



VII SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability

ISSN: 2317-8302

SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA PREVENÇÃO EM ÁREAS DE RISCO DE ENCHENTES EM CIDADES INTELIGENTES: ESTUDO DE CASO EM SÃO CARLOS, SP

CARLOS ALBERTO NUNES DE OLIVEIRA

UNINOVE – Universidade Nove de Julho

DIEGO DE MELO CONTI

Universidade Nove de Julho

Agradeço ao VII Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade, pela oportunidade de expor o meu trabalho e a universidade Nove de Julho - UNINOVE.



SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA PREVENÇÃO EM ÁREAS DE RISCO DE ENCHENTES EM CIDADES INTELIGENTES: ESTUDO DE CASO EM SÃO CARLOS, SP.

Resumo

Este relato tem como objetivo descrever um estudo de caráter exploratório da implantação de uma ferramenta de previsão de enchentes dos rios urbanos por meio de rede de sensores sem fio na cidade de São Carlos (SP), o sistema e-Noé. Este dispositivo é constituído por sensores submersos conectados por meio da rede de sensores sem fio (RSSF), que nos últimos anos vem desenvolvendo um papel fundamental na arquitetura da Internet das Coisas (IoT), onde os sensores indicam a variação do rio sujeito a alagamento por meio da alteração da coluna d'água monitorada, cujos dados, juntamente com fotografias do rio feitas pelas câmeras de vigilância são encaminhados para a nuvem (banco de dados), onde são acessados pela defesa civil da cidade que pode tomar providências a tempo de evitar tragédias. Este sistema, ainda que em constante aprimoramento, apresenta importantes impactos sociais, econômicos e ambientais e representa importante medida de prevenção de desastres e pode evitar destruição e perdas humanas, mostrando ser um importante auxílio para as políticas públicas locais.

Palavras-chave: Rede de Sensores Sem Fio; Previsão de Enchentes; Internet das Coisas.

Abstract

This is a technical report describing a case study of the implementation of a flood forecasting tool for urban rivers through a wireless sensor network in the city of São Carlos (SP), the e-Noé system. It is a device made up of submerged sensors connected through the wireless sensor network (WSN) which in recent years has been playing a key role in the Internet Architecture of Things (IoT), where the sensors indicate the variation of the river subject to flooding by means of the alteration of the monitored water column whose data, together with photographs of the river made by the surveillance cameras are routed to a cloud (database) which are accessed by the city's civil defense who can make arrangements in time to avoid tragedies. This system, although constantly improving, presents important social, economic and environmental impacts and represents an important measure of disaster prevention and can avoid destruction and human losses, which can be an important auxiliary to local public policies.

Keywords: Wireless Sensor Network; Flood Forecast; Internet of Things.



1. Introdução

Desastres naturais como, enchentes, inundações, deslizamentos de terra, incêndios, erupções vulcânicas e, os danos causados por estes eventos representam um problema global que ocasiona perdas financeiras e vidas. O cenário é agravado com as mudanças das condições climáticas do planeta e é observado principalmente nas regiões urbanas.

As enchentes representam uma realidade que afeta todo o país e, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 1.543 municípios sofreram enchentes entre os anos de 2008 a 2012, deixando 1.4 milhão de pessoas desabrigadas.

De acordo com os dados do Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE) órgão da Prefeitura de São Paulo responsável pelo monitoramento das condições meteorológicas na Capital, de novembro de 2016 a abril de 2017 ocorreram 55 enchentes na cidade de São Paulo.

Com a devastação do ecossistema, o meio ambiente é afetado e modifica o clima local devido às emissões de poluentes. Esta mudança climática causa um impacto significativo com relação à frequência e na magnitude das enchentes Knox e Kundzewicz (1997). A criação de ilhas de calor é um exemplo que ilustra este cenário de mudanças, que modificam os padrões de chuvas (Mendiondo, 2008).

Para Arjun *et al.* (2015), fazer monitoramento por meio de sensores é uma alternativa viável e que se faz necessária para a realização de previsões, com o intuito de gerar alertas em tempo hábil para decidir qual a melhor tomada de decisões com relação aos desastres naturais. O aumento das áreas construídas (não permeáveis) nos centros urbanos gerou um problema de escoamento das águas das chuvas, criando áreas de inundações e risco, causando perdas humanas e financeiras, por não haver espaço físico de armazenagem e drenagem dessas águas. As técnicas utilizadas atualmente para diminuir os danos provocados pelas enchentes, não expõe um valor significativo (Freitas e Ximenes, 2012).

