

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE  
TECNOLOGIAS

TIAGO FERRAZ DE ARRUDA E AGUIRRE

**GERÊNCIA DE RISCO DE ENCHENTES  
EM CIDADES INTELIGENTES**

CAMPINAS

2017

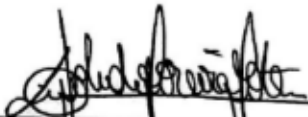
# TIAGO FERRAZ DE ARRUDA E AGUIRRE

## GERÊNCIA DE RISCO DE ENCHENTES EM CIDADES INTELIGENTES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações.

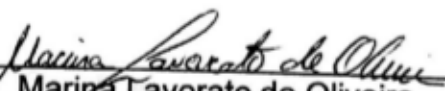
Área de Concentração: Engenharia Elétrica.  
Orientador: Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota

Dissertação defendida e aprovada em 09 de fevereiro de 2017 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



---

Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota  
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



---

Profa. Dra. Marina Lavorato de Oliveira  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



---

Prof. Dr. Geraldo Peres Caixeta  
Universidade São Francisco

Ficha Catalográfica  
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e  
Informação - SBI - PUC-Campinas

t363.34  
A284g

Aguirre, Tiago Ferraz de Arruda e.  
Gerência de risco de enchentes em cidades inteligentes / Tiago Ferraz de Arruda e Aguirre. - Campinas: PUC-Campinas, 2017  
86 p.

Orientador: Lia Toledo Moreira Mota.

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Inclui bibliografia.

1. Catástrofes naturais. 2. Defesa civil. 3. Redes de sensores sem fio. 4. Internet sem fio. 5. Controle de inundações. I. Mota, Lia Toledo Moreira II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

22.ed. CDD – t363.34

A minha esposa FLÁVIA, que acreditou e incentivou o desenvolvimento dos estudos frente a todos os desafios que enfrentamos neste período.

Aos meus PAIS, minha gratidão pelos conselhos e exemplo de conduta.

A minha filha DIANA, fonte constante de energia e alegria.

# AGRADECIMENTOS

A Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota

Orientadora e incentivadora dos trabalhos, pelo exemplo de perseverança e superação.

Ao Prof. Dr. Alexandre Mota, *in memoriam*

Co-orientador, amigo sincero em todos os momentos.

Ao amigo Marco Ruiz

Desenvolvedor de sensor de nível de córrego, pela disponibilização de dados para avaliação do sistema supervisório desenvolvido.

Ao amigo Christian Guimarães

Por compartilhar a experiência de vivenciar Gestão de Crises por Desastres Naturais.

À Pontifícia Universidade Católica de Campinas,

Pela concessão da bolsa no Programa de Mestrado, sem o qual este trabalho não poderia ter sido concretizado.

Aos professores, colegas e companheiros da turma,

**Pelo apoio e toda solidariedade.**

“Não é porque certas coisas são difíceis que não ousamos, é justamente porque não ousamos que tais coisas são difíceis”

**(Sêneca 04-65 a.C.)**

## RESUMO

O Brasil é uma República Federativa que possui 5.641 municípios sendo 5.336 deles (94%) com população inferior a 100.000 habitantes, e 4.074 com população inferior a 20.000 habitantes (72%). Com pouco investimento em planejamento urbano e na antecipação de desastres, o tempo de atendimento do setor público, na esfera municipal, estadual ou federal está aquém do esperado pela população que precisa conviver com o risco iminente de tragédia. A restrição de recursos financeiros nos municípios pequenos corrobora com o baixo investimento em soluções de tecnologia de informação e comunicações para melhorar a qualidade dos serviços prestados à população. Considerando o crescimento das despesas com impactos de desastres e o contexto de restrição de recursos financeiros para investimento em planejamento e antecipação de desastres, a utilização de padrões abertos nos elementos da rede (sensores, aglutinadores e replicadores de dados (proxies) e sistemas de banco de dados), em conjunto com processamento de dados em nuvem (cloud computing), possibilita o projeto e implementação de solução para apoiar o planejamento e gestão de desastres naturais em pequenos municípios com boa assertividade e custo significativamente inferior às soluções atualmente disponíveis. Este trabalho trata da proposição e implementação de um sistema de gerência de risco de enchentes, possibilitando sua integração com redes de sensores para auxiliar os analistas de riscos na identificação e alerta de possibilidade de enchentes, ativando serviço de notificações por meio de dispositivos móveis da comunidade interessada. Busca-se minimizar, principalmente, os prejuízos sociais e financeiros ocasionados por enchentes.

**Palavras-chave:** 1. Cidades Inteligentes. 2. Redes de Sensores. 3. Cloud Computing. 4. Internet das Coisas. 5. Desastres Naturais. 6. Defesa Civil. 7. Gestão de Crises. 8. Sistema de notificação móvel. 9. Risco de enchentes.

## ABSTRACT

Brazil is a Federative Republic with 5,641 municipalities, and 94% of them (5,336) with less than 100,000 inhabitants, and 72% (4,074) with less than 20,000 inhabitants. Due to the low investment in urban planning and disaster forecast, the public sector response time of cities, state and federation is longer than the expected by the population that need to live with tragedy imminent risk. Financial resources restriction of small cities together with low investment in ICT solutions to improve the quality of the services delivered to the population. However, the financial impact after tragedy is significant. Considering the expenses increase with disasters impacts and the disaster planning financial investment resources restriction context, the use of open standards in network components (sensors, hubs, proxies, database systems), with cloud data processing, allows solution design and implementation to leverage the natural disasters management planning in small cities with effectiveness and cost significantly lower than the currently available solutions. This study deals with the proposition and implementation of a flood risk management system, allowing its integration with sensor networks with to assist risk analysts in identifying and warning floods, enabling notification service through mobile devices of the interested community. This work seeks to minimize mainly the social and financial damage caused by floods.

**Key-words:** 1. Smart Cities. 2. Sensor Networks. 3. Cloud Computing. 4. Internet of Things. 5. Natural Disaster. 6. Civil Defese. 7. Crisis Management. 8. Mobile Notification System. 9. Flood Risk.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estágios do risco de inundação.....	18
Figura 2: Pilares da Cidade Inteligente.....	25
Figura 3: Municípios contemplados no programa Cidades Digitais do Ministério das Comunicações. .....	31
Figura 4: Integração de elementos em cidade inteligente.....	32
Figura 5: Modelo de avaliação Open Data [72].....	38
Figura 6: Conectividade na Guifi.net.....	41
Figura 7: Integração para gerência de risco de enchentes.....	43
Figura 8: Arquitetura da solução proposta.....	44
Figura 9: Arquitetura do Sistema Supervisor.....	45
Figura 10: MIB - Modelo de Dados.....	46
Figura 11: Estrutura de dados JSON versus XML.....	47
Figura 12: Webservice - inclusão de dados de sensor.....	49
Figura 13: Serviço: Inclusão de dados.....	50
Figura 14: DAO - Inserir dado para sensor.....	51
Figura 15: Exemplo de representação RDF de locais e sensores.....	53
Figura 16: Representação gráfica de dados RDF.....	54
Figura 17: Código RDF das regiões e sensores.....	54
Figura 18: Acesso via URL <a href="http://senmonws.mybluemix.net/rest/od/regioes">http://senmonws.mybluemix.net/rest/od/regioes</a> .....	55
Figura 19: Sensor Ultrasônico.....	58
Figura 20: Arquitetura da emulação.....	59
Figura 21: Sensor instalado em córrego de Poá-SP com (A) antena de comunicação e (B) sensor ultrassônico.....	62
Figura 22: Configuração de teste para inclusão de dados de 10 sensores.....	65
Figura 23: Configuração do subprocesso de inclusão de dados.....	65
Figura 24: Parametrização dos valores aleatórios de um sensor.....	66
Figura 25: Resultados consolidados do teste (inclusão de dado de sensor).....	66
Figura 26: Tempo Médio (todas amostras) e Máximo de 90% das amostras.....	66
Figura 27: Interface de monitoramento Web.....	67
Figura 28: Interface simplificada Web para dispositivos móveis.....	67
Figura 29: Configuração subprocesso consulta de dados para dispositivo móvel.....	68
Figura 30: Tempo de resposta considerando 100 consultas mobile, em milisegundos.....	68
Figura 31: Tempo médio de resposta por elemento da simulação, em milisegundos.....	69
Figura 32: Tempo médio de resposta por elemento da simulação (500 dispositivos consultando)..	70
Figura 33: Percentual de uso da CPU do servidor.....	70
Figura 34: Comparação de cenários: 100 e 500 dispositivos móveis.....	71
Figura 35: Gráfico com evolução dos dados medidos.....	71
Figura 36: Dashboard Web integrado com GoogleMaps API.....	72
Figura 37: Acompanhamento em aplicativo móvel desenvolvido.....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplo de análise de dados coletados de sensor.....	48
Tabela 2: Preço no varejo de equipamento para sensoriamento.....	55
Tabela 3: Custo mensal de servidor em Datacenter.....	56
Tabela 4: Preços de estação meteorológica automática.....	56
Tabela 5: Estrutura de dados da tabela sensor_data.....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Cemaden	= Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CODAR	= Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos
CPDC	= Cartão de Pagamentos da Defesa Civil
CSV	= <i>Comma Separated Values</i>
DAO	= <i>Data Access Object</i>
FGV	= Fundação Getúlio Vargas
GPS	= <i>Global Positioning System</i>
IaaS	= <i>Infrastructure as a Service</i>
IoT	= <i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
IoE	= <i>Internet of Everything</i> (Internet de “todas” as Coisas)
JSON	= <i>JavaScript Object Notation</i>
M2M	= <i>Machine-to-Machine</i> (Máquina a Máquina)
MC	= Ministério das Comunicações
MCTI	= Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
MI	= Ministério da Integração Nacional
MIB	= <i>Management Information Base</i>
NIST	= <i>National Institute of Standards and Technology</i>
PaaS	= <i>Platform as a Service</i>
PNPDEC	= Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
SaaS	= <i>Software as a Service</i>
SINPDEC	= Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
SEDEC	= Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil
SMS	= <i>Short Message Service</i>

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivo.....	15
1.2 Organização do trabalho.....	16
2. GESTÃO DE RISCOS DE ENCHENTES E A DEFESA CIVIL.....	17
2.1 Gestão de Risco de Enchentes no Mundo.....	17
2.2 Política Nacional de Proteção e Defesa Civil.....	21
3. CIDADES INTELIGENTES.....	24
3.1 Cidades Inteligentes e seus pilares.....	24
3.2 Plano Nacional de Banda Larga e Política Nacional M2M (ou <i>Machine-to-Machine</i> ).....	29
4. METODOLOGIA.....	32
4.1 Computação em Nuvem ou Cloud Computing.....	33
4.2 Internet das Coisas.....	34
4.3 Computação Móvel ou <i>Mobile Computing</i> .....	35
4.4 Dados Abertos ou <i>Open Data</i> .....	36
4.5 Redes de Sensores.....	38
4.6 Redes Comunitárias em Cidades Inteligentes.....	40
4.7 Solução Proposta.....	42
4.7.1 Visão Geral.....	42
4.7.2 Sistema Supervisório e de Notificações.....	43
4.7.3 Objetos Gerenciados e Função Agente.....	47
4.7.4 Função de Gerenciamento.....	48
4.7.5 Aplicação de Monitoramento.....	51
4.7.6 Sistema de Notificações.....	52
4.7.5 Aplicação de monitoramento móvel.....	52
4.7.8 Interface Dados Abertos ou Open Data.....	52
4.7.9 Sensores de baixo custo.....	55
5. VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE GERÊNCIA PROPOSTO.....	58
5.1 Arquitetura utilizada nos testes de validação.....	59
5.2 Procedimento de validação.....	60
5.3 Resultados dos testes de coleta de dados.....	62
5.4 Teste de capacidade da infraestrutura.....	64
5.5 Discussão sobre os testes de validação.....	72
CONCLUSÃO.....	74
Trabalhos futuros.....	75
REFERÊNCIAS.....	76
APÊNDICE.....	82

# 1. INTRODUÇÃO

A discussão sobre mudanças climáticas e novas formas de promover proteção dos cidadãos, por meio da minimização dos impactos dos desastres ambientais, já extrapolou a questão científica, e faz parte do dia-a-dia dos noticiários televisivos e da mídia impressa. Nesse contexto, a incidência de desastres naturais no Brasil e no mundo está aumentando significativamente nos últimos anos. Além de eventos associados a condições climáticas cíclicas (como *El Niño* ou *La Niña*), o aquecimento global do último século também é considerado relevante influenciador de eventos climáticos extremos [1].

Os desastres associados a grandes volumes de chuva (enxurradas, inundações e alagamentos), são os que usualmente causam maior incidência de mortes no Brasil. Em 2012, estes incidentes foram responsáveis por 48% das mortes associadas à desastres naturais [2]. Além das mortes, os impactos associados com a necessidade de reorganização dos cidadãos, empresas e poder público para voltar à mesma situação organizacional e produtiva, além dos impactos diretamente relacionados com a perda (ou destruição) de bens e ativos, degradam a qualidade de vida da população por longos períodos de tempo. Como referência, a evolução dos gastos para recuperação de desastres ambientais por meio do Governo Federal subiu de R\$ 130 milhões em 2004 para R\$ 3 bilhões em 2010 [3].

A discussão de uma Política Nacional de Defesa Civil não é recente. Em 2012, surge um marco importante: a publicação da Lei 12.608 [4]. Esta Lei, além de instituir a Política Nacional de Defesa Civil, “autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres”. A partir desta data, algumas ações importantes para coleta e monitoramento de dados passam a existir, tecnologicamente capitaneados pelo Cemaden (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais), vinculado ao MCTI (Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação). Os principais produtos do Cemaden são relacionados à coleta de dados e monitoramento de chuvas, totalizando 1.400

pontos de coleta no país em 2015 [3]. Por meio deste Centro, foi instalada uma complexa infraestrutura tecnológica para apoiar e auxiliar os gestores públicos no monitoramento e atendimento de desastres.

Porém, para o cidadão comum, sujeito ao risco de alagamento, a informação disponibilizada é de difícil interpretação, e o faz dependente da comunicação de agentes públicos sobre o risco de impacto na região onde mora ou trabalha.

Para facilitar a análise situacional em regiões com risco de alagamento, é importante acompanhar, além dos índices pluviométricos, a evolução do volume de água dos córregos (ou rios) urbanos. E quanto maior a quantidade de coletores de dados, melhor a possibilidade de realização de uma análise adequada da situação. É fundamental, então, que nos municípios com córregos urbanos ou com risco de alagamento e inundação, existam vários pontos de coleta de dados para monitoramento. Além disso, é importante que sejam disponibilizados dados de maneira que o cidadão comum possa avaliar e decidir como e quando se proteger de iminente alagamento ou enchente.

Por outro lado, a evolução da engenharia de sensores associada à tecnologia de informação e serviços de telecomunicações surge para auxiliar na criação de projetos de baixo custo de implantação e manutenção. A revolução da Internet das Coisas (*IoT-Internet of Things*) [5] já começou, e sensores que custam menos de Us\$ 10 são realidade. Mais ainda, a conexão de cidadãos à Internet por meio de dispositivos móveis é uma tendência. Como referência, apenas em 2014, foram vendidos mais de 55 milhões de *smartphones* no Brasil [6]. A preferência de acesso à Internet e uso de aplicativos móveis por meio de *smartphones* vem crescendo no Brasil [7], mesmo nas camadas sociais com menor renda. Isto faz refletir a importância de integração da tecnologia de computação móvel a qualquer processo de notificação.

O movimento de Cidades Inteligentes (ou *Smart Cities*) [8] vem crescendo no Brasil, incentivado pelo setor público (como no caso da portaria 376/2011 do Ministério das Comunicações, que estimula a criação de projetos de redes de comunicação digital nos municípios) [9], e também pelo setor privado. As Cidades Inteligentes oferecem serviços digitais que facilitam o dia-a-dia do

cidadão, melhorando sua qualidade de vida, aliando a melhoria na qualidade dos serviços públicos prestados e redução dos custos operacionais do município.

