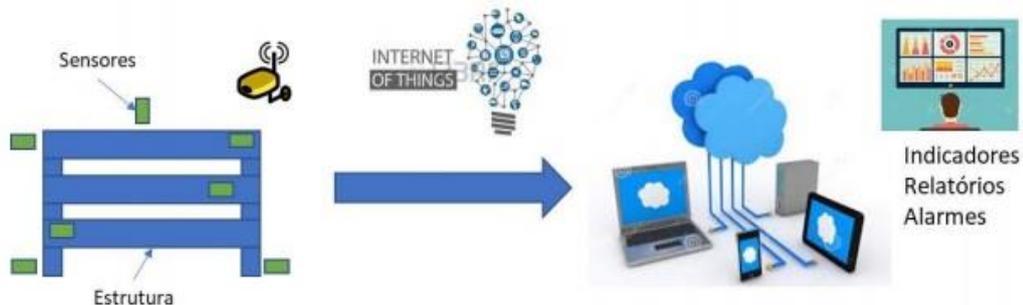
### 1 INTRODUÇÃO

No Brasil é frequente a ocorrência de problemas de estabilidade em grandes estruturas por ação do uso e do tempo, levando a interrupções inesperadas na sua operação ou mesmo ao colapso destas estruturas. Estas ações emergenciais de reparo são sempre muito custosas e arriscadas para a integridade da estrutura e para os seus usuários. Para identificar problemas com antecedência e antever ações de melhoria, o modo mais eficiente e racional é o monitoramento contínuo da estrutura, que pode ser realizado com vários tipos de sensores (deslocamento, força, pressão, temperatura etc.) instalados nesta estrutura e conectados a sistemas computadorizados de aquisição e processamento de dados.

O desenvolvimento das tecnologias de comunicação baseadas na internet e a integração de dispositivos de medição nesta rede tem permitido o desenvolvimento acelerado de tecnologias de monitoramento inovadoras. A grande vantagem dos dispositivos com tecnologia IOT é a capacidade de conexão com a internet e com outros sistemas de um modo muito flexível e acessível. A partir de um dispositivo de medição com capacidade de conexão com a internet é possível tornar a informação disponível a outros dispositivos como

smartphones, por exemplo, e isso é um grande avanço para várias áreas profissionais, dentre elas o monitoramento de grandes estruturas, conforme indica a Figura 1.

Figura 1 - Monitoramento de estruturas utilizando tecnologias IOT.



Fonte: Própria.

Neste cenário, desenvolveu-se no laboratório de Metrologia e Instrumentação do IFSC Campus Florianópolis, em um módulo didático, um sistema de monitoramento de estruturas, composto por uma mini ponte em alumínio, sensores para o monitoramento de deslocamentos, e uma plataforma IOT.

A mini ponte em alumínio foi projetada de forma a se assemelhar a uma estrutura real em menor escala, e de modo a se deformar elasticamente sem necessitar de cargas elevadas. Os sensores, apesar de terem a mesma finalidade, apresentam funcionamento distinto. O primeiro sensor empregado, desenvolvido durante a própria pesquisa, funciona como um apalpador, construído a partir de um potenciômetro deslizante e um relógio comparador. Em seguida, adquiriu-se um medidor de profundidade de sulcos de pneus, um acelerômetro e um telêmetro a laser. Estes sensores enviam dados de medições realizadas para uma plataforma IOT, NodeMCU, a qual guarda os valores recebidos em um banco de dados na internet. Utilizando de ferramentas de programação Web, estes dados e demais informações são disponibilizados de forma legível em uma Webpage para realização do monitoramento da estrutura.