Muitos trabalhos já foram realizados sobre as enchentes e os meios de monitoramento, mas é necessário aumentar a precisão dessas previsões Furquim (2017). Esta necessidade é aumentada quando se tem combinado *Internet of Things* (IOT), Rede de Sensores Sem Fio (RSSF), *Machine Learning* (ML) e mecanismos de tolerância de falhas com o intuito de monitorar e realizar as previsões.

Um dos projetos desenvolvidos com o intuito de realizar monitoramento dos rios urbanos por meio de RSSF para identificar possíveis enchentes e inundações é o e-Noé, que foi desenvolvido pelo pesquisador Jó Ueyama da Universidade de São Paulo (USP) e cujo protótipo foi testado nos córregos Monjolinho e Tijuco Preto, ambos da cidade de São Carlos – SP, e obteve resultados satisfatórios (Vasconcelos, 2018).

O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de uma ferramenta de cidade inteligente para previsões de enchentes e alagamentos que foi implantada na cidade São Carlos (SP). O estudo aborda o processo de implantação e sua capacidade de precisão, assim melhorando a confiabilidade, auxiliando as políticas públicas locais de sustentabilidade.

A pergunta condutora desta pesquisa foi: “como as tecnologias de cidades inteligentes podem auxiliar os centros urbanos na mitigação e intervenção dos efeitos negativos das enchentes?”.

Assim, o presente relato busca analisar como o projeto e-Noé foi colocado em prática, qual o impacto social gerado, quais os resultados obtidos e sugerir novos estudos a partir do relato.



2. Referencial Teórico

2.1. Conceito e definição de cidade inteligente

O conceito de cidades inteligentes é o uso da tecnologia durante o seu processo de planejamento com o envolvimento dos cidadãos. Para compreender o conceito é necessário reconhecer que as cidades desempenham um papel primordial nos aspectos socioeconômicos em todo o mundo, e que possuem um considerável impacto ambiental. Existem diversos conceitos e definições para cidades inteligentes, e por existir diversas ideias de conceitos não representa uma frivolidade intelectual, entretanto cada cidade possui um entendimento em um determinado momento.

Pode-se dizer que o conceito de cidades inteligentes se mescla com diversos outros, como cidades conectadas, cidades resilientes, telecidades, cidade baseada no conhecimento etc. Existem muitas definições para cidades inteligentes com uma variedade de variantes conceituais onde esta rotulagem é um conceito difuso e é utilizado de modo nem sempre sustentado já que não existe um modelo único que enquadre uma cidade inteligente (O'Grady & O'Hare, 2012).

O termo foi utilizado pela primeira vez, na década de 1990, pela IBM e estava focado nas tecnologias da informação e comunicação (TIC's) com relação às modernas infraestruturas dentro das cidades. O *California Institute for Smart Communities* foi um dos primeiros institutos a se dedicar aos métodos com os quais as comunidades poderiam se tornar inteligentes e como uma cidade poderia ser projetada para implementar as TIC's (Alawadhi et al, 2012; Harrison et al, 2010).

Dentro do planejamento urbano, a cidade inteligente é tratada como uma dimensão ideológica, que ser inteligente implica em direções estratégicas. Governos e agencias públicas em todos os níveis estão adotando a noção de inteligência, visando o desenvolvimento sustentável, crescimento econômico, melhor qualidade de vida para os seus cidadãos e bem-estar (Ballas, 2013).

Batty et al. (2012) afirmam que a difusão das TIC's nas cidades deve melhorar o modo de funcionamento de cada subsistema visando melhorar a qualidade de vida.

2.2. Tecnologias de Cidades Inteligentes nas áreas de risco de enchentes (ou meio ambiente)

As Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) são redes formadas por sensores responsáveis pelo funcionamento e pela retransmissão das mensagens, surgindo como uma abordagem alternativa para obtenção de dados, podendo fornecer informações atualizadas para os gerenciamentos dos recursos hídricos (Ueyama et al, 2010). Normalmente uma RSSF funciona em três etapas: sensor, fenômeno e observador. No caso do e-Noé os sensores espalhados pelos rios determinados aguardam o fenômeno (enchente) e o alerta é encaminhado para o observador (defesa civil e população).