Neste cenário, o estudo da integração de sensores, preferencialmente de baixo custo, com sistema supervisório instalado na Internet para monitorar a altura de rios e córregos urbanos e notificar a população, ganha relevância.

## **1.1 Objetivo**

O objetivo deste trabalho é propor, avaliar e implementar um sistema de gerência e alerta de risco de enchentes. De forma mais específica, o trabalho tem por objetivo avaliar a viabilidade técnica de uso de infraestrutura de nuvem de baixo custo para suportar a integração entre rede de sensores (preferencialmente de baixo custo), sistema supervisório para monitoramento dos sensores e sistema de notificação para dispositivos móveis, que possa auxiliar no processo decisório de gestores públicos envolvidos na mitigação de riscos de enchentes, e também a população interessada em acompanhar, em tempo real, o risco de enchente de uma localidade monitorada.

Embora já existam alguns modelos de sistema de monitoramento e alerta de risco de enchente apoiados pelo Governo Federal através do MCTI [3] ou em outros estudos [10][11][12], a disponibilização dos dados coletados, em tempo real, para os dispositivos móveis, ainda é pouco explorada.

As boas práticas de Gestão Pública estimulam, cada vez mais, a disponibilização de informações de interesse público para os cidadãos. Este trabalho vem contribuir para este processo, disponibilizando dados que podem minimizar os prejuízos econômicos, financeiros e sociais de cidadãos que residem (ou transitam) em área de risco e que possuem acesso à informação sobre a possibilidade de enchente, e que passam a ter o poder de decidir, espontaneamente, como e quando se defender de iminente incidente.

## 1.2 Organização do trabalho

Este trabalho foi estruturado com o propósito de discutir soluções de baixo custo em cidades inteligentes, que sejam aderentes à realidade financeira dos municípios brasileiros.

Assim, no capítulo 2 é apresentado como é trabalhada a gestão de risco de enchentes no mundo, o papel da Defesa Civil e a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil.

No capítulo 3, é conceituada a Cidade Inteligente e seus pilares.

Na sequência, o capítulo 4 aborda a metodologia e as tecnologias que integram a estruturação da solução proposta: computação em nuvem, Internet das Coisas, computação móvel, dados abertos, redes comunitárias e redes de sensores.

No capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos por meio da utilização de um sensor de nível de córrego integrado com o sistema supervisor e de notificação desenvolvido.

Finalmente, o capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho, bem como sugestões para trabalhos futuros.



## **2. GESTÃO DE RISCOS DE ENCHENTES E A DEFESA CIVIL**

Neste capítulo, apresentam-se conceitos de gestão de riscos de enchentes no mundo, um descritivo do papel da Defesa Civil e os objetivos da Política Nacional de Defesa Civil (PNPDC).

### **2.1 Gestão de Risco de Enchentes no Mundo**

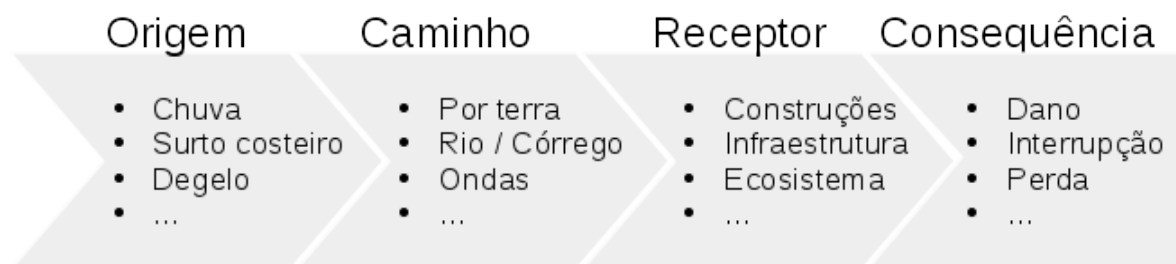
Em estudos sobre gerenciamento integrado de risco de inundação urbana e construções urbanas sustentáveis [13][14], divide-se a gestão de risco de inundação em áreas urbanas em dois conjuntos de medidas: as Medidas Estruturantes e as Medidas Não-Estruturantes.

As Medidas Estruturantes variam de grandes intervenções de engenharia, como a canalização de córregos e construção de reservatórios (ou piscinões), até a revitalização e criação de áreas verdes, que atuam naturalmente na absorção e armazenamento do excesso de água nas cidades. As intervenções de engenharia podem representar, em alguns casos, a transferência de risco de um local para outro. Dependendo da situação, esta transferência de risco pode não ser aceitável. As medidas estruturantes devem ser desenvolvidas com visão de longo prazo, balanceando as necessidades atuais com a sustentabilidade futura.

As Medidas Não-Estruturantes exigem investimentos menores quando comparados com as medidas estruturantes, porém necessitam consciência e envolvimento da comunidade no processo de previsão ou antecipação de desastres. As categorias destas medidas são divididas em prontidão aos desastres, antecipação a inundações ou enchentes, planejamento e gestão de

emergências, aceleração da recuperação e uso da recuperação para aumentar a resiliência. Neste contexto, a criação de um sistema de alertas pode ser considerado como primeiro passo para proteção das pessoas na ausência de medidas estruturantes mais expressivas. A implementação do sistema de alertas, porém, deve discutir o risco de pânico na comunidade que, sem preparo e planejamento de evacuação adequados, pode ocasionar impactos sociais ainda maiores. Desta forma, o engajamento e preparação da comunidade em risco é fundamental para o sucesso das medidas não estruturantes, com a comunicação como elemento chave para a execução dos procedimentos planejados em caso de enchente.

O entendimento do risco de inundação pode ser dividido em 4 estágios [13], conforme Figura 1:



**Figura 1:** Estágios do risco de inundação.

**Fonte:** Adaptado de [13].

Este modelo estrutura o processo de inundação na identificação da origem da água, o caminho percorrido pela água, e o receptor da inundação, que é o local onde estão as pessoas, as construções, as áreas verdes, ou qualquer outra estrutura exposta às consequências da inundação.

É importante entender a diferença entre a probabilidade de um evento climático (por exemplo, chuva) e a probabilidade de inundação. O evento climático é a origem do processo, e existem modelos complexos para determinar sua probabilidade. Já a inundação envolve outras variáveis, além do evento climático, para avaliar sua probabilidade (o caminho e o receptor). Alterações no caminho ou no receptor influenciam a probabilidade da inundação.

No caso de inundações fluviais (em rios ou córregos), as medidas que podem ser utilizadas para descrever a gravidade do incidente envolvem o volume

de água que passa por uma secção do canal por unidade de tempo (metros cúbicos por segundo), a altura (ou nível) da superfície da água em relação a um nível de referência (por exemplo, leito do córrego). Conforme o volume de água em uma secção do canal aumenta, a altura da superfície da água nesta secção também aumenta. Porém a relação entre as medidas não é linear, mas sim relacionada à característica específica do rio e da secção a medir. A relação entre o volume e a altura é empírica, e usualmente representada graficamente por uma curva de classificação obtida por meio da observação dos dados de ambos os parâmetros. Pode haver dispersão significativa nos dados, e também deve-se notar que as curvas de classificação podem mudar ao longo do tempo, devido a mudanças naturais e induzidas pelo homem na geomorfologia do curso de água [13].

Ao utilizar dados históricos para previsões ou probabilidade de ocorrência de inundações, é necessário avaliar a qualidade dos dados. Os dados hidrológicos precisam ser acurados, representativos (representando o intervalo de possíveis valores sobre o tempo), homogêneos (quantidade de amostras por período), e em quantidade suficiente. Porém, é raro alcançar estas especificações: a melhoria no processo de coleta de dados ou mudança na recorrência das coletas pode alterar significativamente a qualidade da probabilidade. Da mesma forma, o intervalo de recorrência pode ser sensibilizado pela inclusão de novos dados [15].

Outro risco no uso de dados históricos é a necessidade de assumir a que as condições atuais são as mesmas dos dados já coletados (*assumption of stationarity*). Isto é claramente inválido se, por exemplo, as bacias de drenagem forem alteradas por atividades humanas ou outros eventos, ou se os padrões de chuva são afetados por variações climáticas locais ou globais [16].

Resumindo, estas limitações sugerem que probabilidade de enchentes para projeções de curto prazo similares a ocorrências de mesma magnitude observadas no passado, são mais robustas em bacias hidrográficas com grande quantidade de dados históricos. Extrapolação além e fora dos dados históricos deve ser utilizado com muita precaução, particularmente quando mudanças climáticas podem fazer diferença significativa nos padrões e frequência de eventos futuros [13].

O escritório da ONU (Organização das Nações Unidas) que trata de redução de risco de desastres (UNISDR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction) constatou que a conscientização pública é um elemento primário para redução de riscos, e definiu um conjunto de princípios básicos que deve direcionar campanhas de conscientização: elas devem ser preparadas e implementadas com entendimento claro das necessidades e perspectivas locais; elas devem atingir todas as seções da sociedade incluindo decisores, educadores, funcionários públicos e pessoas morando nas áreas de risco [17].

A implementação cada vez mais importante de medidas não estruturantes como os sistemas de alerta, exigem cada vez mais envolvimento da comunidade, incluindo comunicação clara do risco de inundação e o diálogo sobre as opções para minimizar os riscos como elementos chave de qualquer plano de gerenciamento integrado de riscos de inundação [18].

Na Suíça, uma abordagem que envolve os interessados locais (*stakeholders*) foi desenvolvida pelos municípios, com oficinas de capacitação com especialistas e troca de experiências com outras comunidades. Esta abordagem ajuda a garantir que as características locais serão utilizadas na construção do plano de gestão de riscos, mas também potencializa o entendimento e aceitação das medidas de segurança que serão utilizadas [18].

Atualmente, é alta a complexidade das soluções mais eficientes para avaliar a probabilidade de inundações utilizadas nos principais países da Europa e nos Estados Unidos. Estas soluções utilizam estudos geológicos, sistemas de análise de imagens de radar, modelos matemáticos sobre dados históricos, entre outras ferramentas [13][18]. Considerando a disponibilidade de recursos nos municípios brasileiros, estas soluções ainda estão distantes. Porém, implementar um modelo de alerta de risco, com informações sobre a situação atual da altura de um córrego ou rio urbano, auxilia a população e gestores a decidir mais rapidamente sobre o risco e começa a preparar base de dados para aplicação, no futuro, de modelos matemáticos para avaliar a probabilidade e antecipar o risco de inundação de um determinado local.

## 2.2 Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

A Defesa Civil é um grupo formado por pessoas de vários órgãos e instituições que atuam em situações de emergência, que começou a ser formalmente estruturado após a Segunda Guerra. Em estudo efetuado nos Estados Unidos na década de 70 [19], foram identificados grupos civis que organizavam planos de ação para risco de desastres naturais e também para o risco de guerra nuclear. A legitimidade destes grupos civis cresceu em função da diminuição dos recursos das forças militares, associada com a eficiência dos grupos que conheciam as características culturais e geográficas das localidades da cidade para definir planos de ação.

Na Lei 12.608/2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), a Defesa Civil é definida como “Conjunto de ações preventivas, de socorro, assistenciais e recuperativas destinadas a evitar desastres e minimizar seus impactos para a população e restabelecer a normalidade social” [4].

Nesta mesma lei, a Defesa Civil brasileira fica organizada em 3 níveis: Municipal, Estadual e Federal. O PNPDEC trouxe algumas novas abordagens em relação à lei anterior [20], principalmente na definição de Proteção à Vida, conforme explicitado a seguir.

Para atender às questões de Proteção à Vida, surge a necessidade de profissionalização da forma de atuação da Defesa Civil, deixando de ser reativa, passando a atuar de forma preventiva (na prevenção, mitigação e preparação) e mais incisiva nos incidentes e desastres (resposta e recuperação). Nesse sentido, o planejamento e integração dos diversos envolvidos é fundamental para viabilizar o novo modelo.

Embora a organização da Defesa Civil possua 3 níveis, os municípios têm papel fundamental no processo, uma vez que são neles que os desastres acontecem. O mapeamento das áreas de risco, o acompanhamento da situação em tempo real (monitoramento) e o planejamento da resposta e recuperação dos desastres deve, então, estar no domínio da Defesa Civil municipal.

O processo de preparação da Defesa Civil não é simples. Cada tipo de desastre possui características de acionamento específicas. Por exemplo, a enchente de uma rua depende de chuva localizada e da capacidade disponível de escoamento da água, enquanto a inundação de um córrego pode ocorrer por chuva localizada ou em pontos distantes, ou, ainda, por incapacidade disponível de escoamento da água. Então, para cada local e tipo de desastre, é necessário um planejamento específico.

Para o processo de planejamento de desastres de um determinado local, é necessário, minimamente [21][22][23]:

- (a) avaliação das características físicas (ou geológicas) do local;
- (b) avaliação do histórico das ocorrências de desastres, identificando o tipo de desastre, os impactos sociais, ambientais, econômicos e financeiros, além dos acionadores do desastre;
- (c) avaliação dos possíveis agravantes de impacto (por exemplo, canais de escoamento de água bloqueados).

Com a avaliação de cada local preparado, é necessário:

- (a) identificar o nível do impacto social, ambiental, econômico e financeiro;
- (b) definir plano de monitoramento dos acionadores do desastre;
- (c) definir plano de monitoramento dos agravantes de impacto;
- (d) definir plano de comunicação / notificação de riscos e ocorrências para gestores públicos e comunidade
- (e) definir as responsabilidades e forma de atuação de cada integrante da Defesa Civil de acordo com o risco / ocorrência (por exemplo, atuação dos bombeiros, agentes de trânsito, hospitais, etc).

Entende-se como plano de monitoramento, o ato de definir quem, como e com qual frequência as grandezas de interesse serão monitoradas, como esses dados serão registrados e quem será comunicado quando os dados alcançarem as métricas de alerta. O plano deve possuir, também, indicadores de

desempenho, para identificar se os dados coletados estão em conformidade com a expectativa definida.

Entende-se como plano de comunicação e notificação o ato de definir quem, como e quando algum agente ou comunidade interessados serão comunicados sobre a situação de risco ou ocorrência. O plano deve possuir, também, indicadores de desempenho, para identificar se o processo de comunicação e notificação está em conformidade com a expectativa definida.

Já o monitoramento inclui dados coletados em tempo real (ou com o menor ciclo de tempo possível) dos acionadores e agravantes de impacto, e dados de tendências (ou previsões). A questão dos dados em tempo real é relevante, pois a forma de atuação da Defesa Civil é regulada por decretos e, usualmente, referencia a observação de medidores. Os decretos de atuação da Operação Verão da cidade de Campinas, por exemplo, determinam que, a partir de 80 mm de chuvas, identificados nos pluviômetros, a Defesa Civil entra no estado de atenção [24].

A oportunidade tecnológica atual, considerando a tendência de redução de custos de estruturação de redes de telecomunicações, o aumento da capacidade de transmissão de dados, e a redução dos custos de elementos sensores, possibilita o projeto e implantação de redes de sensores de baixo custo para monitoramento em tempo real, e integração com sistemas de notificação e comunicação de alto desempenho, visando monitorar e gerenciar o risco de desastres ambientais.

Trabalha-se, então, com a possibilidade de planejamento de desastres com alta capacidade de redução de impactos sociais, ambientais, econômicos e financeiros para o Estado, promovendo melhoria da segurança física e da qualidade de vida da população.

### 3. CIDADES INTELIGENTES

#### 3.1 Cidades Inteligentes e seus pilares

A necessidade de inteligência nas cidades cresce junto com o aumento do adensamento urbano, ou seja, com o aumento da quantidade de pessoas vivendo nas áreas urbanas. Embora a taxa de crescimento populacional atual seja de 1,24% ao ano, segundo a ONU, a projeção para 2030 é que a população mundial chegue a 8.5 bilhões, sendo que nos países mais desenvolvidos, a densidade populacional será de 27 pessoas por km<sup>2</sup>, enquanto nos parcialmente desenvolvidos (inclusive o Brasil), a densidade será de 101 pessoas por km<sup>2</sup> [25]. O adensamento urbano aumenta a dificuldade da gestão de resíduos, da mobilidade urbana, da gestão da saúde e educação, da gestão dos recursos naturais, entre outros impactos [26].