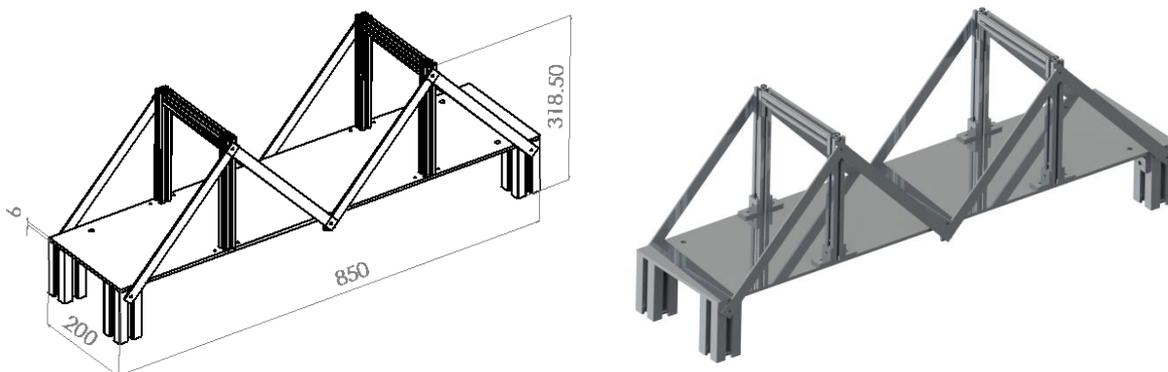
Este artigo descreve o projeto e desenvolvimento dos sistemas, bem como os resultados obtidos pela pesquisa realizada.

## 2 SISTEMA DE MONITORAMENTO

### 2.1 Mini ponte em Alumínio

O primeiro objetivo deste trabalho foi de projetar e construir uma estrutura para ser monitorada. Alguns requisitos foram estabelecidos antes da construção, como, por exemplo, a estrutura deveria ser flexível, deformando-se elasticamente com pouca carga, se assemelhar à uma estrutura real em menor escala, e suportar uma carga considerável sem falhar. Modelos CAD – Computer Aided Design – foram previamente desenvolvidos no software SolidWorks, até que se atingiu o modelo definitivo a ser construído, representado na Figura 2.

Figura 2 – Modelamento estrutural em CAD.



Fonte: Própria.

Disponibilizando de um laboratório para usinagem, o laboratório de máquinas operatrizes do IFSC Campus Florianópolis, desenhos técnicos das peças foram gerados, possibilitando a fabricação das peças utilizando de operações de usinagem convencionais.

Ao final, obteve-se uma mini ponte com dimensões de 850 mm x 200 mm x 318,50 mm, e com sua chapa principal com 6 mm de espessura. Todas suas peças são de alumínio, com exceção das cantoneiras que são de aço, e as chapas laterais de latão. A mini ponte finalizada pode ser vista na Figura 3.

Figura 3 – Mini ponte construída.

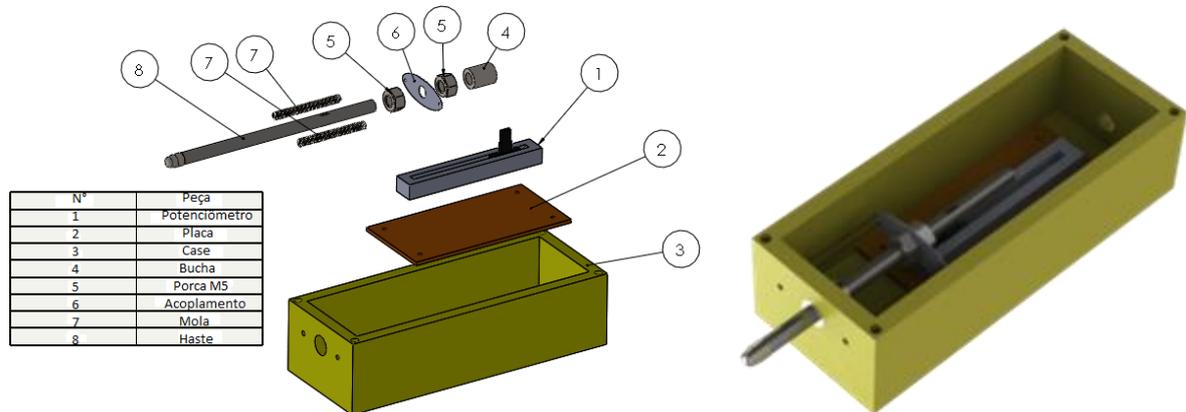


Fonte: Própria.