A utilização de redes de sensores desempenha um papel decisivo na arquitetura da *Internet of Things* (IoT). Tanto a arquitetura de rede de sensores quanto a IoT afetam diretamente o sistema e as funções para o qual foi desenvolvido (Pereira, Zaslavky, Christen & Georgakopoulos, 2014). Porém o estudo realizado por Mainetti, Patrono e Vilei, (2011) ressaltou a necessidade de pesquisa sobre a utilização de RSSF e IoT com o propósito de conseguir uma arquitetura tolerante a falhas, sendo a IoT uma evolução natural de RSSF para a previsão de desastres naturais.



O primeiro protótipo desenvolvido no projeto e-Noé pela equipe do pesquisador Jó Ueyama, foi construído em cima da plataforma do sensor motes SunSPOT e foi adaptado para as condições dos rios da cidade que normalmente são poluídos, além de também terem sido inseridos um sensor de poluição e um acelerômetro (para garantir a segurança física do dispositivo). Realizadas as devidas análises, foi identificado que o SunSPOT não atendia a necessidade do projeto e, por esta razão, o sensor motes XBee foi adotado na construção do novo protótipo, demonstrando alcance de comunicação superior, e um consumo menor de energia (Ueyama et al., 2010).

Além dos sensores submersos, o e-Noé possui câmeras que fotografam o rio, encaminhando as imagens com as informações dos sensores para um servidor (nuvem), detectar e prever possíveis enchentes automaticamente sem intervenção humana, seguindo o modelo IoT.

Durante entrevista para revista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Ueyama esclareceu que os dados do sistema e-Noé podem ser acessados por qualquer usuário conectado à internet.

3. Metodologia

Este trabalho é um estudo de caráter exploratório qualitativo de natureza descritiva e analítica partindo de uma pesquisa bibliográfica conceitual que aporta elementos teóricos de suporte ao relato analisado. Segundo Yin (2015), o estudo de caso tem a intenção de compreender fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real e pode ser tratado como importante estratégia metodológica de pesquisa.

O estudo aborda a implantação de uma intervenção de monitoramento do risco de enchentes das bacias fluviais que se fez necessária na cidade de São Carlos por ser uma região frequentemente afetada por estes fenômenos. Novas informações sobre a eficácia da aplicação do dispositivo na região foram obtidas através de entrevistas com o autor do projeto e-Noé e com a Defesa Civil do Município de São Carlos. Os resultados obtidos nesta avaliação foram organizados e analisados qualitativamente de forma a criarem subsídio à geração de novas soluções para os problemas apresentados.

4. Resultados Obtidos e Análise

A idealização do projeto de um sistema de RSSF para detecção de enchentes originou-se na Inglaterra por meio da pesquisa *An Intelligent and Adaptable Grid-based Flood Monitoring and Warning System* do inglês Daniel Hughes da Universidade de Lancaster. O pesquisador Prof. Dr. Jó Ueyama adaptou os dados desta pesquisa à realidade da cidade de São Carlos – SP, onde foi implantado um projeto piloto em meados de maio de 2012 com autorização e parceria da prefeitura municipal, mas a parceria foi revogada com a nova gestão.

A ferramenta e-Noé é um dispositivo já operacional, desenvolvido por pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP), é constituído por sensores submersos, que são conectados por meio da RSSF onde os sensores indicam a variação do rio sujeito a alagamento por meio da alteração da coluna d'água que é monitorada. Após a detecção da alteração as câmeras de vigilância fotografam o rio e os dois dados são encaminhados para uma nuvem (banco de dados) que são acessados pela defesa civil da cidade, vide Figura 1.