Cidades Inteligentes ou *Smart Cities* são cidades que, por meio de coleta e análise de dados, conseguem proporcionar serviços públicos com a qualidade desejada pelos cidadãos, consumindo o mínimo de recursos financeiros e econômicos. A transparência e a publicidade dos dados e ações do governo permite constante avaliação dos cidadãos, construindo uma relação de confiança e visando o bem estar de todos [27][28].

Segundo [26], os fatores de Gestão e Organização direcionam os desafios e estratégias que serão utilizados na implementação da inteligência da cidade. O fator Tecnologia direciona os componentes que serão utilizados para coletar, processar e disponibilizar dados. A Governança tem relação com as leis, regulamentos e práticas que direcionam a atuação do governo com todos os envolvidos na cidade (ou *stakeholders*). O fator Político envolve os representantes políticos (vereadores, prefeitos, secretários, entre outros) e as suas ações para,



principalmente, retirar barreiras que dificultem a implementação de iniciativas que deixem a cidade *mais inteligente*. A qualidade de vida das Pessoas e Comunidades são diretamente afetadas pelas políticas implementadas (referentes a acesso, educação, saúde, etc) e, por isso, podem (e devem) ser consideradas inclusive para participar ativamente nos fatores de Gestão e Organização. É uma Economia competitiva, inovadora e empreendedora que viabiliza não só projetos para a cidade, mas também trabalho qualificado e renda para as pessoas viverem melhor. A Infraestrutura Disponível de telecomunicações e informações (TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação) é fundamental para a conexão de dispositivos e pessoas. A infraestrutura precisa direcionar questões de comunicação de dados, segurança e privacidade, além dos custos de instalação e manutenção. A gestão dos Recursos Naturais da cidade (áreas verdes, recursos hídricos, etc.) também é fator chave para proporcionar qualidade de vida aos cidadãos.

S. Alawadhi et al. avaliam em [29] os oito fatores relacionados à implementação de projetos de cidades inteligentes na Filadélfia e em Seattle (EUA), em Quebec (Canadá) e na Cidade do México (México), conforme Figura 2.



**Figura 2:** Pilares da Cidade Inteligente

Singapura já era estudo de caso sobre cidades inteligentes em 1999 [30]. Esta referência apresenta como a visão de uma *Ilha Inteligente* direcionou o projeto educacional em 1997 para que, além da proficiência em leitura, escrita e aritmética, as escolas tivessem estratégia clara para criar um ambiente de aprendizado, utilizando tecnologia de informação em todas as escolas. Esta decisão faz de Singapura, hoje, uma das cidades mais inteligentes do mundo.

A referência [31] aborda como Barcelona, segunda maior cidade da Espanha, tem trabalhado para ser uma cidade de economia baseada no conhecimento, implementando soluções de tecnologia de informação e comunicação para se posicionar como competidora no mercado global. A integração do Poder Público com Universidades e Iniciativa Privada, com visão de futuro compartilhada, potencializa o desenvolvimento contínuo da cidade.

Já na referência [32], discute-se se o projeto de criação de 100 Cidades Inteligentes na Índia é uma utopia tecnocrata ou um projeto de longo prazo, e como os projetos das cidades podem trazer benefícios para população.

Avaliando o cenário brasileiro, na referência [33], a concessionária de energia elétrica do estado do Rio de Janeiro, Ampla Energia e Serviços S/A, apresenta projeto de *Smart Grid* envolvendo, entre outros aspectos, medição eletrônica inteligente de consumo de energia elétrica, iluminação pública inteligente e geração distribuída de energia. Alguns outros projetos de *Smart Grid* estão em execução em Sete Lagoas – MG, Aparecida – SP e Aquiraz – CE [34] [35].

A referência [36] apresenta proposta para que o entorno do Parque Científico e Tecnológico de Florianópolis, o *Sapiens Parque* se transforme em *região inteligente*, por meio da realização de objetivos relacionados ao desenvolvimento econômico dentro das principais características da cidade (Tecnologia de Informação e Turismo), desenvolvimento urbano-ambiental sustentável (buscando qualidade de vida e sustentabilidade do local) e desenvolvimento institucional (com planejamento, liderança, participação e governança).

A referência [37] apresenta proposta para monitoramento de trânsito utilizando rede IEEE 802.11 já disponível na Avenida Brasil, na cidade do Rio de

Janeiro. Os dados coletados podem ser utilizados para informar a situação do trânsito em cada trecho da avenida.

Abordando a temática risco de enchentes, a referência [38] aborda a utilização de modelos matemáticos para antecipação de enchentes no Vale do Taquari – RS, enquanto a referência [39] apresenta a utilização de sensores de nível em rio no Amazonas, que aciona sistema de alerta visual (cores de lâmpadas) e sonoro (sirene). O Projeto e-Noé [10], experimentado na cidade de São Carlos – SP, utiliza sensores de pressão dentro do rio urbano para capturar os dados utilizados para avaliar a situação e potencial risco de enchente.

Para viabilizar o processo de coleta de dados em uma cidade inteligente, o primeiro passo é a estruturação do ambiente de rede de telecomunicações, que será base para o funcionamento das aplicações e conectividade dos coletores de dados. Esta estrutura pode combinar diferentes tecnologias de rede, de fibra ótica a redes sem fio, com diferentes capacidades de transmissão de dados, conforme característica e objetivos definidos para cada região [26].

Com o serviço de redes de comunicação ativo, o segundo passo é instalar ou habilitar coletores de dados (ou sensores) na rede. A instalação está associada a sensores fixos, enquanto a habilitação, a sensores móveis. Como exemplo, um pluviômetro ou termômetro pode ser fixado em um determinado ponto de coleta, e conectado à rede de comunicação. Já um sensor GPS (*Global Positioning System* – Sistema de Posicionamento Global) instalado em um veículo que presta serviço ao município (ambulância, ônibus, taxi ou outro veículo de interesse público), será habilitado para disponibilizar dados em qualquer ponto da rede estruturada e, eventualmente, disponibilizará dados quando estiver fora da rede (por exemplo, em deslocamento intermunicipal). Com os coletores ativos, é possível que sistemas de informação processem e analisem os dados, oferecendo informações para os gestores e cidadãos.

A utilização dos sensores fixos pode contemplar, ambientes fechados ou abertos. Em ambientes fechados, é possível, por exemplo, monitorar a qualidade do ar (quantidade de gases), simulando um “nariz artificial”, como demonstrado em [40]. A aplicação em ambiente aberto pode ser, por exemplo, o

monitoramento de incêndios em matas ou montanhas, como desenvolvido por [41]. Outro exemplo é o monitoramento de risco de enchentes utilizando redes de sensores sem fio, como estudado na Venezuela [42].

Alguns exemplos de estudos que utilizam sensores móveis envolvem previsão de tempo de chegada de ônibus utilizando redes neurais [43] e o monitoramento de veículos e resíduos [44].

É importante reforçar que os elementos geradores de dados de uma cidade inteligente não estão limitados a dispositivos eletrônicos. Como exemplo, os dados de consumo de determinado medicamento em um posto de saúde podem (e devem) ser transferidos pela rede disponível para processamento e análise por meio de sistemas de informação, apoiando a tomada de decisões dos gestores. Pode ser habilitado, também, um aplicativo instalado em dispositivo móvel que permita que o cidadão envie dados sobre um problema, por exemplo, um buraco ou lixo acumulado em determinada rua. Desta forma, qualquer cidadão pode ser um coletor de dados habilitado. A importância da interação do governo com o cidadão nas cidades inteligentes para planejamento colaborativo é discutida em [45] e [46].

Existem vários modelos para avaliação da inteligência das cidades. A Comunidade Européia está reforçando a importância da implementação de estratégias de curto, médio e longo prazo para que as cidades promovam ambientes economicamente estimulantes, com qualidade de vida para os cidadãos e que respeitem o meio-ambiente. As tecnologias de informação e comunicação são essenciais para viabilização destas estratégias. O modelo de avaliação europeu define indicadores em diversas áreas de conhecimento, tais como *Smart Economy* (competitividade), *Smart Governance* (transparência e participação), *Smart Environment* (recursos naturais e meio-ambiente), *Smart People* (capital humano e social), *Smart Mobility* (mobilidade urbana) e *Smart Living* (qualidade de vida) [47].

Existem estudos, em Taiwan, por exemplo, que organizam a avaliação das cidades em 4 grupos: *Smart Environment* (estrutura de inovação da cidade, capacidade de comunicação entre governo, cidadãos e empresas), *Smart Business* (estrutura de inovação das empresas, associado ao desenvolvimento

sustentável da cidade), *Smart Citizens* (experiência dos cidadãos nos serviços oferecidos como aplicações de TIC) e *Smart Government* (eficiência do governo para prover serviços aos cidadãos e empresas) [48].

Já em [49], três dimensões são utilizadas para avaliação: Fatores Tecnológicos, Fatores Humanos e Fatores Institucionais (governo e políticas públicas).

O monitoramento em tempo real de variáveis ambientais, tais como temperatura, volume de chuvas, qualidade do ar, nível dos córregos urbanos, é importante para auxiliar no planejamento e gestão de desastres ambientais. O Plano Nacional de Defesa Civil [50], definido pela Lei 12.608/2012, define claramente a importância e a necessidade do planejamento de desastres em todas as esferas de governo: Federal, Estadual e Municipal. Cidades com estrutura inteligente de coleta de dados possibilitam maior assertividade no desenvolvimento do trabalho da Defesa Civil.

A organização da Cidade Inteligente envolve muitas questões tecnológicas. Porém, a inteligência de uma cidade depende de como os dados e informações são utilizados para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos, melhorando e criando políticas públicas.

No contexto deste trabalho, será avaliada a possibilidade de integrar sensores e sistema supervisor e de alertas em infraestrutura de baixo custo, com objetivo de criar serviço de notificação para dispositivos móveis, auxiliando a tomada de decisão de gestores públicos e cidadãos, quando da iminente situação de risco de inundação de córregos urbanos.

### **3.2 Plano Nacional de Banda Larga e Política Nacional M2M (ou *Machine-to-Machine*)**

Considerando a necessidade de acesso à Internet nas cidades para viabilizar a implementação de soluções de tecnologia de informação e

comunicação que integrem sensores e sistemas de gerenciamento de dados e de notificações, além da grande extensão territorial do Brasil, avaliou-se as principais regulações e políticas públicas ativas com objetivo de difundir e direcionar a disponibilidade de Internet nos municípios.

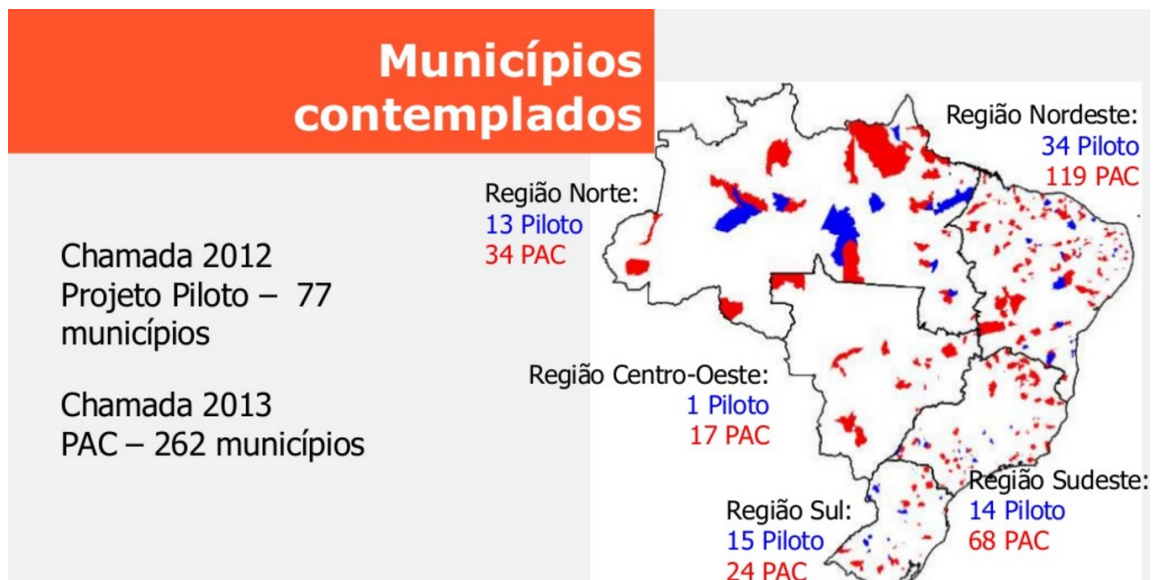
O Decreto 7.175 de 12 de maio de 2010, instituiu o Programa Nacional de Banda Larga – PNBL, criado para fomentar e difundir o uso de tecnologias de informação e comunicação para, entre outros objetivos, massificar o acesso a conexão à Internet em banda larga (superior a 1 Mbps) e ampliar os serviços de Governo Eletrônico e facilitar aos cidadãos o uso dos serviços do Estado. Neste contexto, o Ministério das Comunicações e a Anatel firmaram termo de compromisso com empresas para massificar o acesso à Internet, que até o 3º trimestre de 2016, contava com 5.399 municípios atendidos com oferta de planos para acesso com 1 Mbps por, no máximo, R\$ 35 mensais [51].

Buscando fomentar o desenvolvimento de tecnologias para comunicação Máquina a Máquina, o Ministério das Comunicações, em 2014, criou a Câmara de Gestão e Acompanhamento do Desenvolvimento de Sistemas de Comunicação Máquina a Máquina por meio da portaria 1.420 de 8 de outubro, que tem dentre seus objetivos “subsidiar a formulação de políticas públicas que estimulem o desenvolvimento de sistemas de comunicação máquina a máquina” [52], uma vez que uma série de desonerações foram previstas na produção de componentes por meio da Lei 12.715 de 17 de setembro de 2012. Participam da Câmara:

- (a) Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação;
- (b) Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior;
- (c) Agência Nacional de Telecomunicações;
- (d) Indústrias de equipamentos de Tecnologia da Informação e Comunicação;
- (e) Prestadoras de serviços de Telecomunicações;
- (f) Instituições de ensino e pesquisa relacionadas à comunicação máquina a máquina;

(g) Desenvolvedores de aplicações para sistemas de comunicação máquina a máquina.

O Secretário de Inclusão Digital do Ministério das Comunicações, Américo Bernardes, em 2015 apresentou os resultados do projeto de Cidades Digitais, que tem entre seus objetivos a melhoria da gestão pública e dos serviços à população aliado ao apoio ao desenvolvimento local [53]. Viabilizando o oferecimento de infraestrutura óptica conectando pontos do governo e pontos de acesso público além de aplicativos de governo Eletrônico, em 2013 já atendia 262 municípios, principalmente na região Norte e Nordeste, como mostra a Figura 3.



**Figura 3:** Municípios contemplados no programa Cidades Digitais do Ministério das Comunicações.  
**Fonte:** Brasil, Connected Smart Cities 2015, Apresentação de Américo Bernardes, Diretor de Infraestrutura para Inclusão Digital no Ministério das Comunicações [53].