## 2.2 Sensor de Deslocamentos

O primeiro sensor empregado foi fabricado especificamente para o projeto. Tendo o requisito de ter baixo custo e possuir uma precisão condizente com a aplicação, elaborou-se um sensor de deslocamento a partir de um relógio comparador em desuso e um potenciômetro deslizante linear. A estrutura foi embarcada em um *case* polimérico sendo apresentada na Figura 4.

Figura 4 – Sensor de Deslocamentos.



Fonte: Própria.

Este sensor possui uma resistência que varia linearmente, uma vez que é feito a partir de um potenciômetro linear. A variação da resistência, que ocorre quando a haste do transdutor se desloca, é captada por um microcontrolador que traduz a variação da resistência para variação de posição, ou seja, deslocamento. Para evitar histerese mecânica, utilizou-se molas como elemento de tração.

### 2.3 Medidor de Profundidade de Sulcos de Pneus

O segundo sensor empregado é um medidor de profundidade de sulcos de pneu, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Medidor de Profundidade de Sulcos de Pneus.



Fonte: [www.amazon.com](http://www.amazon.com)

Este sensor atua de forma semelhante ao anterior, trabalhando numa faixa de 0 a 25,4 mm, com uma resolução de 0,01 mm, possuindo uma haste deslocável, que indica em uma tela de LCD a medição realizada. Este sensor possui no seu canto superior direito uma tampa, que caso retirada, dá acesso à 4 pinos que devem ser utilizados caso deseje-se conectá-lo com um dispositivo externo, como, por exemplo, um microcontrolador.

### 2.4 Acelerômetro baseado em MEMS

O acelerômetro é um dispositivo usado para medir a aceleração própria de um sistema, amplamente utilizado para o monitoramento da estabilidade de estruturas. Optou-se por utilizar um acelerômetro de alta resolução, baixo custo e fácil aplicabilidade, fundamentado

em um MEMS (Micro Electrical Mechanical System). Portanto, foi adquirido o acelerômetro BWT901CL, Figura 6, desenvolvida pela WitMotion.

Figura 6 – Acelerômetro BWT901CL.



Fonte: [www.wit-motion.com](http://www.wit-motion.com)

O BWT901CL é capaz de fornecer deslocamentos angulares, velocidades angulares e acelerações angulares em torno dos eixos X, Y e Z. O envio desses dados pode ser feito via Bluetooth, realizando a comunicação direta entre sensor e computador, ou utilizando comunicação serial, entre o sensor e um microcontrolador.

## 2.5 Telêmetro Laser 703A

Telêmetro é um dispositivo de precisão destinado à medição de distâncias em tempo real. Os telêmetros de última geração são digitais, baseados em disparo de feixe laser, como, por exemplo, trenas laser, bem difundidas no mercado. Uma trena laser é composta basicamente de um display LCD e um módulo de medição à laser. Ao invés de utilizar uma trena laser, utilizou-se apenas um módulo de medição conforme Figura 7, modelo 703A, da desenvolvedora JRT Meter Technologies.

Figura 7 – Módulo de Medição Laser.



Fonte: [www.jrt-measure.com](http://www.jrt-measure.com)

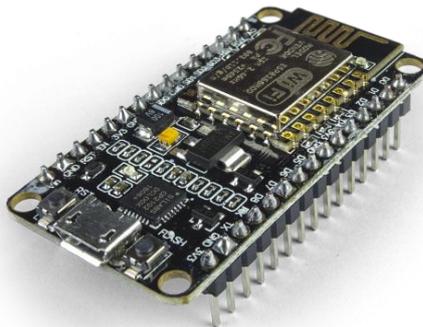
Este módulo de medição possui alcance de 0.03 m até 40 m, e uma resolução de 1 mm, se comunicando com um microcontrolador por comunicação serial.

## 2.6 NodeMCU

É necessária a utilização de tecnologias IOT para enviar os dados dos sensores para a internet. IOT, ou internet das coisas, nada mais é que uma rede de objetos físicos (neste caso a mini ponte, sensores e conexão com a rede) capaz de coletar e transmitir dados da Web.

