EMPREGO DA IoT PARA ACOMPANHAMENTO DA ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA DE BLOCOS DE CONCRETO MASSA[1]

COSTA E SILVA, A.J., Universidade Católica de Pernambuco, e-mail: angelo@tecomat.com.br; SARMENTO, A.A.M., Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: aams@cin.ufpe.br; VERÇOSA, B.C.D., Universidade Católica de Pernambuco, e-mail:brunovercosa@icloud.com.

ABSTRACT

The study has been motivated by the challenge to join a low cost open hardware technology to the well knowledge thermometric practices used on the determination of the heat of hydration and temperature rise of the mass concrete. It was produced a data logger capable of record and publish in real time by the web (IOT) the temperature reached at different regions of mass concert structure during its hardening stage. The results of the experimental stage of this work have shown that the data logger constructed is capable to record with accuracy and precision the temperature rise of the structure as a result of the exoteric hydration reactions of the cement Portland.

***Keywords**: Concrete, IOT, temperatura.*

1 INTRODUÇÃO

A atual situação econômica global, somada aos avanços tecnológicos da indústria do concreto e da engenharia civil, vem permitindo a construção de estruturas de grande porte e esbeltez, o que contribui para o acréscimo dos esforços aplicados em blocos de fundações.

Por isso, essas estruturas têm sido concebidas em grandes volumes (concreto massa), o que acarreta numa maior quantidade de cimento empregada e, por consequência, na geração de elevado calor decorrente da hidratação exotérmica do cimento. Como descrito em Furnas (1997), estruturas cuja menor dimensão seja superior a 0,50m já requerem uma análise das tensões de origem térmica, ainda que se associe as estruturas de concreto massa a barragens.

De acordo com Couto, Helene e Almeida (2016), um dos principais problemas da engenharia em concreto massa consiste no controle de fissuração de origem térmica, que podem resultar em graves danos à armadura pela facilidade de entrada de agentes agressivos.

Devido à relativamente baixa condutividade térmica do concreto, o calor gerado faz com que haja uma elevação de temperatura no núcleo do elemento estrutural, a qual depende, dentre outros fatores, das dimensões do elemento. Quanto maior for o elemento estrutural, maior será a temperatura no seu interior (ARAÚJO; HELENE, 2013).

[1] COSTA E SILVA, A.J.; SARMENTO, A.A.M.; VERÇOSA, B.C.D. Emprego da IoT para acompanhamento da elevação da temperatura de blocos de concreto massa . In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais…** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

Conforme Sachs (2012), o processo de fissuração pode decorrer de dois fatores distintos: origem térmica, por conta de tensões de tração resultantes do gradiente térmico formado durante a cura; e a formação de etringita retardada, de comportamento expansivo, que pode ocorrer quando a temperatura atinge 65°C e se mantém por um certo período de tempo.

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um micro controlador de baixo custo capaz de interagir com o meio físico para obter sinais digitais e analógicos com amplitude adequada para medição de temperatura do concreto, a partir de simulação de estruturas em laboratório, em escala reduzida. A implementação de uma solução de internet das coisas, em tempo real, do comportamento térmico do concreto, permite não apenas acompanhar, mas monitorar (inclusive remotamente) a evolução dessa temperatura a partir de intervenções acionadas simultaneamente aos dados indicadores coletados.