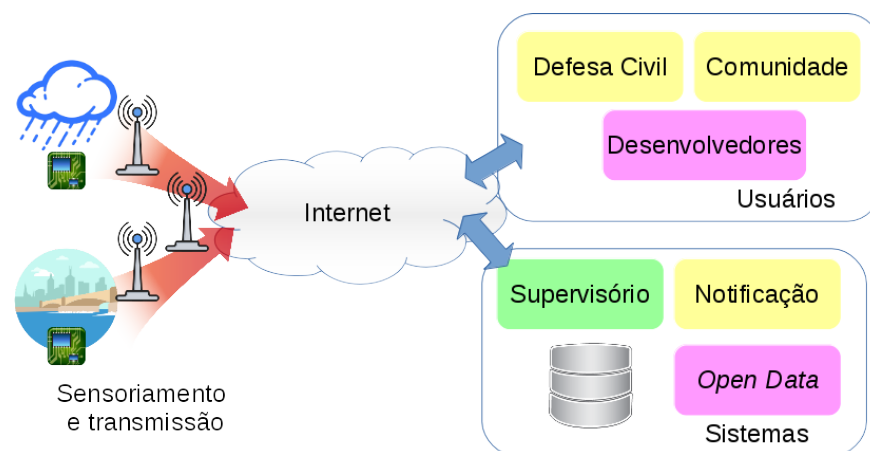
## 4. METODOLOGIA

A microeletrônica e as tecnologias de comunicação de dados proporcionam a possibilidade de projetos de baixo custo para apoiar o desenvolvimento das cidades [54][55].

O acesso à internet e a utilização de *smartphones* está crescendo anualmente. Em 2014 foram mais de 50 milhões de *smartphones* vendidos no Brasil [6] e, mesmo com cenário econômico adverso, pouco mais de 45 milhões de dispositivos foram comercializados em 2015 [56]. Segundo pesquisa publicada pela FGV dia 14 de abril de 2016, o Brasil chegou a 168 milhões de *smartphones* em uso [57].

Para viabilizar um modelo para gestão de risco de enchentes e inundações em áreas urbanas no atual cenário tecnológico, foram utilizados sensores e microcontroladores para coleta automatizada de dados (temperatura, nível de córregos, umidade), transmissores de dados sem fio (RF), roteadores de redes sem fio (ou *wireless*), servidores em nuvem e sistema supervisorio para análise de dados e notificação.

A integração dos elementos é apresentada na Figura 4.



**Figura 4:** Integração de elementos em cidade inteligente.



## 4.1 Computação em Nuvem ou Cloud Computing

O NIST definiu de maneira abrangente a Computação em Nuvem [58], como um modelo que permite acesso sob-demanda via rede a um conjunto de recursos computacionais. Estes recursos podem ser rapidamente oferecidos e disponibilizados com mínimo de esforço de gerenciamento ou interação com o fornecedor do serviço.

As características essenciais de Computação em Nuvem, mais relevantes para a proposta deste trabalho, envolvem:

- (a) capacidade de propiciar o uso por diversos tipos de plataforma (computadores, *smartphones*, *tablets*, sensores);
- (b) capacidade de aumentar (ou diminuir) automaticamente os recursos de processamento, de acordo com as solicitações dos usuários;
- (c) capacidade de medir os recursos consumidos (armazenagem, processamento, memória, tráfego de rede), permitindo o gerenciamento e controle do uso.

Para disponibilizar o serviço proposto neste trabalho, utilizamos a solução de PaaS (*Plataform as a Service*) [59] da IBM, o Bluemix, que permite de maneira simples utilizar das características essenciais relacionadas acima. Neste modelo de serviço, a IBM gerencia a infraestrutura, ou seja, os serviços de conectividade de rede, servidores, sistemas operacionais e armazenagem, além da segurança física e tecnológica do ambiente.

No ponto de vista do usuário do serviço proposto, a solução é oferecida como SaaS (*Software as a Service*) [60], com dois canais principais de acesso: navegador de internet para acesso à aplicação de monitoramento e aplicativo móvel integrado ao sistema de notificações. Ou seja, para o usuário existe uma solução tecnológica e ele não precisa se preocupar com a infraestrutura do funcionamento do aplicativo, apenas precisa se preocupar com a conectividade dele com a Internet.

## 4.2 Internet das Coisas

O termo Internet das Coisas (Internet of Things – IoT) é utilizado para tratar vários aspectos de conexões por meio da Internet de dispositivos distribuídos, com identificação própria, e capacidade de sensoriar ou atuar em seus ambientes [61].

A possibilidade de conexão de dispositivos na rede, disponibilizando dados que podem ser utilizados por aplicativos, está transformando a forma de desenvolver soluções.

A interação entre máquinas (*machine-to-machine* ou M2M) [62], inicialmente direcionada para automação industrial em redes locais, encontra nova abrangência: a Internet.

“Objetos inteligentes” (*smart things*), ou simplesmente “coisas”, são dispositivos que possuem, minimamente [61]:

- (a) estrutura física (*hardware*);
- (b) conjunto mínimo de funções de comunicação para interagir com outros dispositivos;
- (c) identificação única;
- (d) alguma capacidade computacional e de sensoriamento de algum fenômeno físico (por exemplo, medir temperatura ambiente).

Na proposta deste trabalho, a capacidade computacional e de sensoriamento é o fundamento chave para viabilizar a gerência de risco de enchentes em cidades inteligentes.

A tecnologia de comunicação destes dispositivos (redes sem fio ou com fio; TCP/IP ou RF) e conexão com a Internet é o que promove a proposta de uso de sistema supervisorio em nuvem, possibilitando um conceito de nuvem pública de serviço.

Independente da visão tecnológica, soluções projetadas com IoT demandam:

- (a) entendimento adequado das necessidades dos usuários da solução;
- (b) arquitetura de software e redes pervasivas capazes de identificar dados relevantes;
- (c) ferramentas de análise de dados que possibilitem automação de decisões.

A quantidade de dispositivos conectados na rede está crescendo exponencialmente (mais de 9 bilhões em 2013 e projeção de 24 bilhões em 2020) [61][55], e a disponibilidade dos dados de dispositivos de sensoriamento do meio-ambiente poderá aumentar a eficiência do trabalho da Defesa Civil.

### **4.3 Computação Móvel ou *Mobile Computing***

A discussão de computação móvel não é tão recente. Em meados da década de 90, com serviços de redes na faixa do infravermelho, existiam discussões de computação contextual e conectividade entre dispositivos [63].

Com o advento dos *smartphones* após o lançamento do primeiro *iPhone* em junho de 2007 pela Apple [64], a capacidade computacional e de conectividade com a Internet disponibilizada aos usuários em seus dispositivos móveis é crescente.

O antigo telefone celular, originalmente projetado para viabilizar a comunicação “por voz”, passa a oferecer ferramentas (ou aplicativos) para organização pessoal, comunicação por texto (*e-mail*), comunicação instantânea (*chats*), registro fotográfico, filmagem, entretenimento, e também comunicação por voz. Mas não apenas por meio da rede “convencional” de telefonia, mas por aplicativos que utilizam a rede de dados para transitar as mensagens.

E o avanço desta tecnologia permeia as diversas classes sociais. Estudo do Comitê Gestor da Internet do Brasil de 2014 relata que 82% do público entre 9 e 17 anos faz uso da Internet pelo telefone celular, e que o percentual de

brasileiros com mais de 10 anos que acessou a rede pelo dispositivo saltou de 15% em 2011 para 47% em 2014 [65][66].

O volume de vendas de *smartphones* no Brasil soma mais de 100 milhões de unidades em 2014 e 2015, e atualmente representa mais de 93% do mercado total de aparelhos [56][67].

A interação das pessoas com os *smartphones* viabiliza um novo paradigma de soluções, inclusive para a discussão deste trabalho. Oferecer informação “entendível” para pessoas sem conhecimento específico de risco de desastre ambiental pode contribuir com a redução dos impactos sociais, econômicos e financeiros de um incidente, pois o cidadão residente em área de risco passa a ter a oportunidade de decidir quando sair da região.

#### **4.4 Dados Abertos ou *Open Data***

Um aspecto muito discutido das cidades inteligentes é a possibilidade de desenvolver a economia por meio do surgimento de novas empresas de base tecnológica. Outro aspecto, é a importância dos modelos de governança do setor público, promovendo transparência nos seus atos e dados.

Neste cenário, a discussão de Dados Abertos envolve não só a disponibilização de dados de interesse público pelos agentes de estado, mas também o formato da disponibilização, que permita que a comunidade interessada tenha acesso de maneira padronizada e otimizando recursos computacionais [68].

A Lei de Acesso à Informação (Lei 12.527/2011), que entrou em vigor em maio de 2012, estrutura princípios de disponibilidade das informações públicas onde o acesso é a regra, o fornecimento deve ser gratuito e não é necessário explicar para que será utilizado o dado [69].

O formato dos dados, porém, não são, e nem devem ser, regulados pelo Congresso. Para transformar o volume de dados atualmente gerados em informação, é necessária grande capacidade computacional. Pensar na

interoperabilidade dos dados em diversos sistemas computacionais, principalmente na gestão de cidades, é de fundamental importância. O oferecimento de dados abertos e estruturados conforme as recomendações do W3C [70] tem como objetivo a resolução das questões de interoperabilidade e entendimento do conteúdo disponibilizado por sistemas computacionais e também por usuários ou desenvolvedores de soluções.

Ao pensar em *Open Data* na estruturação dos dados, a possibilidade de análise semântica é relevante. Utilizar do *Resource Description Framework* (RDF) [70][71] definido pelo W3C deveria ser um requisito de aplicações de interesse público.

Os dados abertos podem ser avaliados em 5 níveis (ou estrelas) [72]. A Figura 5 representa o modelo de avaliação:

- (a) disponível na web, sob licença aberta (por exemplo, arquivos PDF);
- (b) disponível como dados estruturados, porém que dependem de algum software proprietário (por exemplo, arquivos Microsoft Excel);
- (c) disponível como dados estruturados, porém em formato aberto (por exemplo, arquivos texto formato CSV (*Comma Separated Values*) ou JSON (*JavaScript Object Notation*));
- (d) disponível como dados estruturados, padrão RDF;
- (e) disponível como dados estruturados, padrão RDF, e fazendo referência a links externos para contextualizar os dados.

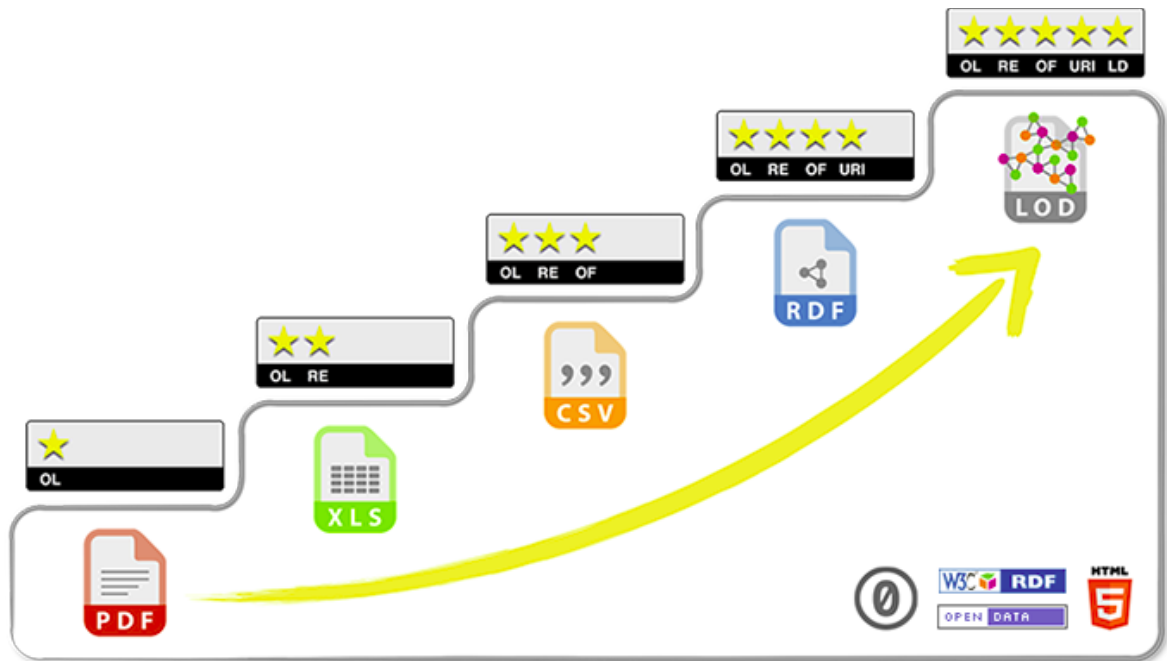


Figura 5: Modelo de avaliação *Open Data* [72].

A infraestrutura tecnológica de uma cidade inteligente deve possibilitar que dados de interesse público, como os de sensores de monitoramento de áreas de risco, sejam acessados por sistemas que proporcionem aos usuários interessados uma experiência relevante de acesso à informação.

O fato de qualquer pessoa conseguir acesso aos dados permitirá evolução na prestação de serviços e, eventualmente, potencializará o fomento de novas empresas de base tecnológica.

## 4.5 Redes de Sensores

A discussão das redes de sensores, principalmente as sem fio ou *Wireless Sensor Networks* (WSN), está crescendo desde o ano 2000 [73].

As novas possibilidades de aplicações e soluções que estão surgindo com o advento de sensores de baixo custo, baixo consumo de energia e facilidade de integração com sistemas, colocam em pauta a arquitetura, a capacidade e a

escalabilidade das redes atuais para conexão e transmissão dos dados sensorizados.

As aplicações no contexto das redes de sensores sem fio variam entre soluções militares, soluções para saúde, automação residencial, automação industrial, segurança pública entre outras [74].

Neste contexto, a arquitetura da rede deve ser planejada de acordo com as necessidades da solução. São críticas para o planejamento da rede as questões que tratam a tolerância a falhas, escalabilidade, custos de implementação, restrições do hardware (sensor), ambiente, meio de transmissão e consumo de energia [75].

Entende-se como tolerância a falhas a capacidade da rede continuar operando mesmo se algum sensor falhar, seja por problema no equipamento, seja por falta de energia ou por alguma outra interferência do ambiente.

Como escalabilidade, entende-se a capacidade da rede receber novos sensores (centenas ou milhares, dependendo da aplicação), sem prejudicar o funcionamento da rede.

Entende-se como custo de implementação a avaliação da tecnologia de conectividade de cada sensor. Embora algumas tecnologias possam ser individualmente de baixo custo, dependendo da quantidade de sensores necessários no contexto da solução, o custo da rede pode ficar muito alto.

As restrições do *hardware* têm relação com necessidades específicas do dispositivo projetado para solução. Por exemplo, a necessidade de gerador de energia para o sensor.

As questões de ambiente tratam das características do local onde será instalado o sensor. As características ambientais de uma indústria, que utiliza de sensores para verificar as condições de uso de equipamentos é bem diferente do ambiente de encosta onde um pluviômetro pode ser instalado para monitorar a quantidade de chuva.

Usualmente, as redes de sensores são conectadas por tecnologias sem fio (*wireless*). Sensores de baixo custo podem utilizar circuitos RF operando com 916 MHz. Em outros casos, utiliza-se Bluetooth compatível com 2.4 GHz.

Não existem impeditivos para que, em situações específicas, os sensores sejam conectados diretamente em redes cabeadas TCP/IP [74].

A questão do consumo de energia não pode ser esquecida. Tanto pela quantidade de sensores que uma rede pode alcançar, como pela ausência de infraestrutura ou dificuldade para acesso ao local onde o sensor está instalado. A quantidade de sensores ausentes na rede pode influenciar no roteamento dos dados e na capacidade da rede continuar operando.

## 4.6 Redes Comunitárias em Cidades Inteligentes

Com a redução de custos de equipamentos de redes sem fio que trabalham em frequências isentas de licenciamento de uso (por exemplo, de 2,4 a 2,4835 GHz), surge a oportunidade de trabalhar novos conceitos de conectividade e modelos de negócios [76].

É cada vez mais comum encontrar em espaços privados com alto fluxo de pessoas, serviços de conexão a Internet. Condomínios empresariais ou residenciais, universidades, aeroportos, restaurantes e clubes, entre outros espaços, utilizam da tecnologia de redes sem fio (*wireless*) para promover acesso à Internet como benefício para seus clientes, seja em espaço fechado (salas ou prédios), ou em espaços comuns (praças, estacionamentos ou áreas de convívio). Em algumas regiões do mundo, este tipo de compartilhamento de conexão é realizado em bairros, com objetivo de reduzir o custo individual de acesso e promover melhor serviço de conectividade e velocidade [77].