O NodeMCU, Figura 8, é uma plataforma open-source de IOT, podendo ser programável na linguagem padrão do popular microcontrolador Arduino, utilizando a mesma IDE. O NodeMCU contém um módulo chamado de ESP8266, com protocolo TCP/IP integrado que consegue dar a qualquer microcontrolador acesso à sua rede WiFi.

Figura 8 – NodeMCU.

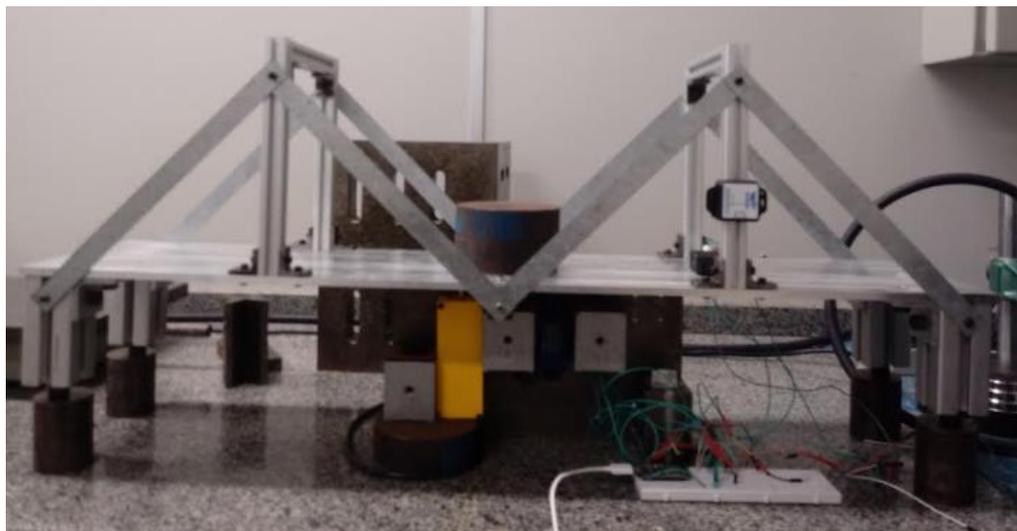


Fonte: [www.robocore.net](http://www.robocore.net)

Os sensores previamente apresentados foram conectados ao NodeMCU, e então, desenvolveu-se um firmware possibilitando a plataforma de receber informações de todos os sensores ao mesmo tempo, interpretar estas informações e enviar para um banco de dados na Web.

Uma vez que o firmware foi finalizado, foi possível instrumentar a ponte com todos os sensores, conforme Figura 9. Colocou-se uma carga de prova de 4 kg, bem no centro da estrutura, de modo a fletir a ponte e certificar o funcionamento do sistema.

Figura 9 – Ponte Instrumentada.



Fonte: Própria.

### 3 PROGRAMAÇÃO WEB

Os dados enviados dos sensores para o NodeMCU devem ser armazenados em nuvem, e apresentados de forma legível em uma página Web. Portanto, é necessária a utilização de ferramentas de programação Web, como PHP, HTML, CSS e Java Script. Foi utilizado o servidor independente de plataforma e software livre XAMPP, que torna fácil para os desenvolvedores a tarefa de criar um servidor web local para fins de teste. O XAMPP consiste principalmente na base de dados MariaDB, servidor web Apache, e os interpretadores para linguagens de script: PHP e Perl.

Uma vez com a plataforma instalada no computador, utilizou-se as ferramentas HTML e CSS para criar o layout da página, apresentada na Figura 10. O HTML - HyperText Markup Language - é uma linguagem de marcação utilizada na construção de páginas Web, agindo principalmente na parte de formatação e layout da página. O CSS - Cascading Style Sheets - é usado para alterar esse layout para adicionar informações estilísticas ou relacionadas à aparência na página. A página fica acessível para todos os usuários que estejam conectados na mesma rede em que a página está sendo desenvolvida.

Figura 10 – Página Web.



Fonte: Própria.