2 CONCEITUAÇÃO TEÓRICA

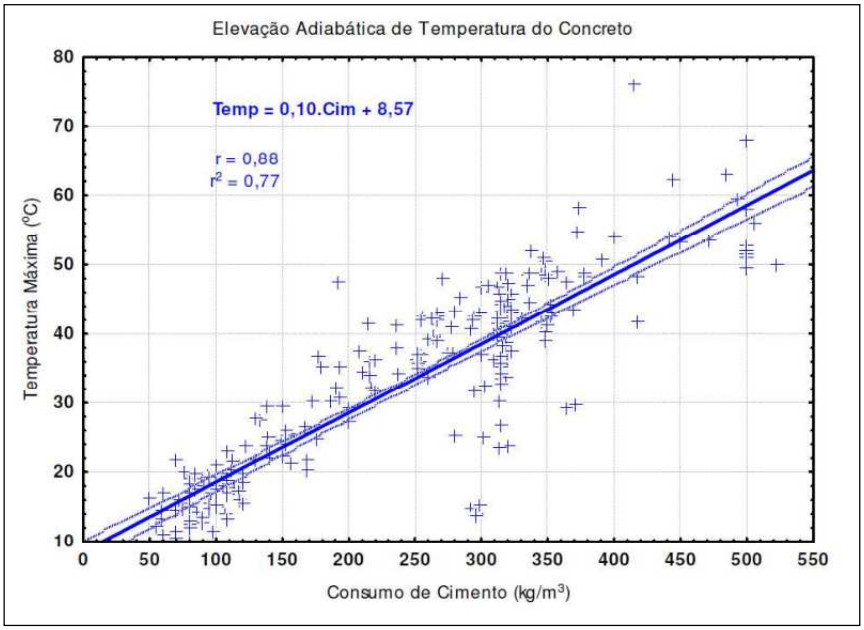
Segundo Neville (1997), a hidratação dos compostos do cimento libera calor por se tratar de uma reação exotérmica, cuja energia liberada pode alcançar patamares de 500J/g de cimento, a depender do tipo. Devido à baixa condutividade térmica do concreto, ocorre um acúmulo de calor que pode alcançar grandes temperaturas no interior de blocos de fundação.

O autor afirma ainda que a troca de calor com o meio externo se dá mais rapidamente nas extremidades do bloco, o que resulta na formação de um gradiente térmico, e como consequência surgem tensões de tração e compressão em zonas distintas. Quando estas tensões de tração atingem valores superiores à resistência do concreto, há a formação de fissuras.

Nas primeiras horas após a concretagem das peças, esse aumento de temperatura do concreto pode gerar tensões internas de compressão que não são danosas, em decorrência do seu ainda baixo módulo de elasticidade. Contudo, no sentido inverso da expansão ocorre a contração, que surge após um natural aumento da sua rigidez, e provoca esforços de tração que, a depender da magnitude, podem resultar em fissuras de grande extensão e abertura. Isso justifica a necessidade de controle do aumento da temperatura do concreto, especialmente em grande volume, onde a quantidade de cimento, e a consequente liberação de calor durante a sua hidratação, são elevados.

Além do volume de concreto da estrutura, também o consumo por m^3, e o tipo de cimento interferem na elevação da temperatura da estrutura. Estudo apresentado por Gambale (2010) ilustra a influência do consumo de cimento no comportamento térmico de concreto, conforme descrito na Figura 1.

Figura 1. Influência do consumo de aglomerante na elevação adiabática de temperatura.

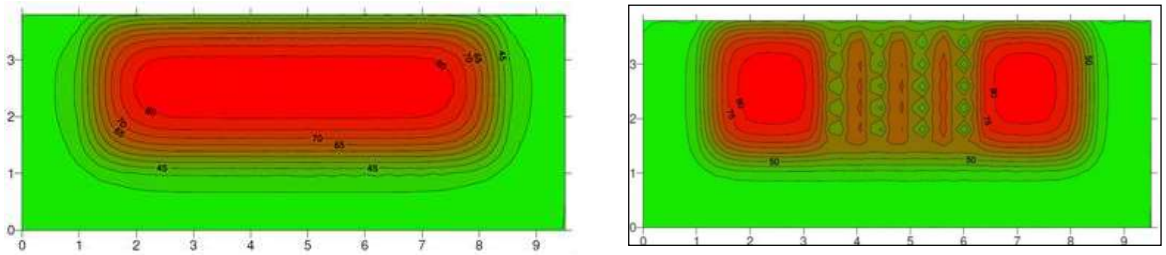


Fonte: Adaptado de Gambale (2010).