É comum que existam serviços específicos para os usuários da rede, como de armazenagem e compartilhamento de arquivos ou serviços de comunicação [78].

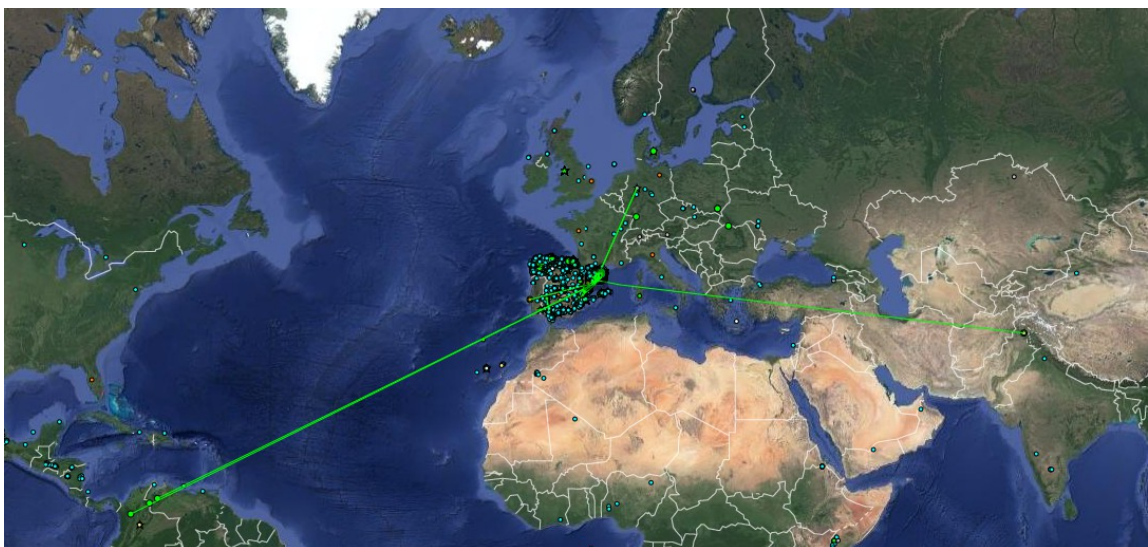
Outro aspecto a avaliar nas redes comunitárias é que usualmente disponibilizam serviços para seus usuários sem priorização para os dados transitados, ou seja, aplicam o conceito de neutralidade na comunicação.



No contexto das cidades inteligentes, a conectividade é um aspecto fundamental para viabilidade de integração dos serviços públicos com os cidadãos. Estruturar redes comunitárias pode ser um dos caminhos da criação da rede de comunicação do município. Identificar pontos de referência (escolas, postos de saúde, hospitais, terminais rodoviários) que possam ser utilizados como base para distribuição (ou compartilhamento) do acesso à rede pode reduzir o custo de implantação da infraestrutura tecnológica.

O escopo da rede comunitária pode ser definido para atendimento de uma região ou necessidade específica, ou então para conectar várias regiões ou municípios, dentro de um objetivo comum. Por exemplo, uma rede comunitária pode ser utilizada para compartilhar recursos de um sistema de gestão de sensores de coleta de dados climáticos (pluviometria, temperatura ambiente, umidade do ar e do solo, nível de córregos e rios, entre outros), com objetivo de gestão de recursos hídricos ou gestão de risco de desastre ambiental.

Um exemplo de rede comunitária que saiu das fronteiras de uma Universidade é a Guifi.net. Ela iniciou sua estrutura em 2004 na Universidade Politécnica da Catalunha e possui atualmente mais de 32.000 nós com serviços de voz sobre IP, FTP, video conferência, e-mail e até mesmo rádios (música) [79], não só na Espanha, mas também em Portugal, França, Alemanha e alguns países nas Américas. A Figura 6 ilustra a conectividade da rede comunitária Guifi.net.



**Figura 6:** Conectividade na Guifi.net.

## 4.7 Solução Proposta

### 4.7.1 Visão Geral

Neste trabalho, são utilizados os conceitos de Gerência de Rede de Stallings [80] para desenvolvimento de um *software* supervisor. Instalado em servidores na nuvem, o *software* recebe os dados gerados por diversos elementos (sensores) conectados à rede, analisa estes dados e, de acordo com os critérios de validação criados, armazena ou descarta o dado. Os dados armazenados são disponibilizados para a interface de monitoramento e também para o sistema de notificações.

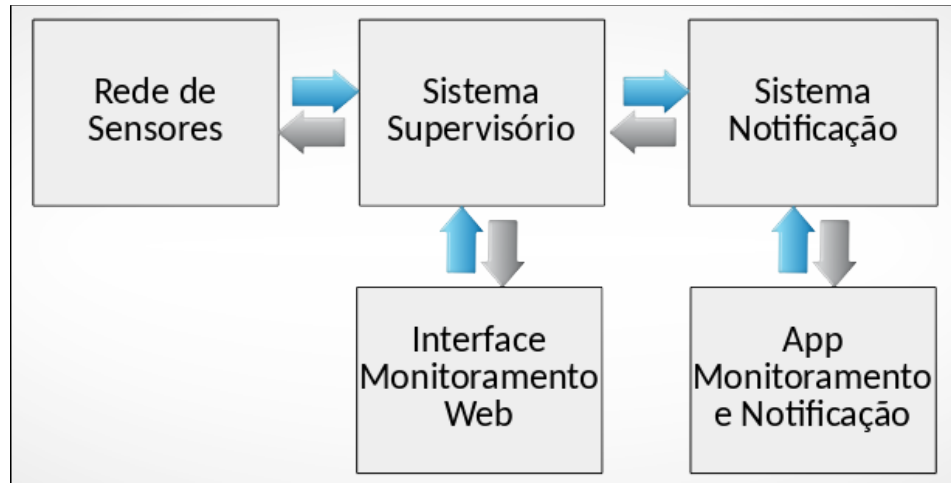
Os critérios de validação foram criados para avaliar se dados gerados, principalmente por sensores de baixo custo (e potencial baixa confiabilidade), são coerentes com os parâmetros de referência. Este processo será descrito no item 4.7.4 Função de Gerenciamento.

O objetivo do modelo é permitir a integração de qualquer tipo de elemento de coleta de dados com o sistema de notificações, desde que os dados gerados sejam quantificáveis (números).

A interface de monitoramento, desenvolvida com tecnologia para Internet, pode ser acessada de qualquer navegador. Ela foi projetada para disponibilizar uma visão georeferenciada dos elementos monitorados (por meio de integração com a API do Google Maps) e também com um painel de indicadores (*dashboard*) que apresenta, em tempo real, a quantidade de ocorrências ou situações de risco.

Para viabilizar o acompanhamento, por cidadãos “não especialistas” em enchentes, foi desenvolvido um aplicativo para *smartphones* que apresenta a situação dos sensores monitorados, com um indicador de risco de enchente (baixo, médio, alto, incidente). Para estes dispositivos com o aplicativo, o sistema

de notificações pode enviar mensagens tipo PUSH, alertando a mudança do nível do risco dos sensores. A Figura 7 apresenta o esquema proposto.



**Figura 7:** Integração para gestão de risco de enchentes.

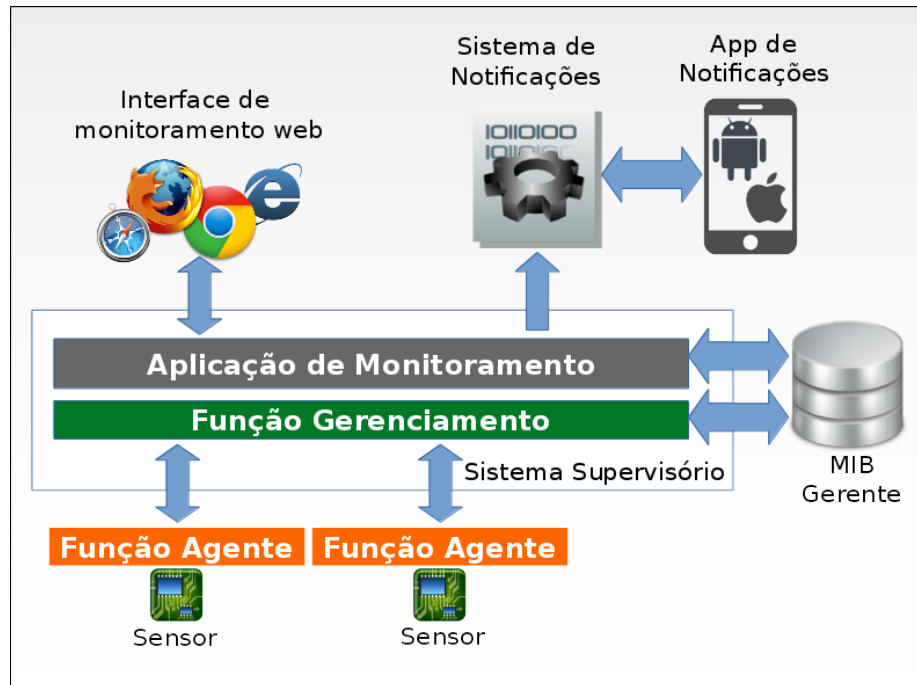
#### 4.7.2 Sistema Supervisório e de Notificações

Para verificar a eficiência de uma rede, incluindo a de sensores, é necessário gerenciá-la. Os modelos de gestão já estão bem definidos pela ISO (*International Organization for Standardization*) [81]. Utilizou-se o modelo de Stallings [80] para dividir a arquitetura em Sistema de Notificação, Aplicação de Monitoramento, Função de Gerenciamento, Função de Agente e Objetos Gerenciados (sensores).

Considerando que um dos principais objetivos do estudo é potencializar a estrutura de monitoramento de sensores utilizando o conceito de baixo custo, não foi utilizado nenhum sistema supervisório disponível no mercado, simplificando, também, o processo de adequação do algoritmo de análise de confiabilidade dos dados.

O protocolo de comunicação com o sistema supervisório adotado foi o HTTP (*HiperText Transfer Protocol*). Este protocolo foi utilizado por viabilizar a instalação do sistema em máquinas virtualizadas na nuvem, possibilitando aumentar ou diminuir a capacidade de processamento de maneira automática,

simplificando e reduzindo o custo de gerência de rede. A Figura 8 apresenta, visualmente, a arquitetura utilizada.



**Figura 8:** Arquitetura da solução proposta.

#### 4.7.2.1 Arquitetura do Sistema Supervisório

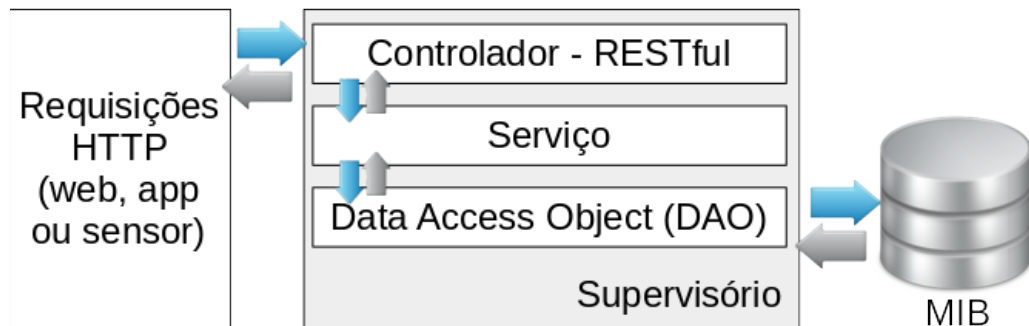
O sistema supervisorio foi desenvolvido em Java, linguagem *Open Source* que possui uma das maiores comunidades de desenvolvimento do mundo, além de amplo apoio de grandes patrocinadores de tecnologia, tais como Oracle, IBM, Google, entre outros.

Para simplificar a troca de dados entre o supervisorio, a função agente, o sistema de notificações e a interface *Web*, utilizou-se do padrão REST [82] para troca de dados.

Utilizou-se 3 (três) camadas para organizar o sistema, simplificando a manutenção e potencializando o reaproveitamento de funções.

A Figura 9 representa a arquitetura do sistema supervisorio. Na primeira camada, o Controlador que recebe as requisições HTTP originadas da interface *Web* de monitoramento, de um aplicativo móvel ou dos sensores

habilitados, e organiza os dados. A segunda camada, de serviços, efetua o processamento dos dados recebidos pelo controlador, aplicando regras de processamento e interagindo com a camada de acesso aos dados. A última camada recebe as interações da camada de serviço e efetua o processamento (inclusão, alteração, exclusão ou consulta) no banco de dados. A última camada, de acesso a dados, é também chamada de DAO (*Data Access Object*).



**Figura 9:** Arquitetura do Sistema Supervisório.

#### 4.7.2.2 MIB (Management Information Base) Gerente

Para organizar os dados, utilizou-se o sistema gerenciador de banco de dados objeto-relacional PostgreSQL, que é *Open Source* e pode ser configurado com facilidade nos principais provedores de serviço de banco de dados na nuvem.

A representação visual do banco de dados está apresentada na Figura 10. A modelagem busca proporcionar velocidade de acesso aos dados por meio de índices e relacionamentos com dado tipo inteiro, além de propor alguns dados já consolidados para minimizar cálculos no momento da consulta dos mesmos.

No modelo proposto, os sensores estão organizados por local e região. A região identifica um conjunto de locais. O local identifica, por latitude e longitude, onde o sensor está instalado. O sensor possui uma classificação (tipo), para facilitar o processo de análise dos seus dados (por exemplo, pluviômetro, sensor de umidade, temperatura, etc). Cada sensor pode possuir uma escala de alertas, que será utilizado pelo módulo de notificações. Cada sensor terá registrado seus dados históricos, para análise futura ou acesso por meio dos serviços móveis ou *Open Data*. Na tabela com os dados básicos do sensor, ficam também algumas estatísticas que são calculadas a cada processamento de um

novos dados. O objetivo é reduzir a necessidade de processamento de estatísticas simples (média móvel dos últimos 10 registros, valor mínimo, valor máximo e valor e data do último dado) em tempo de consulta.

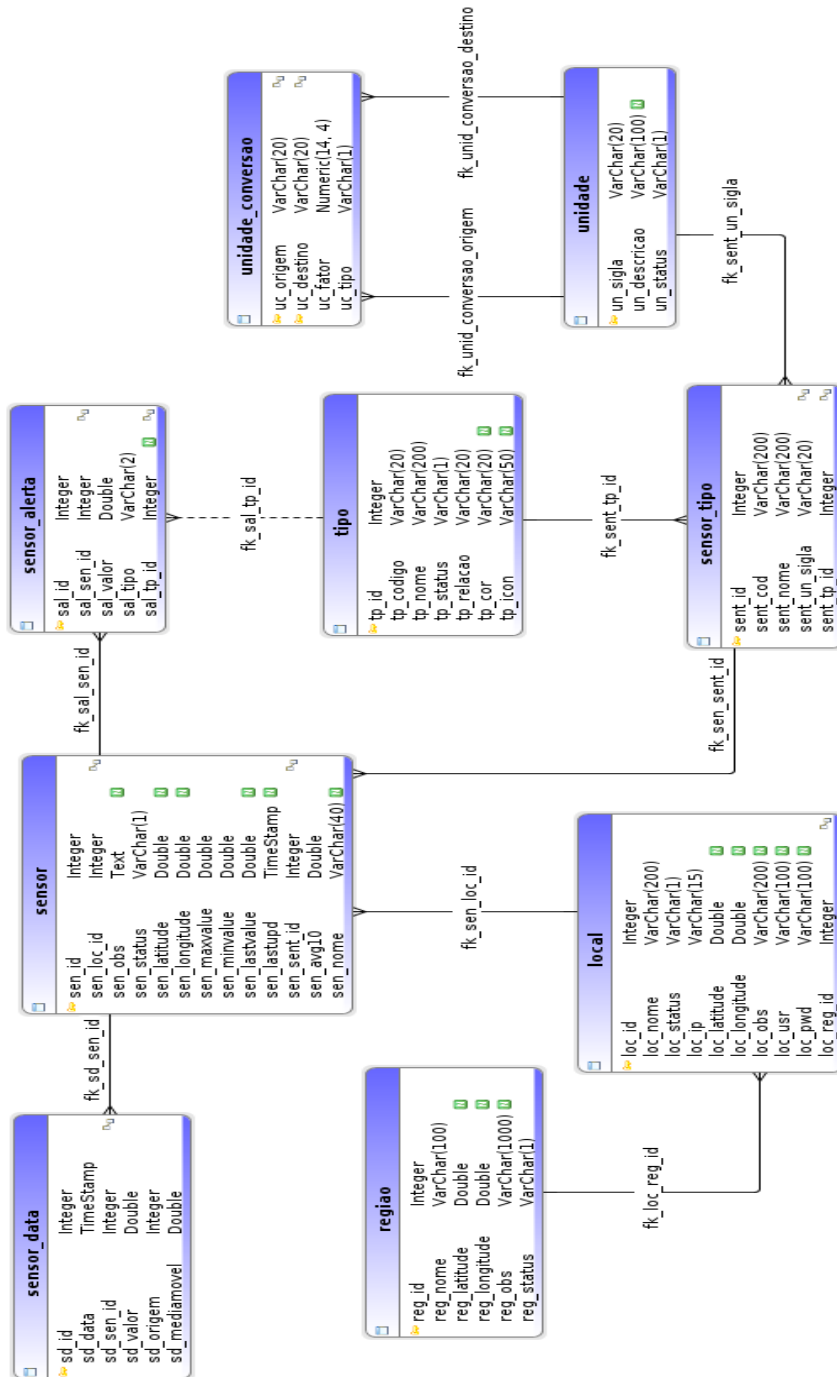


Figura 10: MIB - Modelo de Dados.