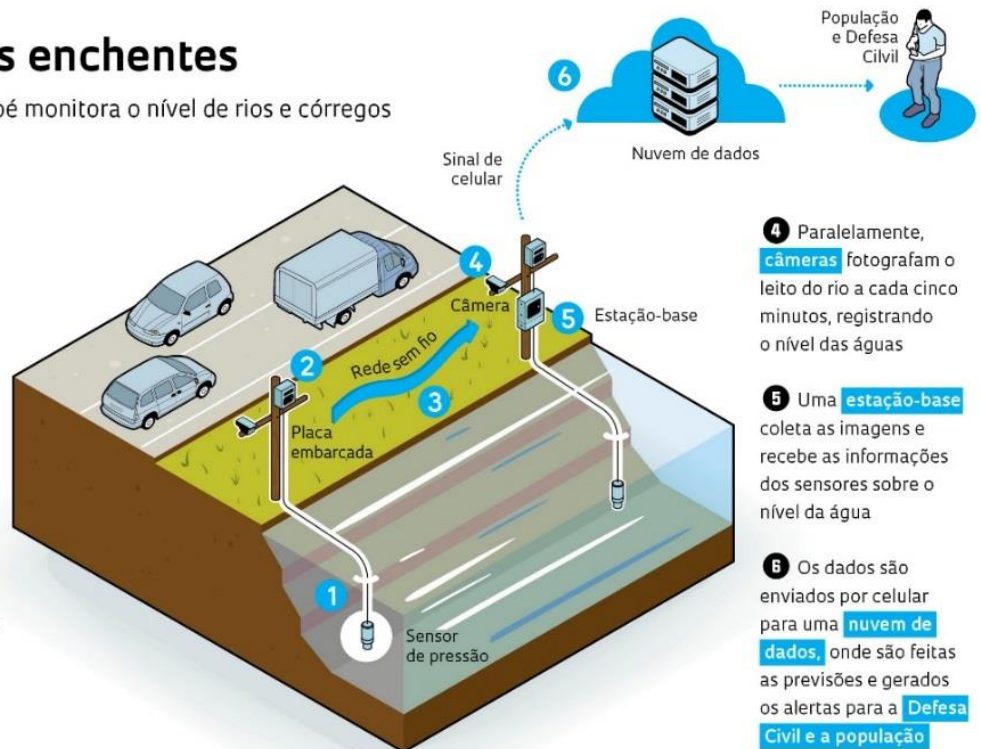
De olho nas enchentes

Entenda como o e-Noé monitora o nível de rios e córregos

1 Sensores instalados no leito do rio medem continuamente a pressão da coluna d'água e identificam quando o nível sofre alterações

2 Cada sensor é conectado a uma placa embarcada, colocada na margem do rio, dotada de memória e processador

3 As placas se comunicam entre si por meio de uma tecnologia de rede sem fio, como LoRa, Bluetooth ou Zigbee. A distância entre elas varia de 50 m a 3 km



4 Paralelamente, câmeras fotografam o leito do rio a cada cinco minutos, registrando o nível das águas

5 Uma estação-base coleta as imagens e recebe as informações dos sensores sobre o nível da água

6 Os dados são enviados por celular para uma nuvem de dados, onde são feitas as previsões e gerados os alertas para a Defesa Civil e a população

FONTE: JÓ UEYAMA/USP INFOGRÁFICO ANA PAULA CAMPOS ILUSTRAÇÃO ALEXANDRE AFFONSO

Figura 1. Representação do sistema

Fonte: Recuperado de “Alerta Contra Inundações,” de Y., Vasconcelos, 2018, Revista FAPESP 263ª Ed.

Os dados do equipamento são transmitidos via *wireless Zigbee* até uma central, que possui um software que analisa e dispara o alerta via mensagens de SMS para telefones celulares de moradores cadastrados no sistema, porém, ainda não é possível o cadastramento da população.

A Figura 2 mostra o riacho de Monjolinho, Santa Maria Madalena e Tijuco Preto, todos localizados no centro da cidade de São Carlos, onde foram implantados os sensores de monitoramento, a área azulada é uma zona crítica de enchentes na intersecção dos rios Monjolinho e Santa Maria Madalena, por causa desses problemas a área é monitorada por uma RSSF ao longo do rio.