A atenuação desse efeito térmico em peças de concreto massa pode ser efetuada de algumas formas: diminuição do consumo de aglomerantes, execução da concretagem em camadas, utilização de cimentos com baixo teor de clínquer (CPIII, CPIV), emprego de adições minerais incorporadas ao concreto, em substituição parcial ao cimento, além de técnicas de resfriamento forçado, com o emprego de gelo em escama, ao invés da água em estado líquido na mistura inicial, ou com a passagem de água gelada por serpentinas inseridas no interior das peças.

A Figura 2 mostra um exemplo de curvas de temperatura de concreto com e sem a utilização do pós resfriamento, nesse caso com emprego da serpentina, onde se pode perceber a eficiência da técnica para atenuação térmica do componente (GAMBALE, 2010).

Figura 2 - Ilustração da temperatura de um bloco de fundação com e sem o emprego do pós resfriamento com serpentina.



Sem resfriamento – Tmax: 85ºC

Com resfriamento – Tmáx: 75ºC

Fonte: Adaptado de Gambale (2010).

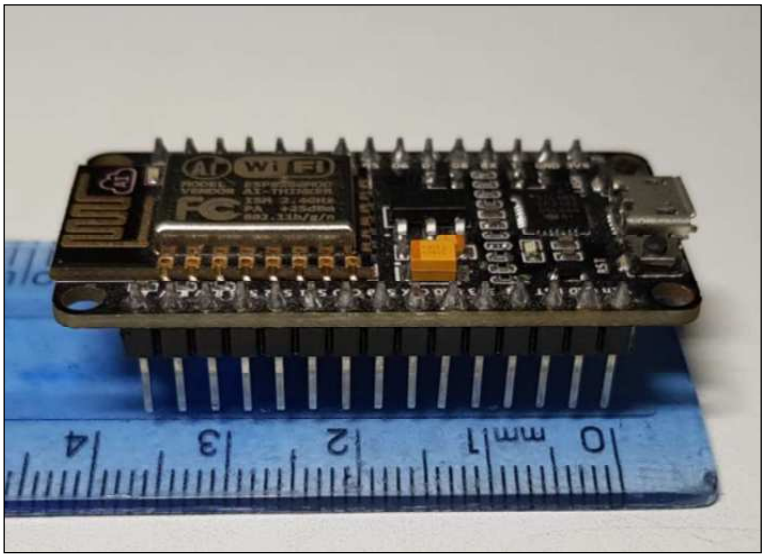
3 EXPERIMENTO – DESCRIÇÃO E RESULTADOS

3.1 Sistema de medição

A obtenção dos dados de temperatura nas peças, em linhas gerais, contempla a utilização de coletor de dados, inserido na massa de concreto, associado a um hardware compatível com o conceito de internet das coisas (IoT) para recepção e análise dos dados, em tempo real.

Para o hardware, optou-se pela utilização do NodeMCU ESP8266, e o transistor DS18B20 como termopar. Esta solução foi adotada devido à ampla oferta desses produtos no mercado brasileiro e pela simplicidade de conexão entre as plataformas. Segundo Razzaque et al. (2016), o NodeMCU é uma placa da família ESP8266, umas das mais completas e simples de usar encontradas no mercado (Figura 3), muito empregada em soluções para IoT no mundo. A razão é que, em um pequeno espaço, encontram-se disponíveis onze GPIOS (general-purpose input/output), pinos de entrada e saída com funções de PWM, circuitos de regulação de tensão, além de conectividade Wi-Fi, e USB para programação.