### 4.7.3 Objetos Gerenciados e Função Agente

Os objetos gerenciados coletam os dados dos sensores e os transmitem, por meio da Função Agente, para o sistema supervisor. Os dados são estruturados para envio em formato JSON, informando o ID do sensor, o VALOR coletado, a DATA e a HORA da coleta. Comparando o formato JSON com XML, o primeiro permite legibilidade dos dados com menor quantidade de dados a transmitir.

Na Figura 11, há a ilustração de um exemplo dos dados estruturados em JSON e em XML, comparando a quantidade de caracteres necessários para transmissão do mesmo conjunto de dados.

<pre>{   id:987628;   value:45;   date:160110;   time:132210; }</pre> <p><i>JSON: 45 caracteres</i></p>	<pre>&lt;data&gt;   &lt;id&gt;987628&lt;/id&gt;   &lt;value&gt;45&lt;/value&gt;   &lt;date&gt;160110&lt;/date&gt;   &lt;time&gt;132210&lt;/time&gt; &lt;/data&gt;</pre> <p><i>XML: (81 caracteres)</i></p>
---	--

**Figura 11:** Estrutura de dados JSON versus XML

Considera-se, neste trabalho, que a Função Agente possui conexão com rede TCP/IP para enviar os dados para o supervisor que está instalado na nuvem.

A MIB do sistema supervisor contém dados complementares de cada sensor para viabilizar, por exemplo, o georeferenciamento dos mesmos. Esta estratégia foi utilizada para, em um primeiro momento, reduzir o custo dos dispositivos eletrônicos que coletam dados (evitando a inclusão de um elemento tipo GPS, por exemplo).

#### 4.7.4 Função de Gerenciamento

Na arquitetura utilizada, a Função de Gerenciamento é crítica para disponibilizar dados de maneira rápida para a aplicação de monitoramento e, conseqüentemente, para o sistema de notificações. Porém, a confiabilidade do dado é fundamental para a correta análise e atuação dos analistas de risco (que utilizam a aplicação de monitoramento) e também para o acionamento do sistema de notificações.

Para minimizar o risco de utilização e armazenagem de dados não confiáveis, definiu-se que, para cada tipo de sensor, em um intervalo de tempo, existe uma variação máxima de valor considerada aceitável. Este parâmetro é configurado, então, como característica do sensor.

Exemplificando: para um sensor ultrassônico, que faz medições de distância (altura de um córrego), definiu-se que em um intervalo de 10 segundos entre medições, a variação máxima do dado coletado seria de  $\pm 20\%$ . A Tabela 1 apresenta a interpretação esperada dos dados.

**Tabela 1:** Exemplo de análise de dados coletados de sensor

Horário	Medição	Variação	Ação
10:00:00 AM	100 cm	--	Aceitar
10:00:10 AM	105 cm	5,00%	Aceitar
10:00:20 AM	102 cm	-3,00%	Aceitar
10:00:30 AM	115 cm	13,00%	Aceitar
10:00:40 AM	200 cm	74,00%	Recusar
10:00:50 AM	120 cm	4,00%	Aceitar

O algoritmo da Função de Gerenciamento, para avaliar a confiabilidade do dado, possui os seguintes passos:

- A. recebe dado da medição
- B. recupera última medição do elemento, horário e variação máxima por tempo parametrizada



- C. calcula a variação da medição no período de tempo (diferença entre medição atual e última, além da diferença entre o horário atual e o da última coleta)
- D. se a variação for maior do que a parametrizada no período de tempo:
  - a. descarta registro
- E. senão:
  - a. armazena dado da coleta
  - b. atualiza estatísticas
    - a. média das últimas 10 coletas
      - a. se o valor atual é maior que máximo já coletado, atualiza máximo
      - b. se o valor atual é menor que o mínimo já coletado, atualiza mínimo

A Figura 12 apresenta o código do *WebService* que recebe os dados do sensor e processa a rotina descrita acima.

```

/**
 * Incluir medicao para sensor
 * @param senId id do sensor
 * @param valor valor a processar
 * @param dataHora data/hora da medicao
 * @return
 */
@POST
@Path("/sensor/insert")
public Response insertSensorData(@FormParam("senId") Integer senId,
                                  @FormParam("valor") Float valor,
                                  @FormParam("dataHora") String dataHora) {
    JSONObject ret = new JSONObject();
    SensorServices services = new SensorServices();
    try {
        Date ini = new Date();
        IdNomeValores atual = services.getAcumuladoUltimasMedicoes(senId, 10);
        // incluir dados e atualizar media movel
        atual = services.insertSensorData(senId, valor, Conversor.textoParaDataHora(dataHora));
        // retorno sucesso
        Date fim = new Date();
        Long diff = fim.getTime() - ini.getTime();
        ret.put("msg", String.format("sucesso em %d ms", diff));
    } catch (Exception ex) {
        Logger.log("*** Erro incluindo dado para sensor ***", this.getClass());
        ex.printStackTrace();
        ret.put("msg", "falha");
    }

    JSONArray jsonArray = new JSONArray();
    jsonArray.put(ret);
    return retornaOpenAccess(jsonArray);
}

```

**Figura 12:** WebService - inclusão de dados de sensor.

A Figura 13 apresenta o código do serviço de inclusão dos dados do sensor no banco.

Na camada de acesso aos dados (DAO), é efetuado o armazenamento efetivo dos dados, como na Figura 14.

```

/**
 * inclui dados de sensor. calcula media movel (10) medicoes antes de incluir
 * @param senId id do sensor
 * @param valor valor a inserir
 * @param dataHora horario
 * @return dados de resumo do sensor
 */
public IdNomeValores insertSensorData(Integer senId, Float valor, Date dataHora) {
    IdNomeValores ret = null ;
    try{
        SensorDAO dao = new SensorDAO();
        if ( dao.conecta() ) {
            List<SensorData> lista = listaUltimasMedicoes(senId, 9);
            // inclui valor atual para calcular media movel
            SensorData atual = new SensorData();
            atual.setValor(valor);
            float media = calculaMedia(lista);
            ret = dao.insertSensorData(senId, valor, dataHora, media);
            if ( ret != null )
                dao.commit();
            else
                dao.rollback();
            dao.desconecta();
        } else {
            Logger.log("Nao conectou...", this);
        }
    } catch (Exception ex) {
        Logger.log(ex.getMessage(), this);
        ex.printStackTrace();
    }
    return ret;
}
}

```

**Figura 13:** Serviço: Inclusão de dados

```

/**
 * inclui medicao para sensor
 * @param senId sensor
 * @param valor valor
 * @param dataHora data e horario
 * @param media media movel ultimas medicoes
 * @return
 */
public int insertSensorData(Integer senId, Float valor,
                             Date dataHora, Float media) {
    int ret = 0;
    StringBuilder sql = new StringBuilder();
    sql.append(" INSERT INTO sensor_data ( sd_sen_id, sd_valor, sd_data, ");
    sql.append("                                     sd_mediamovel, sd_origem ) \n");
    sql.append("          VALUES ( ?, ?, ?, ?, ? ) ");

    Object[] params = new Object[]{ senId, valor, dataHora, media, 1 };

    if (isConnected())
        try {
            ret = this.executeUpdate(sql.toString(), params);
        } catch (SQLException ex ){
            log(sql.toString());
            log(ex.getMessage());
            ex.printStackTrace();
            return -1;
        }
    return ret;
}

```

**Figura 14:** DAO - Inserir dado para sensor

#### 4.7.5 Aplicação de Monitoramento

A aplicação de monitoramento possui duas funções principais: 1) disponibilizar dados e informações processadas pela função gerente em formato inteligível para o usuário que acompanha a situação dos sensores monitorados, e 2) acionar o sistema de notificações informando variação nos dados monitorados.

A interface com o usuário tem como objetivo apresentar, rapidamente, dados relevantes para tomada de decisão. Utilizando-se esta premissa, apresentar visualmente a localização dos pontos críticos pode facilitar o entendimento do problema e o correto acionamento do plano de comunicação aos agentes envolvidos no processo de resposta e recuperação do local.

#### 4.7.6 Sistema de Notificações

O sistema de notificações foi separado da aplicação de monitoramento para simplificar o processo de escalabilidade do serviço, caso a base de dispositivos com o aplicativo cresça. Outra possibilidade planejada para implementação futura é a parametrização de tipos de notificação, aumentando a versatilidade do serviço. Entende-se como tipos de notificação: mensagens SMS, e-mails e notificações *PUSH* para *smartphones*.

#### 4.7.5 Aplicação de monitoramento móvel

A interface do aplicativo para dispositivos móveis foi estruturada pra simplificar a visualização e interpretação dos dados dos sensores por pessoas sem especialização em análise de risco.

O custo de remoção ou retirada de moradores de regiões urbanas ou rurais após a ocorrência de desastres é muito superior ao custo de remoção antecipado [83]. Possibilitar, então, que a população receba a informação do risco de enchente potencializa e simplifica a remoção antecipada (e autônoma) da população.

#### 4.7.8 Interface Dados Abertos ou Open Data

Como um dos objetivos da solução é a disponibilização de dados para que outros sistemas ou interessados desenvolvam estudos ou aplicativos, desenvolveu-se um módulo de disponibilização de dados que atende a pelo menos 4 estrelas da estrutura sugerida pelo W3C [72].

Neste módulo, o usuário poderá solicitar por meio de um endereço eletrônico (URL), os seguintes dados:

- ↯ relação de sensores disponíveis para consulta;
- ↯ dados históricos de um sensor disponível, em um período definido.

#### 4.7.8.1 Organização dos dados

Para organizar os dados dos sensores, criando o sentido de reutilização, compartilhamento e legibilidade sugeridos pela W3C, utilizou-se o modelo padrão *RDF* [71]. Na Figura 15, apresenta-se um exemplo de representação RDF dos dados dos locais e sensores. O exemplo foi conferido pelo analisador de RDF da W3C [84].

```
<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xmlns:geo="http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#"
  xmlns:dc="http://purl.org/dc/elements/1.1/"
  xmlns="http://xmlns.com/foaf/0.1/">
  <Local dc:title="PUC-Campinas" geo:lat="-22.8564987" geo:long="-47.0599348">
    <nome>PUC-Campinas</nome>
    <homepage dc:title="PUC-Campinas" rdf:resource="http://www.puc-campinas.edu.br"/>
    <sensor dc:type="Pluviometro" dc:identifier="2534"
      rdf:resource="http://www.wrfcomercial.com.br/produtos/pluviometros/">
    <sensor dc:type="Temperatura" dc:identifier="3340"
      rdf:resource="http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf"/>
  </Local>
  <Local dc:title="Corrego Itaim" geo:lat="-23.518727" geo:long="-46.334453">
    <nome>Corrego Itaim</nome>
    <homepage dc:title="Corrego Itaim"
      rdf:resource="https://pt.wikipedia.org/wiki/Córrego_Itaim"/>
    <sensor dc:type="Altura" dc:identifier="1230"
      rdf:resource="http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf"/>
  </Local>
</rdf:RDF>
```

**Figura 15:** Exemplo de representação RDF de locais e sensores.

A Figura 16 ilustra a representação gráfica do exemplo acima e foi gerada pelo aplicativo RDF-Gravity [85].

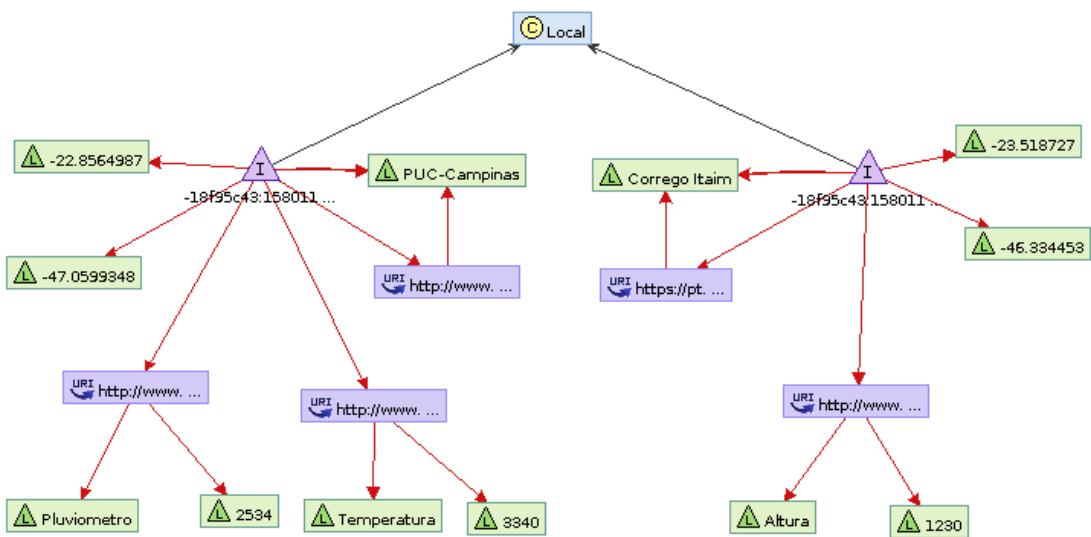


Figura 16: Representação gráfica de dados RDF.