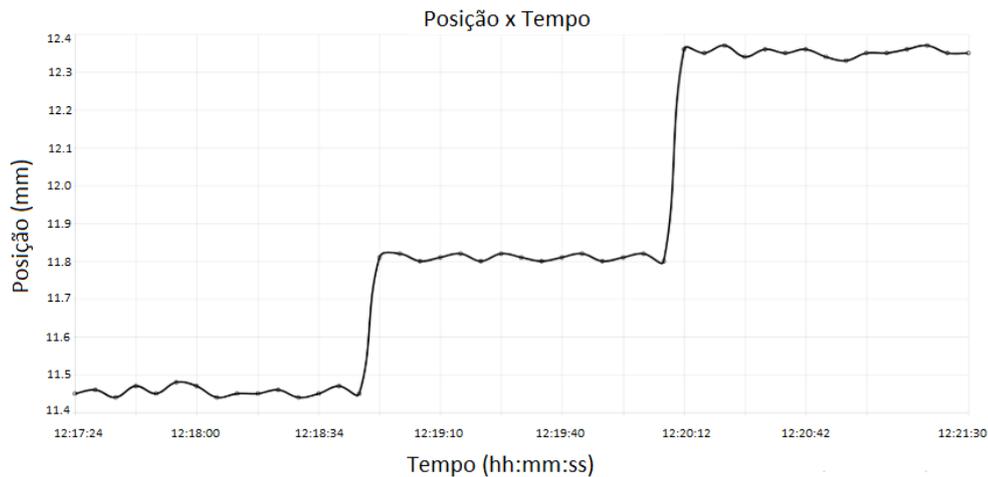
Após a criação da página, foi utilizada a linguagem PHP para programar a rotina que auxilia o NodeMCU a salvar os dados obtidos em um banco de dados disponibilizado pelo XAMPP. O PHP - Hypertext PreProcessor - é uma linguagem interpretada livre, usada para o desenvolvimento de aplicações presentes no lado do servidor, gerando conteúdo dinâmico na Web. O sistema de gerenciamento de banco de dados utilizado é o MariaDB, que surgiu como uma ramificação do MySQL. No MariaDB é possível salvar os dados adquiridos dos sensores juntamente com o horário da aquisição.

Finalizada a programação Web, o sistema está integrado e pronto para ser utilizado. Os sensores, dispostos ao longo da estrutura da mini ponte, enviam sinais ao NodeMCU, que guarda estes dados, com auxílio de PHP, em um banco gerenciado pelo MariaDB. HTML, CSS e Java Script utilizam esses dados para apresentar resultados de forma legível na página Web. Este ciclo de medição e apresentação dos resultados leva ao todo 6 segundos para ser realizado.

#### 4 RESULTADOS

Foram realizados dois testes, os quais consistiram em colocar cargas no centro da estrutura da mini ponte, conforme Figura 9, de modo a fazê-la fletir, e deste modo medir os deslocamentos resultantes. As cargas utilizadas foram de 4 kg e 8 kg, respectivamente. O gráfico da Figura 11 apresenta os resultados para o sensor do tipo potenciômetro deslizante.

Figura 11 – Deslocamentos resultantes para o sensor do tipo potenciômetro deslizante.

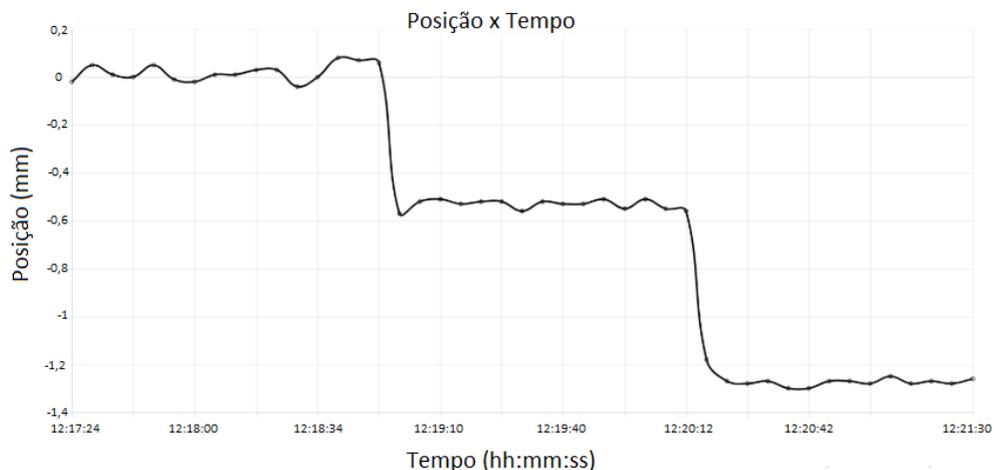


Fonte: Própria.