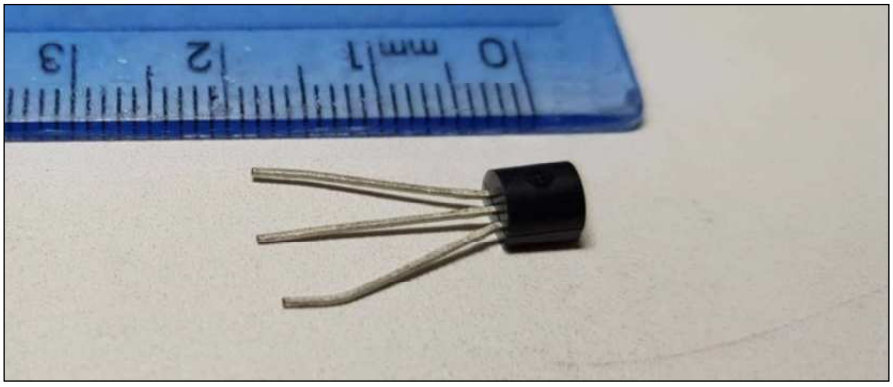
Figura 3. Node MCU ESP8266.



Fonte: Os autores.

Como coletor da temperatura no interior do concreto se utilizou o semicondutor DS18B20 (Figura 4), que opera na faixa de -55°C a +125°C. Medindo 0,5cm, não necessita de chips externos, visto que possui internamente um conversor A/D e uma memória de dados operacionais com registrador de CRC (Cyclic Redundancy Check).

Figura 4. Semicondutor DS18B20.



Fonte: Os autores.

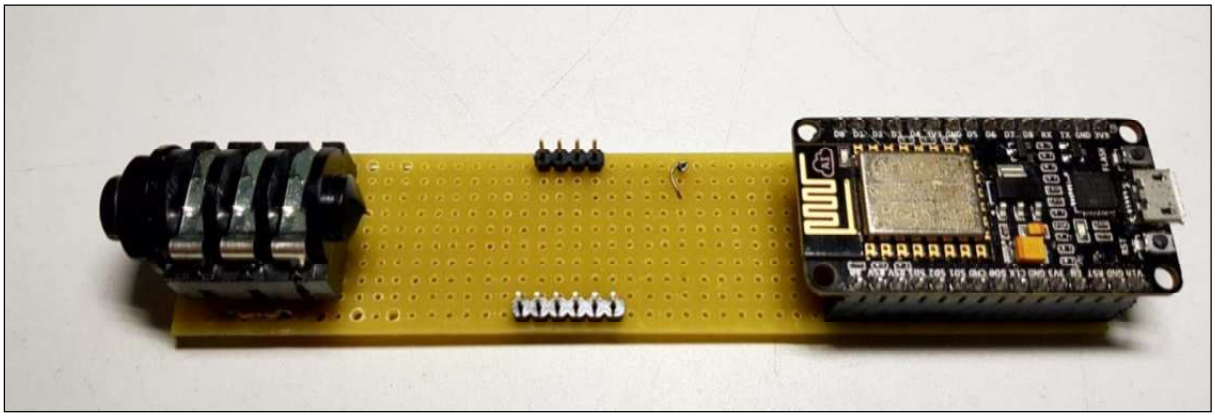
3.2 Experimento laboratorial

Para o experimento, foi preparado bloco de concreto, em escala reduzida, envolvido dentro de duas caixas de isopor para reduzir ao máximo a troca de calor com o ambiente.

3.2.1 Montagem dos equipamentos

A Figura 5 apresenta o detalhe dos periféricos do sistema, com os componentes sodados numa placa perfurada de fenolite para uma maior segurança e mobilidade.