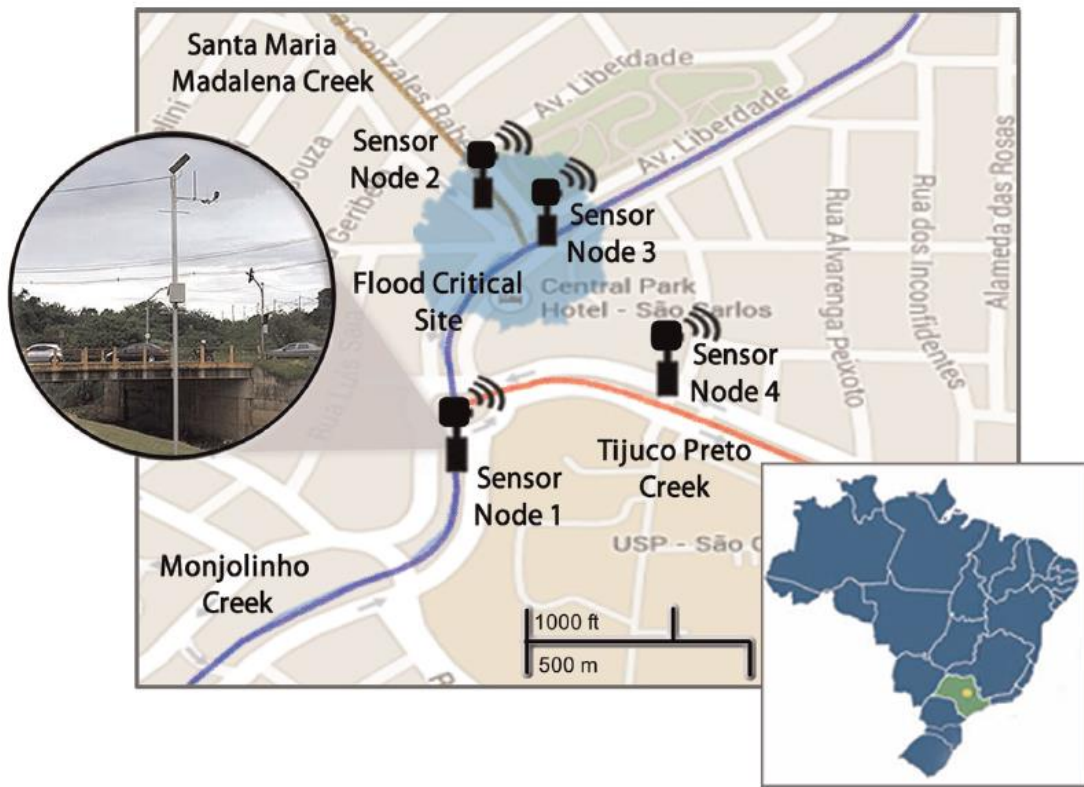


Figura 2. A área de estudo em São Carlos / SP, Brasil

Fonte: Recuperado de “AGORA-GeoDash: a geo sensor dash board for real-time flood risk monitoring,” de F. E. A. Horita, M. C. Fava, E. M. Mendiondo, J. Rotava, V. C. Souza, J. Ueyama, J.P. Albuquerque, 2014, University Park, USA, p.304–313

Ueyama durante entrevista para revista da FAPESP afirma que o sistema e-Noé obteve bons resultados nos rios Monjolinho e Tijuco Preto durante os testes realizados, por meio do aprimoramento o próximo passo será investir em energia solar utilizando placas fotovoltaicas e baterias de alta performance para melhorar o fornecimento de energia do sistema. Atualmente, já foram instalados oito sensores nos rios Monjolinho e Tijuco Preto (Vasconcelos, 2018).

O sistema completo de RSSF para monitoramento e previsão de enchentes possui uma estimativa de custo em torno de R\$ 15 mil, tendo como potenciais clientes desta tecnologia os administradores municipais ou estaduais responsáveis pelo monitoramento dos rios urbanos e a Agência Nacional de Águas (ANA), responsável pela gestão dos recursos hídricos do Brasil.

A figura 3 apresenta uma análise do tripé da sustentabilidade e ganhos social, ambiental e econômico do sistema estudado, permitindo antecipação dos fatos de catástrofe, resultando:



Figura 3. Benefícios do e-Noé para a cidade de São Carlos no tripé da sustentabilidade
Fonte: Elaborado pelo autor

Após a observação do autor em relação aos benefícios gerados pelo sistema e-Noé, é possível enxergar os ganhos sociais, econômicos e sustentáveis após implementação do sistema, sendo necessária a continuação e melhoria do projeto e se possível reproduzir o projeto em outros córregos e cidades que sofram com as enchentes.

5. Conclusão

Nota-se que a implantação do sistema e-Noé foi realizada com sucesso na cidade de São Carlos, ainda que estejam sendo feitos novos e necessários estudos para uma melhor obtenção de dados, além da definição de um modelo com maior acurácia para aumentar a confiabilidade. A maior barreira identificada é o comprometimento da gestão pública, observando que a parceria da prefeitura com o projeto se desfez ao mudar a gestão municipal. Outra barreira encontrada, até o presente momento, é a impossibilidade de cadastramento no sistema para que os cidadãos recebam as devidas informações acerca de enchentes e alagamentos, via SMS, em tempo real em seus aparelhos celulares, evitando desastres e/ou perdas humanas e, para tal, sugere-se o desenvolvimento de uma plataforma de cadastro da população para receber os alertas.