#### 4.7.8.2 Solicitando a relação de sensores disponíveis

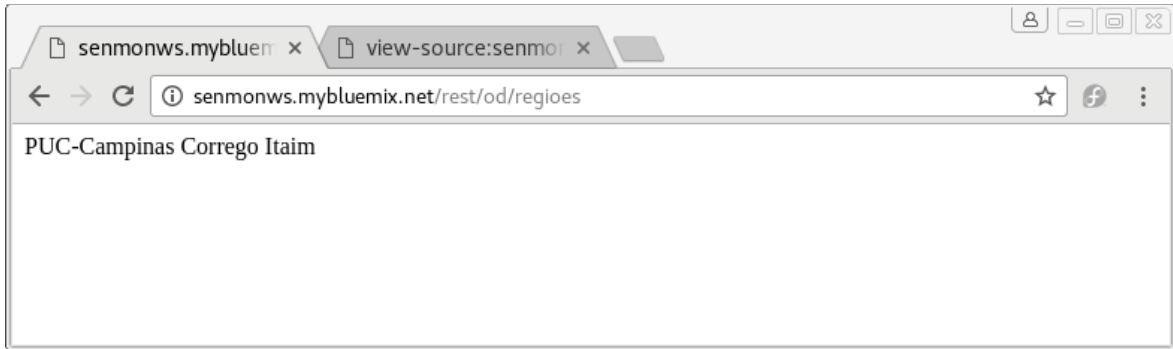
Para solicitar estes dados, o usuário acessa a URL de regiões e sensores, como exemplificado na Figura 17. O resultado obtido, em formato RDF, é apresentado na Figura 18.

```

1 <?xml version="1.0"?>
2 <rdf:RDF
3   xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
4   xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
5   xmlns:geo="http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#"
6   xmlns:dc="http://purl.org/dc/elements/1.1/"
7   xmlns="http://xmlns.com/foaf/0.1/">
8
9   <Local dc:title="PUC-Campinas" geo:lat="-22.8564987" geo:long="-47.0599348">
10    <nome>PUC-Campinas</nome>
11    <homepage dc:title="PUC-Campinas" rdf:resource="http://www.puc-campinas.edu.br"/>
12    <sensor dc:type="Pluviometro" dc:identifier="2534"
13      rdf:resource="http://www.wrfcomercial.com.br/produtos/pluviometros/" />
14    <sensor dc:type="Temperatura" dc:identifier="3340"
15      rdf:resource="http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf" />
16  </Local>
17  <Local dc:title="Corrego Itaim" geo:lat="-23.518727" geo:long="-46.334453">
18    <nome>Corrego Itaim</nome>
19    <homepage dc:title="Corrego Itaim"
20      rdf:resource="https://pt.wikipedia.org/wiki/Corrego_Itaim"/>
21    <sensor dc:type="Altura" dc:identifier="1230"
22      rdf:resource="http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf" />
23  </Local>
24 </rdf:RDF>

```

Figura 17: Código RDF das regiões e sensores.



**Figura 18:** Acesso via URL <http://senmonws.mybluemix.net/rest/od/regioes>.

#### 4.7.9 Sensores de baixo custo

Considerando a necessidade de minimizar o investimento em equipamentos e coleta de dados, efetuou-se avaliação de mercado para identificar sensores com preços no varejo inferiores que os das estações meteorológicas ou pluviométricas completas disponíveis. A Tabela 2 apresenta os valores identificados.

**Tabela 2:** Preço no varejo de equipamento para sensoriamento.

Equipamento	Preço R\$	Preço Us\$
Arduino Uno R3	54,90	17,10
Ethernet Shield W5100	59,90	18,66
Sensor de Temperatura e Umidade DHT11	16,90	5,27
Pluviômetro (*)	149,50	46,57
Fonte 9V 1A	19,90	6,20

Preços disponíveis no site <http://www.filipeflop.com/>. O Pluviômetro foi cotado na empresa WRF Comercial.

Cotação do dólar: Us\$ 1,00 = R\$ 3,21. Data da cotação: 27/08/16. Fonte: Banco Central do Brasil

A Tabela 3 apresenta os custos mensais do servidor virtual para comportar até 30 dispositivos de coleta de dados (considerando intervalo de 10 segundos entre as coletas).

**Tabela 3:** Custo mensal de servidor em Datacenter

Serviço	Preço R\$	Preço Us\$
Virtual Server para sistema de monitoramento e sistema de notificações (1 GB RAM, 1 core)	55,55	17,31
Serviço de banco de dados PostgreSQL, 20 conexões simultâneas e 2 GB armazenamento	49,00	15,26

Preços disponíveis no site <https://console.ng.bluemix.net/pricing/>

Cotação do dólar: Us\$ 1,00 = R\$ 3,21. Data da cotação: 27/08/16. Fonte: Banco Central do Brasil

A Tabela 4, apresenta valores de alguns modelos de estação meteorológica automática (que mantém dados coletados por período de tempo, e tem capacidade de transmissão para outros dispositivos).

**Tabela 4:** Preços de estação meteorológica automática

Produto	Comunicação	Preço R\$
1. Estação Meteorológica E1000	RS-232	3.500,00
2. Estação Meteorológica Oregon Scientific	RF 433 MHz	3.500,00
3. Estação Meteorológica Oregon Scientific	RF 433 MHz	3.450,00
4. Estação Meteorológica Davis Pro	GPRS	11.800,00

Data da consulta dos preços: 14/10/2016. Preço unitário por produto em site de representantes.

1. <http://www.medeclima.com.br/produto/estacao-meteorologica-e1000>

2. <http://www.azula.com.br/instrumentos-de-medicao/estacoes-meteorologicas-profissionais/>

3. <http://www.mundoclima.com.br/estacoes-meteorologicas/fixas/estacao-meteorologica-oregon-scientific-wmr200/>

4. <http://www.mundoclima.com.br/estacoes-meteorologicas/fixas/estacao-meteorologica-davis-pro2-6153/>

O dispositivo coletor (no caso, utilizando Arduino [86]), conectado à uma rede que possui acesso à Internet, faz a leitura dos sensores digitais de temperatura e umidade a cada 10 minutos. Para o volume de chuva, o dispositivo acumula a quantidade de sinais que o pluviômetro enviou no intervalo de 10 minutos. A partir da quantidade de sinais enviados pelo pluviômetro é calculada a quantidade de milímetros de chuva do período (depende de calibração prévia do sensor). Após a leitura, o dispositivo tenta conexão à Internet e ao sistema de gerência de dados, enviando os dados coletados. Caso não consiga conexão, armazena os dados em uma fila para nova tentativa em 2 minutos. O sistema de gerência recebe os dados em um *WebService* [87], identifica a origem e atualiza os dados do ponto de coleta (histórico, valor mínimo, máximo e média móvel das



últimas 10 medições). Por meio de interface *Web*, é possível acompanhar os dados coletados em cada dispositivo.

Utilizou-se como indicador de desempenho do sistema de gerência de rede desenvolvido, o tempo para processamento dos dados do dispositivo de coleta acrescido da interpretação dos dados recebidos.

## 5. VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE GERÊNCIA PROPOSTO

O objetivo deste capítulo foi validar o serviço de notificação proposto neste trabalho, por meio de emulação, com sensor ultrasônico, para detecção de risco de enchente. Buscou-se, então:

- (a) confirmar a capacidade de processamento do algoritmo de avaliação de dados proposto em estrutura de nuvem de baixo custo;
- (b) confirmar o tempo de resposta do serviço de notificação móvel;
- (c) confirmar a viabilidade operacional da interface de monitoramento *Web*.

Neste sentido, utilizou-se um conjunto sensor de baixo custo, desenvolvido pelo Eng. Marco Ruiz no âmbito do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Campinas, para monitorar a altura de um córrego que costumeiramente transborda no município de Poá-SP [88]. Posteriormente, integrou-se os dados recebidos pela estação de coleta com a Função de Gerenciamento proposta neste trabalho. Nesta primeira integração, processou-se os dados de medição da altura do córrego, coletados por um sensor ultrasônico modelo HC-SR04 [89], conectado a um conjunto Arduino/Radiuino modelos UartSBee v4 [90] e RFBee v1.1 [91]. A Figura 19 apresenta o sensor ultrasônico para coleta dos dados.

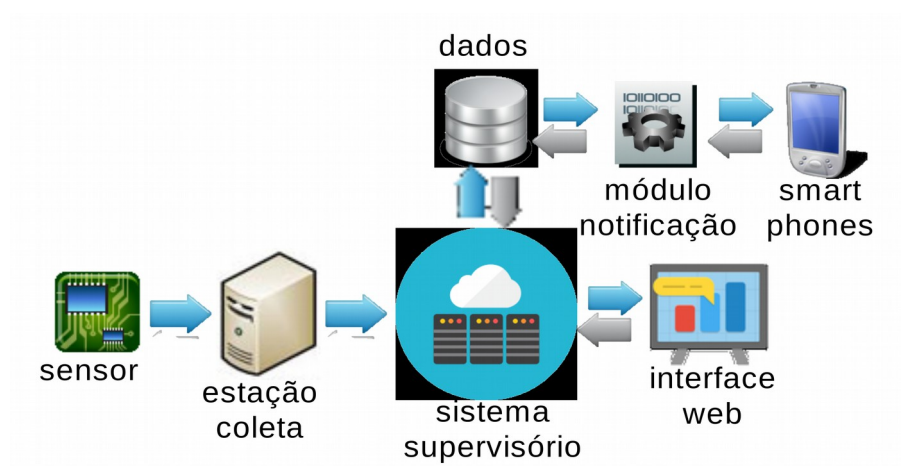


**Figura 19:** Sensor Ultrasônico.

Como descrito no Capítulo 4, desenvolveu-se um conjunto de *WebServices* para receber e processar os dados gerados pelos sensores. Esta tecnologia simplifica o processo de instalação das funções de coleta em servidores virtualizados (ou na nuvem). Utilizou-se a infraestrutura de nuvem da IBM (Bluemix) para a realização dos testes, uma vez que possibilita a configuração de escalabilidade horizontal e vertical por meio de parametrização. Outra característica deste fornecedor é a existência de “camada gratuita de serviços”, ou seja, caso os recursos utilizados não excedam capacidade definida pelo fornecedor, a utilização da infraestrutura não tem custos. Considerando que a prova de conceito utilizou apenas 1 sensor, os limites de capacidade de processamento atuaram como referência para otimização dos programas desenvolvidos.

## 5.1 Arquitetura utilizada nos testes de validação

Configurou-se a emulação conforme esquema representado na Figura 20.



**Figura 20:** Arquitetura da emulação.

A comunicação entre o sensor e a estação de coleta é feita por meio de RF (radiofrequência) [74]. A comunicação entre a estação de coleta e o sistema supervisorio é realizada via TCP/IP por meio dos *webservices* sobre protocolo HTTP [92]. A estação de coleta precisa estar conectada em uma rede com acesso à Internet para viabilizar a conexão com o sistema supervisorio que está na nuvem.

A comunicação entre o sistema supervisorio e a base de dados é feita via TCP/IP. A base de dados está instalada na mesma infraestrutura do sistema supervisorio, em servidores virtualizados separados.

A comunicação entre o módulo de notificação e a base de dados também é realizada por TCP/IP. Instalou-se o módulo de notificação na mesma infraestrutura do sistema supervisorio, em servidores virtualizados separados, compartilhando o acesso à mesma base de dados.

A comunicação entre o sistema de notificação e os *smartphones* é via TCP/IP, com os *smartphones* acessando *webservices* por meio do protocolo HTTP. Os *webservices* do sistema de notificação disponibilizam os dados coletados de um sensor (último dado coletado) e a situação do dado (situação normal, alerta, emergência, incidente).

A comunicação entre o Sistema Supervisorio e a Interface Web é realizada via TCP/IP, com os usuários acessando as páginas da interface por meio do protocolo HTTP. As páginas da interface acessam *webservices* do sistema supervisorio em ciclos de tempo para atualizar a situação dos sensores monitorados.

## **5.2 Procedimento de validação**

Os testes de validação foram executados de acordo com os seguintes passos:

1. Identificação da profundidade do leito do córrego, por meio de uma corda com peso, para que a partir do dado coletado no sensor ultrassônico seja possível calcular quanto falta para o extravasamento.
2. Instalação do sensor de coleta e ajuste da posição da antena RF para comunicação com a estação de coleta (ou nó coletor).
3. Configuração da estação de coleta para solicitar dados do nó sensor e transmitir dados para o sistema supervisor.
4. Configuração do sistema supervisor para identificar e aceitar os registros do nó coletor.
5. Configuração do sistema supervisor dos tipos de alerta para o sensor.
6. Ativação da solução e coleta de dados.
7. Acompanhamento dos resultados.

No cenário dos testes de validação, o nível máximo de água (100%) é de 200 cm. O sensor ultrassônico está instalado 75 cm acima do nível máximo, para evitar contato com a água em caso de transbordamento. A utilização deste sensor simplifica a instalação e manutenção, além de oferecer maior tempo de vida-útil por não ficar em contato direto com o meio, como apresentado na Figura 21.



**Figura 21:** Sensor instalado em córrego de Poá-SP com (A) antena de comunicação e (B) sensor ultrassônico

O nó coletor foi instalado a 80 metros do nó sensor, em local que permitia conexão com a Internet.

### 5.3 Resultados dos testes de coleta de dados

Coletaram-se 134.875 dados em dois dias (38 horas de coleta, 1 coleta por segundo), para avaliar a confiabilidade do sensor e da regra de descarte de dados não confiáveis. Com a estrutura de dados projetada, estes registros ocupam menos de 15 MB de espaço em disco (aproximadamente 5 MB para dados mais 2 MB para índices na coluna *sd\_id* e *sd\_sen\_id*, mais 1,6 MB para o índice composto por *sd\_sen\_id* e *sd\_data*). A estrutura de dados é apresentada na Tabela 5. O tamanho em bytes dos tipos de campo são definidos pelo grupo de desenvolvimento e manutenção do PostgreSQL [93][94].

**Tabela 5:** Estrutura de dados da tabela sensor\_data

Coluna	Tipo	Tamanho (bytes)
sd_id	integer	4
sd_data	timestamp with timezone	8
sd_sen_id	integer	4
sd_valor	double precision	8
sd_origem	integer	4
sd_mediamovel	double precision	8
Tamanho do registro		36

Após processamento, identificou-se que o sensor ultrassônico utilizado enviou 150 registros que foram descartados pela regra definida na função de gerenciamento (variação de medição maior que o desvio máximo configurado para a unidade de tempo), ou seja, 0,18 % de descarte. Mais de 98% dos dados descartados tiveram variação muito superior ao parametrizado (alterações de mais de 200% em relação ao último dado coletado), além de ocorrer quando a altura do córrego estava próxima à capacidade mínima do mesmo (ou seja, quanto menos água no córrego, maior a chance de falha na coleta do sensor utilizado).

Configuraram-se como parâmetros de alerta no sistema de notificação:

- (a) Estado Normal: até 69% da altura do córrego (verde);
- (b) Estado de Atenção: entre 70 e 79% da altura do córrego (amarelo);
- (c) Estado de Alerta: entre 80 e 89% da altura do córrego (laranja);
- (d) Estado de Emergência: entre 90% e 99% da altura do córrego (vermelho);
- (e) Estado de Extravasamento: igual ou maior que 100% da altura do córrego (preto).

O aplicativo móvel de acompanhamento efetuou 100 requisições de dados ao servidor e o tempo médio para consulta do dado e disponibilização no servidor foi de 0,003 segundos. Não foi medido o tempo total de acesso ao dado, pois a taxa de transmissão contratada no dispositivo móvel interfere no tempo global. Ainda assim, nenhuma consulta demorou mais que 5 segundos para ser

apresentada no aplicativo. Assim, pode-se concluir que o tempo para disponibilizar a informação situacional do local do córrego monitorado é aceitável.

## 5.4 Teste de capacidade da infraestrutura

Para verificar a viabilidade de baixo custo, foram configurados serviços com valor total mensal inferior a Us\$ 30. Estes serviços foram utilizados pois possuem a menor configuração de contratação com garantia de disponibilidade. A configuração viabilizada neste custo é composta por:

- (a) 2 (dois) servidores virtuais com 1 (um) processador e 512 MB de memória, com a distribuição das requisições gerenciada pelo provedor (IBM Bluemix), com o serviço IBM Liberty for Java para execução do sistema supervisorio desenvolvido;
- (b) 1 instância do banco de dados PostgreSQL, limitado a 20 conexões simultâneas e 2 GB de armazenagem.

Para avaliar a capacidade da infraestrutura preparada para a emulação, efetuou-se teste de carga com a ferramenta Apache JMeter [95], aplicação *OpenSource* para teste de desempenho de sistemas.

Como o protocolo HTTP é utilizado para comunicação pelo sistema supervisorio para receber dados dos sensores e disponibilizar dados para a interface de monitoramento web e dispositivos móveis, foram definidas *threads* (ou subprocessos) para simular a utilização do sistema.