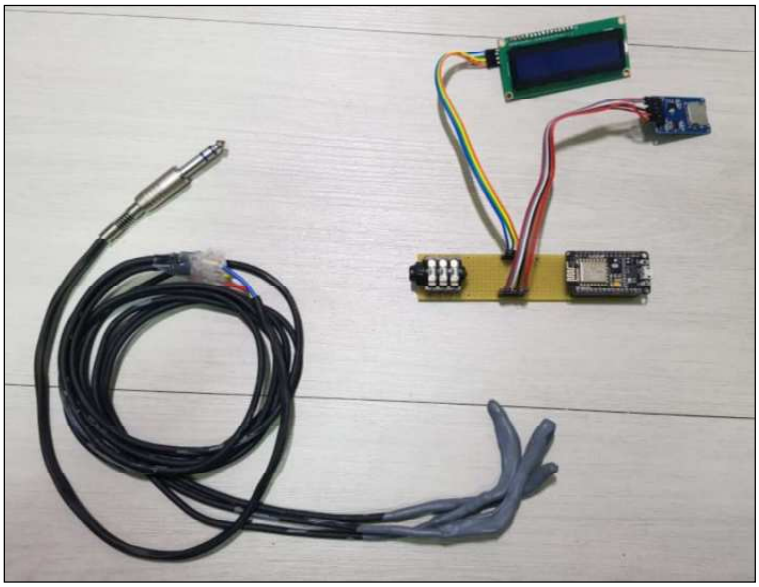
Figura 5. Sistema montado sem encapsulamento.



Fonte: Os autores.

A conexão dos sensores ao circuito foi feita através do jaque TRS de ¼. Foram ainda inseridos ao sistema pinos para posterior conexão com periféricos. Por se tratar de uma solução IoT, a visualização dos dados coletados foi feita em navegador WEB, e salvos em servidor. A Figura 6 mostra os periféricos conectados à placa, assim como os três sensores de temperatura ligados ao plugue TRS de ¼.

Figura 6. Sistema montado sem encapsulamento e conectado a todos os periféricos.



Fonte: Os autores.

3.2.2 Simulação do concreto em laboratório

De acordo com Furnas (1997), um bloco de concreto massa de menor dimensão possível teria (0,6x0,6mx0,6)m, totalizando 0,216m^3, em escala real. Para a simulação em laboratório, optou-se por um volume de 13,6l de concreto como fonte geradora de calor, adequado ao sistema isopor/manta-térmica empregado, com capacidade de 14l.

A Tabela 1 apresenta o traço unitário em peso do concreto, bem como o consumo de cada um dos insumos, por m^3.

Tabela 1 - Descrição do traço do concreto usado.

	cimento	**areia**	**brita 1**	**brita 2**	**água**	**aditivo**
T.U.P.	1	2,56	2,12	0,88	0,52	0,076
Consumo (kg/m^3)	340	870	722	300	178	3,79

Fonte: Os autores.

O concreto foi preparado numa betoneira estacionária de laboratório (150l), seguido da sua colocação no isopor (

Figura 7), com uma temperatura inicial medida em 27°C. Para permitir a colocação dos termopares, foram inseridas na massa hastes vazadas de alumínio, o que permitiu, inclusive, a remoção dos termopares tipo K ao final do experimento. Em seguida, o isopor foi tampado e as extremidades da tampa foram fixadas à caixa pelo uso de fita adesiva.

Figura 7 - Preparação e instrumentação do concreto no modelo reduzido em laboratório.



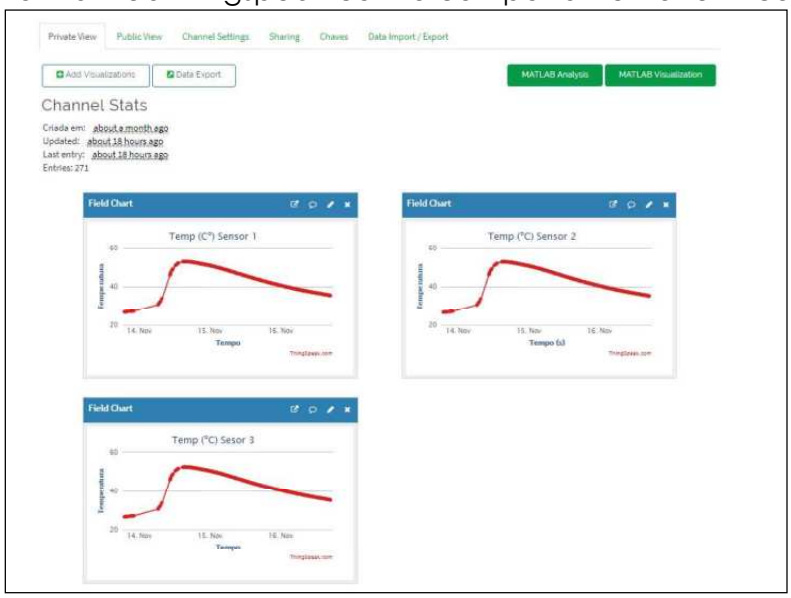
Fonte: Os autores.