O valor inicial medido foi de aproximadamente 11,45 mm. Utilizando uma carga de 4 kg, o valor medido ficou em aproximadamente 11,80 mm, e manteve oscilando em torno deste valor, ou seja, um deslocamento de 0,35 mm. Utilizando uma carga de 8 kg, o valor medido foi de aproximadamente 12,20 mm, também apresentando oscilações, indicando, portanto, um deslocamento total de 0,75 mm.

Em seguida, analisou-se os resultados para o sensor de deslocamentos do tipo medidor de profundidade de pneus, com os resultados apresentados no gráfico da Figura 12.

Figura 12 – Deslocamentos resultantes para o sensor do tipo medidor de profundidade de pneus.

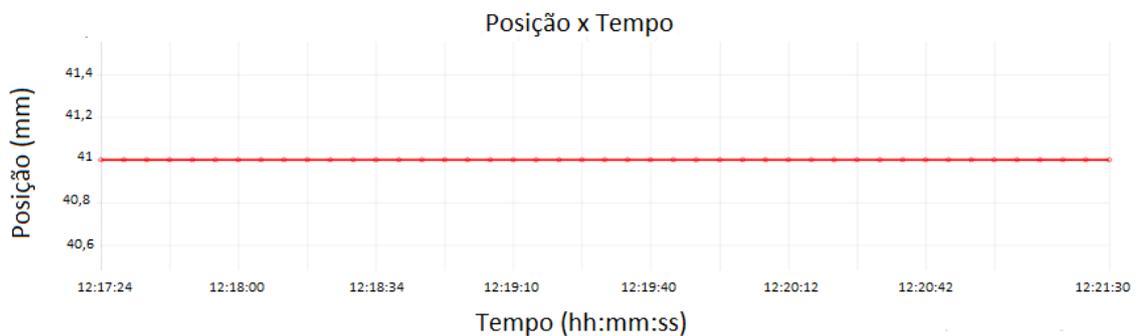


Fonte: Própria.

Sem carga sobre a estrutura, o medidor aferiu um deslocamento de 0 mm, com oscilações em torno deste valor. Colocando uma carga de 4 kg, e, após, 8 kg, o medidor indicou deslocamentos de aproximadamente 0,50 mm e 1,20 mm, respectivamente, com oscilações em torno destes valores.

O telêmetro à laser foi colocado de forma a medir o deslocamento de um dos pórticos da ponte. Ele foi colocado sobre a chapa principal da estrutura, e apontando para um dos pórticos, medindo uma distância inicial para este como sendo de 41 mm. Este sensor acusou a mesma medida durante todo o experimento, de 41 mm, indicando que o pórtico se deslocou menos do que 1 mm, a resolução do telêmetro à laser.