Sugere-se, também, que sejam realizados estudos para adicionar um sistema de comunicação que permita a troca de dados com outras ferramentas de previsão meteorológica como SISMADEN do INPE, Climatempo entre outros.

Uma maior divulgação do projeto mostra-se necessária, tal como, a replicação quando possível, em cidades que sofrem com enchentes e alagamentos, analisando a possibilidade de escoamento das águas por meio das barragens existentes, assim como, o caso da cidade de São Paulo.

**Referências Bibliográficas**

- Alawadhi, A. S., Aldama-Nalda, H., Chourabi, J. R., Gil-Garcia, S., Leung, S., Mellouli, T., Nam, T. A., Pardo, H. J. & Walker, S. (2012). "Building Understanding of Smart City Initiatives," *Lecture Notes in Computer Science 7443* p. 40 – 53
- Albuquerque, J. P., Ueyama, J., Mendiondo, E., & Caramori, V. (2013). Using wireless sensor networks for urban flood risk adaptation in *Brazil*. p.1–3
- Arjun, D., Bala, A., Dwarakanath, V., Sampada, K. S., Prahlada, R. B. B., & Haribabu, P. (2015). Integrating cloud-WSN to analyze weather data and notify SaaS user alerts during weather disasters. In: *IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*. p. 899 – 904.
- Batty, M., Axhausen, K.W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., Ouzounis, G., & Portugali, Y. (2012). "Smart Cities of the Future," *The European Physical Journal Special Topics* p. 481 – 518
- Freitas, C. M. d., & Ximenes, E. F. (2012). Floods and public health – a review of the recent scientific literature on the causes, consequences and responses to prevention and mitigation. *Ciência e Saúde Coletiva, scielo*, v. 17, p. 1601 – 1616.
- Furquim, A. G. (2017) Uma abordagem tolerante a falhas para a previsão de desastres naturais baseada em IoT e aprendizado de máquina. Tese de doutorado.
- Harrison, C., Eckman, B., Hamilton, R., Hartswick, P., Kalagnanam, J., Paraszczak, J., & Williams, P. (2010). "Foundations for Smarter Cities," *IBM Journal of Research and Development* p. 1–16
- Horita, F. E. A., Fava, M. C., Mendiondo, E. M., Rotava, J., Souza, V. C., Ueyama, J., Albuquerque, J.P. (2014). AGORA-GeoDash: a geo sensor dash board for real-time flood risk monitoring. In: Proceedings of the 11th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM). *University Park, USA*, pp.304–313.
- Knox, J. C., Kundzewicz, Z. W. (1997). Extreme Hydrological events, palaeo-information and climate change. *Hydrological Sciences Journal*, v.42, p. 765 – 779.
- Mainetti, L., Patrono, L., & Vilei, A. (2011). Evolution of wireless sensor networks towards the internet of things: A survey. *Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, p. 1 – 6.
- Mendiondo, E. (2008). Challenging issues of urban biodiversity related to ecohydrology. *Brazilian Journal of Biology, scielo*, v. 68, p. 983 – 1002. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.1007/s11227-008-0215-z>.
- O'Grady, M., & O'Hare, G. (2012). "How Smart Is Your City?" *Science* 335 (3):581–1582
- Pechoto, M. M., Ueyama, J., & Pereira, J. (2012). *E-noe: Rede de sensores sem fio para monitorar rios urbanos*. In Congresso Brasileiro Sobre Desastres Naturais.



Pereira, C., Zaslavsky, A., Christen, P., Georgakopoulos, D., (2014). Aware computing for the internet of things: A survey. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, v. 16, p. 414 – 454.

Ueyama, J., Hughes, D., Man, K. L., Guan, S., Matthys, N., Horreé, W., Michiels, S., Huygens, C., & Joosen, W. (2010). Applying a multi-paradigm approach to implementing wireless sensor network based river monitoring. p. 187 – 191.

Vasconcelos, Y., (2018). *Alerta Contra Inundações* (263ª Ed.). São Paulo: Revista FAPESP. Recuperado de <http://revistapesquisa.fapesp.br/2018/01/16/alerta-contra-inundacoes/>

Yin, R. K. (2015). *Estudo de caso: planejamento e métodos* (5a Ed.). Porto Alegre: Bookman.