3.2.3 Resultados obtidos – apresentação e discussão

As Figuras 8 e 9 mostram a visualização gráfica e em tempo real das plataformas web thingspeak, e em seu respectivo aplicativo para celular, indicando, nos três pontos de coleta, a elevação da temperatura no interior do concreto.

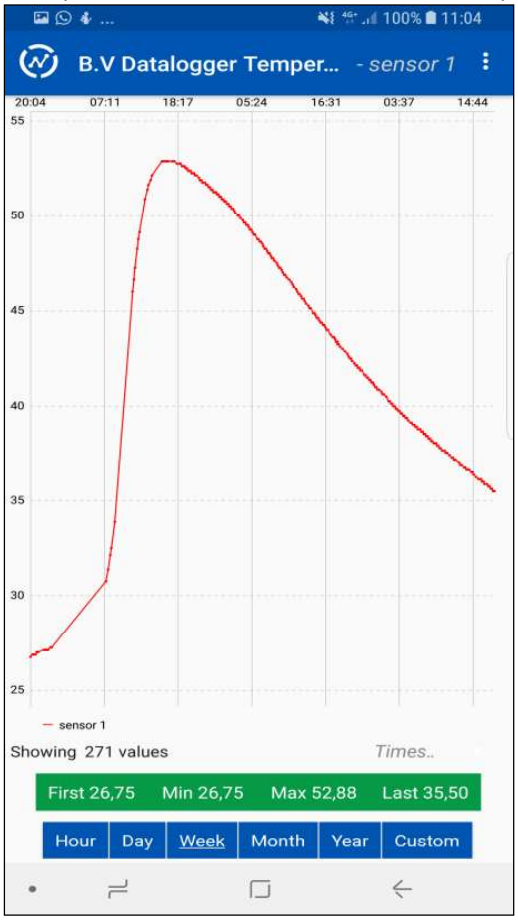
Importante ressaltar que, como preconiza o conceito da IoT, em qualquer tempo os dados podiam ser acompanhados, indicando que a tecnologia pode possibilitar intervenções no processo para atenuar o aumento de temperatura como, por exemplo, a liberação continuada de água pelas serpentinas, no caso do pós resfriamento da peça.

Figura 8. Plataforma web thingspeak com o comportamento térmico dos sensores.



Fonte: thingspeak.com, 2017.