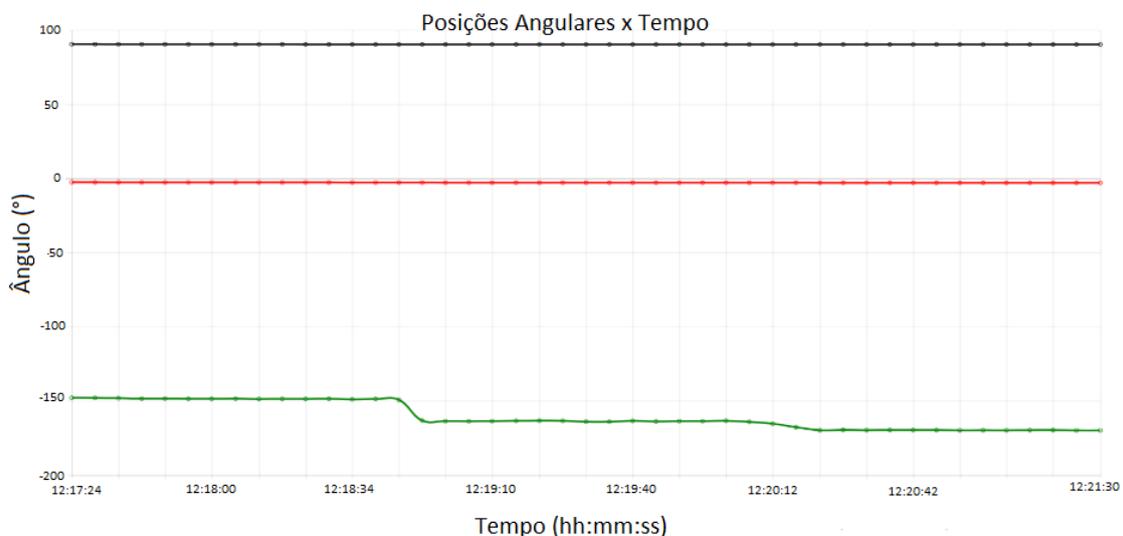
Figura 13 – Deslocamentos resultantes para o sensor do tipo telêmetro à laser.



Fonte: Própria.

O acelerômetro, montado em um dos pórticos, gerou resultados de medições de deslocamentos angulares, velocidades angulares e acelerações angulares. A Figura 14 apresenta o gráfico de posições angulares por tempo. A variação de carga, de 0 kg à 8 kg provocou um deslocamento angular do pórtico de aproximadamente 15° em torno de um dos eixos, conforme mostra a curva em verde.

Figura 14 – Deslocamentos resultantes para acelerômetro baseado em MEMS.



Fonte: Própria.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Excelentes resultados foram obtidos com o sistema de monitoramento de estabilidade de estruturas geométricas descrito neste artigo. Os resultados apresentados demonstram que o sistema foi validado por meio de testes de deflexão, provocando deslocamentos na estrutura, os quais não somente foram detectados, mas também mensurados. O sistema possui custo reduzido, e, uma vez programado, é de fácil utilização, apresentando-se como uma plataforma intuitiva e de fácil compreensão para o uso no monitoramento de estruturas, e se necessário, em outras linhas de pesquisas existentes no IFSC Campus Florianópolis.

Os próximos ensaios visam a utilização do sistema para avaliar o comportamento da estrutura quando submetida a vibrações com amplitudes e frequências diferentes, uma das principais causas de falhas em estruturas.

### *Agradecimentos*

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) pelo apoio financeiro. Ao grupo de pesquisa em Processos de Fabricação e Tecnologia dos Materiais (PFBMAT) do IFSC pelo suporte na fabricação das peças de material polimérico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, WAYNE SANTOS DE. Sistemas Computacionais de Apoio à Monitoração de Estruturas de Engenharia Civil. 2007. 265 p. Tese (Doutorado) – Escola Politecnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- NODEMCU. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2018. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/NodeMCU>>. Acesso em: 19 dez. 2018.
- XAMPP. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2018. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/XAMPP>>. Acesso em: 8 jun. 2018.

## STRUCTURAL HEALTH MONITORING SYSTEM USING IOT TECHNOLOGIES

**Abstract:** *The good geometric stability of large metallic and reinforced concrete structures is an indication of their operational reliability and the adequacy of the maintenance actions dedicated to these structures. Contrary to this, changes in the geometry of these structures are indications of problems that can lead to operational limitations, high repair costs and risks to their safety. In order to identify structural problems in the initial phase, generating valuable information for preventive and corrective actions, the real-time monitoring of the geometric stability of these structures is the most rational but unfortunately almost non-existent strategy in Brazil. In this context, a health structure monitoring system was developed in the Laboratory of Metrology of the IFSC Campus Florianópolis, consisting of an aluminum mini-bridge, sensors for monitoring displacements and an IOT platform called NodeMCU. The result of this composition is an integrated monitoring platform, allowing to evaluate the behavior of a structure in real time in a simplified way and without high cost, being an excellent instrument to generate knowledge in engineering courses.*

**Key-words:** *Monitoring. Displacements. IOT.*