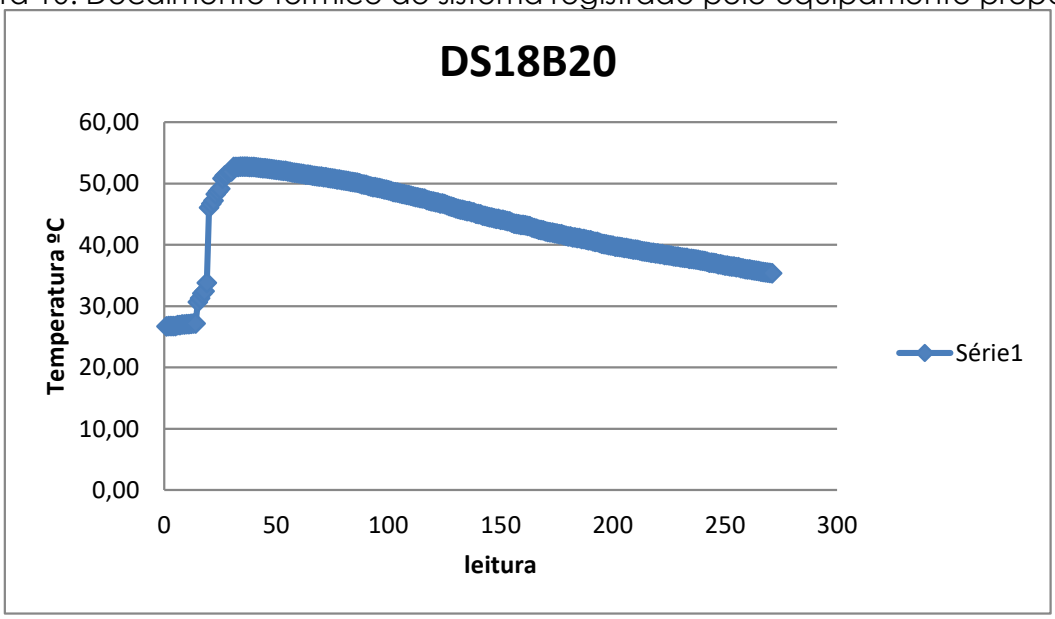
Figura 9. Captura de tela de aparelho celular android com aplicativo thingspeak.



Fonte: Os autores.

Na Figura 10 se pode verificar a evolução da temperatura interna no concreto em face da cinética da reação de hidratação do cimento. A temperatura máxima encontrada de 52,9°C pode ser considerada acentuada, ainda mais por se tratar de um volume em escala reduzida. Porém, esse resultado denota a eficiência da conservação de calor proposta a partir da utilização das caixas de isopor utilizadas no experimento.

Figura 10. Decaimento térmico do sistema registrado pelo equipamento proposto.



Fonte: Os autores.

4. CONCLUSÕES

A utilização de sensores e sistemas embarcados para coleta e avaliação de dados vem se tornando cada vez mais comum em diversas áreas da economia mundial.

No caso de elementos de concreto massa, de grande volume, o excessivo ganho de calor é um desafio importante a ser enfrentado, a partir de técnicas que permitam não apenas o seu acompanhamento, mas também o monitoramento de intervenções para controle da elevação de temperatura, e todas as suas consequências.

Nesse sentido, o presente estudo apresentou uma técnica de automação para aquisição dos dados, com o auxílio de sistemas eletrônicos simples e utilização de tecnologia IoT, que permitiram a visualização dos dados "in house", abrindo a possibilidade para a discussão de intervenções de controle e ajuste da temperatura em campo simultaneamente aos eventos ocorridos na obra, sem a necessidade de manutenção de pessoal qualificado 24h em campo.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. M.; HELENE, P. Tensões térmicas em blocos de concreto armado. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, Rio Grande, v. 13, n. 22, p.01-14, 14 out. 2013. Disponível

em: <http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art1_N22.pdf>. Acesso em: 06 de maio de 2017

COUTO, D.; HELENE, P.; ALMEIDA, L. C. Temperature monitoring in large volume spread footing foundations: case study. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 9, n. 6, p. 953-968, dez. 2016.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS. ANDRADE, W. P. (Ed.). **Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo – ensaios e propriedades**. PINI. São Paulo, 1997.

GAMBALE E. A. Análise estatística dos parâmetros que intervêm no fenômeno térmico do concreto massa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. 2010. Salvador, 52., 2010, Salvador. **Anais...** Salvador: IBRACON, 2010.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**. 2 ed. São Paulo: Editora Pini, 1997.

RAZZAQUE, M. A. et al. Middleware for internet of things: a survey. **IEEE Internet of Things Journal,** v. 3, n. 1, p. 70–95. fev. 2016. doi:https://doi.org/10.1109/JIOT.2015.2498900

SACHS, A. Calor sob controle. **Revista Téchne**, São Paulo, n. 190, p. 30-35, nov. 2012.