Para executar o teste com a ferramenta, é necessário configurar os elementos de controle. Os principais elementos de controle são:

- (a) a quantidade de threads (ou processos simultâneos) que serão utilizados;
- (b) a quantidade de ciclos do teste.



Inicialmente, configurou-se a ferramenta para simular o envio simultâneo de dados de 10 sensores, com intervalo de 5 segundos entre os envios de cada sensor, 30 vezes (2,5 minutos). A Figura 22 apresenta a configuração do processo. As Figuras 23 e 24 apresentam a configuração do subprocesso de inclusão de dados de um sensor. A Figura 25 apresenta tabela com resultados consolidados do teste. A Figura 26 apresenta o gráfico de tempo médio de resposta do teste (verde) e valor máximo para 90% das amostras (amarelo). A Figura 27 apresenta os dados na interface de monitoramento Web e a Figura 28, a interface Web simplificada para acesso via dispositivos móveis.

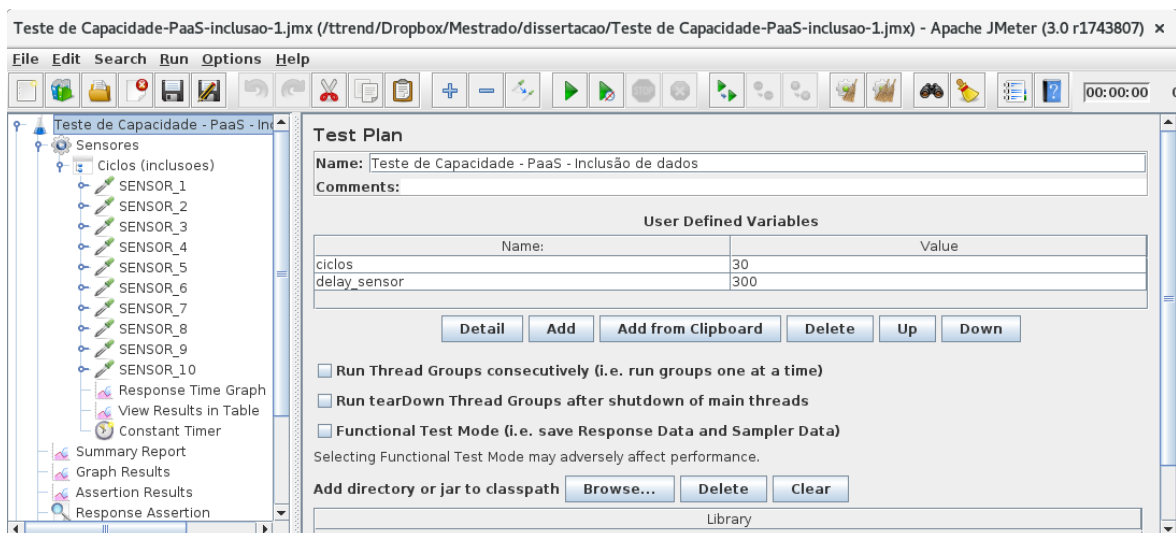


Figura 22: Configuração de teste para inclusão de dados de 10 sensores.

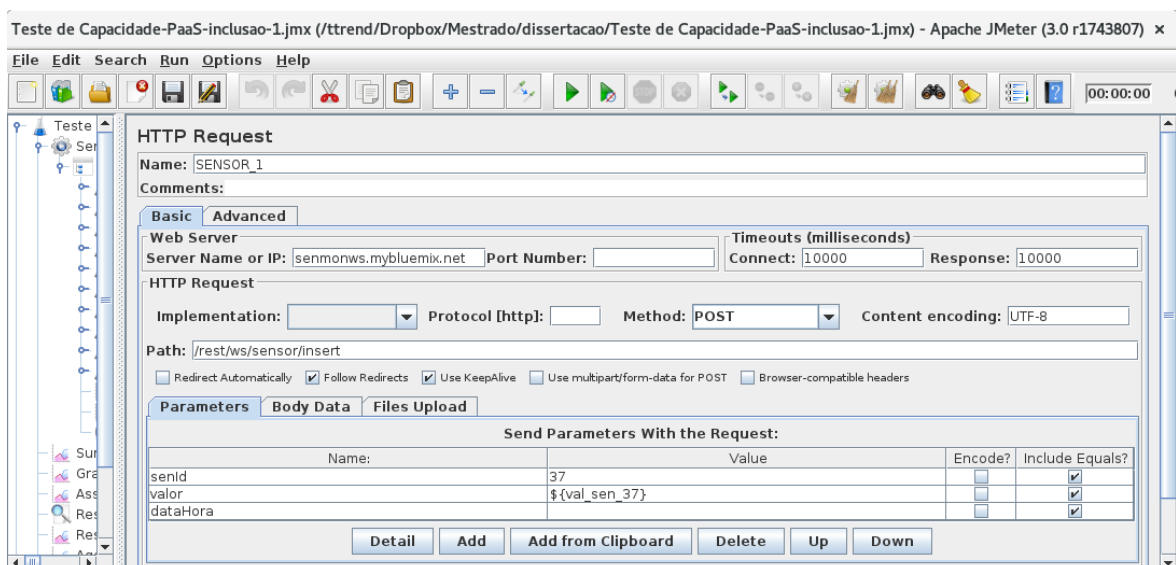


Figura 23: Configuração do subprocesso de inclusão de dados.

**Random Variable**

Name: Valor do Sensor 37

Comments:

Output variable

Variable Name: val\_sen\_37

Output Format: ###

Configure the Random generator

Minimum Value: 20

Maximum Value: 30

Seed for Random function:

Options

Per Thread(User)?: False

Figura 24: Parametrização dos valores aleatórios de um sensor.

Teste de Capacidade-PaaS-inclusao-1.jmx (/ttrend/Dropbox/Mestrado/dissertacao/Teste de Capacidade-PaaS-inclusao-1.jmx) - Apache JMeter (3.0 r1743807) x

File Edit Search Run Options Help

Summary Report

Name: Summary Report

Comments:

Write results to file / Read from file

Filename:  Browse... Log/Display Only:  Errors  Successes

Label	# Samples	Average	Min	Max	Std. Dev.	Error %	KB/sec	Avg. Bytes	Throughput
SENSOR_1	31	179	155	409	50.16	0.00%	0.12	569.1	12.7/min
SENSOR_2	31	184	158	460	58.08	0.00%	0.12	569.2	12.7/min
SENSOR_3	31	179	157	513	63.39	0.00%	0.12	569.1	12.7/min
SENSOR_4	31	227	158	718	141.37	0.00%	0.12	569.3	12.7/min
SENSOR_5	31	179	157	372	45.41	0.00%	0.12	569.2	12.7/min
SENSOR_6	31	184	158	499	68.61	0.00%	0.12	569.2	12.7/min
SENSOR_7	31	203	41	1273	197.28	3.23%	0.13	635.6	12.7/min
SENSOR_8	30	187	157	608	81.23	0.00%	0.12	569.1	12.7/min
SENSOR_9	30	173	156	303	34.19	0.00%	0.12	569.2	12.7/min
SENSOR_10	30	179	158	350	44.01	0.00%	0.12	569.1	12.7/min
TOTAL	307	188	41	1273	93.90	0.33%	1.15	575.9	2.0/sec

Include group name in label?   Save Table Header

Figura 25: Resultados consolidados do teste (inclusão de dado de sensor).

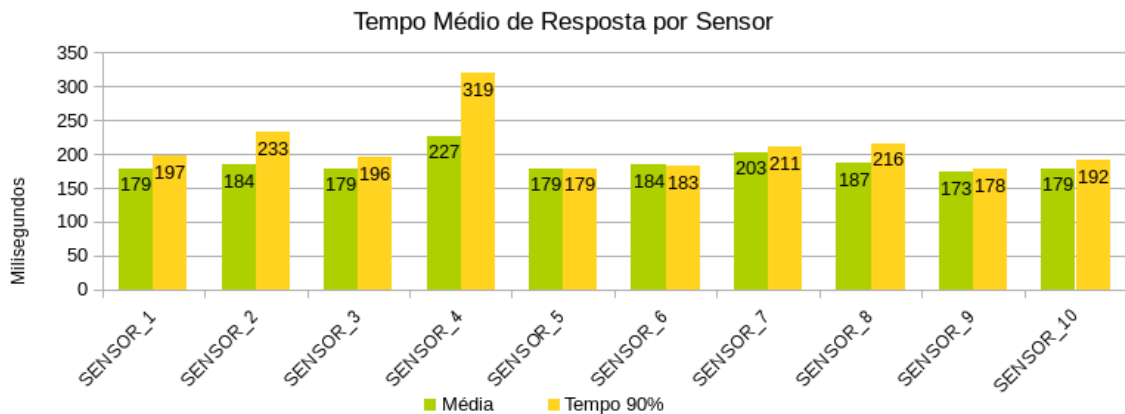
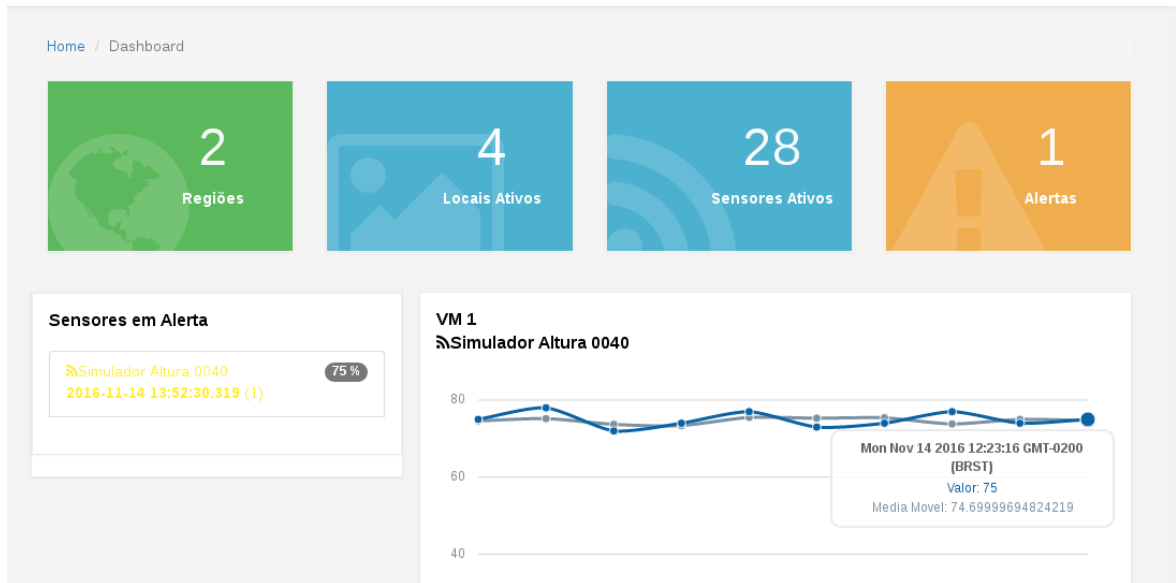


Figura 26: Tempo Médio (todas amostras) e Máximo de 90% das amostras.



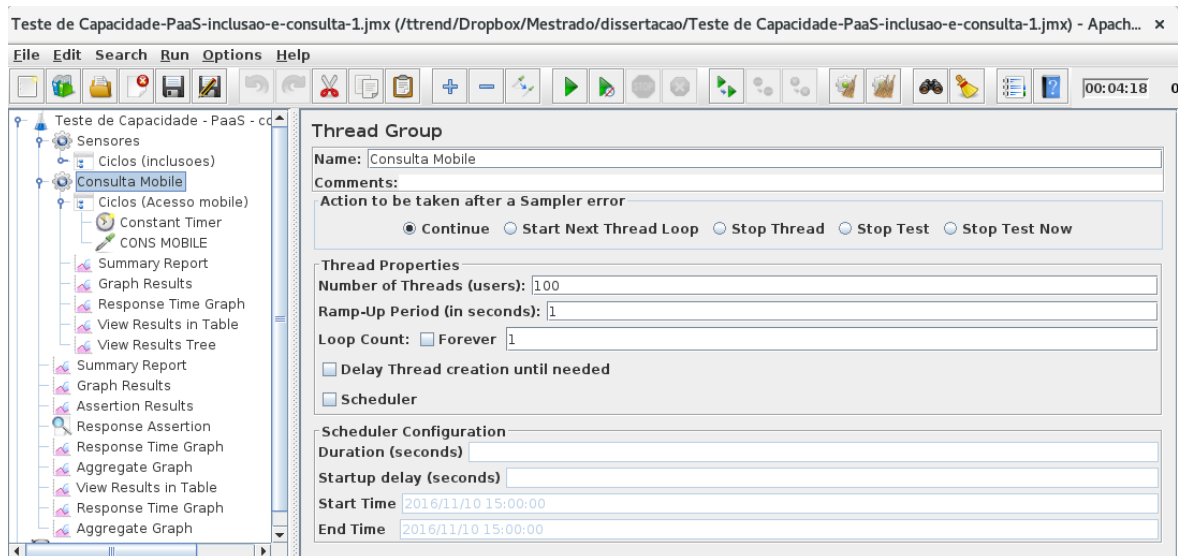
**Figura 27:** Interface de monitoramento Web.



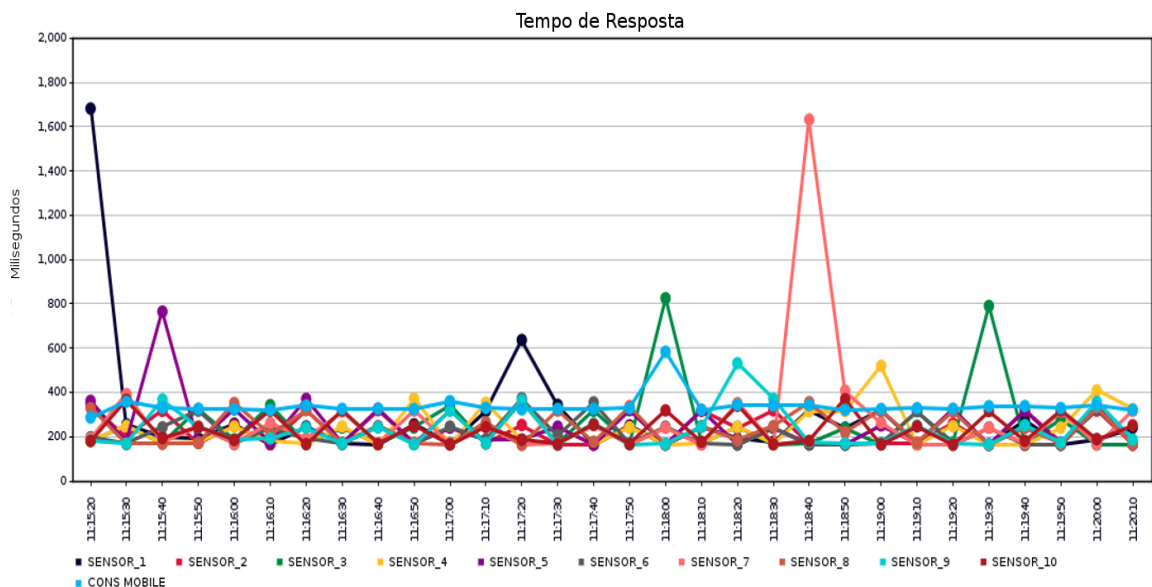
**Figura 28:** Interface simplificada Web para dispositivos móveis.

Verifica-se por meio dos dados consolidados que o tempo médio de resposta está próximo a 188 ms, e que 90% das amostras possuem tempo de resposta inferior a 319 ms. Considerando que os sensores enviam dados em ciclos de 5 segundos (ou 5.000 ms), o tempo médio de resposta representa 3,76% do tempo do ciclo ( $188 : 5000$ ), e o tempo limite de 90% das amostras representa 6,38% do tempo do ciclo ( $319 : 5000$ ). Conclui-se que, dentro do ciclo de 5 segundos, o tempo de resposta é bem aceitável, pois menos de 10% do ciclo de tempo de coleta é necessário para o envio e confirmação do processamento do dado coletado.

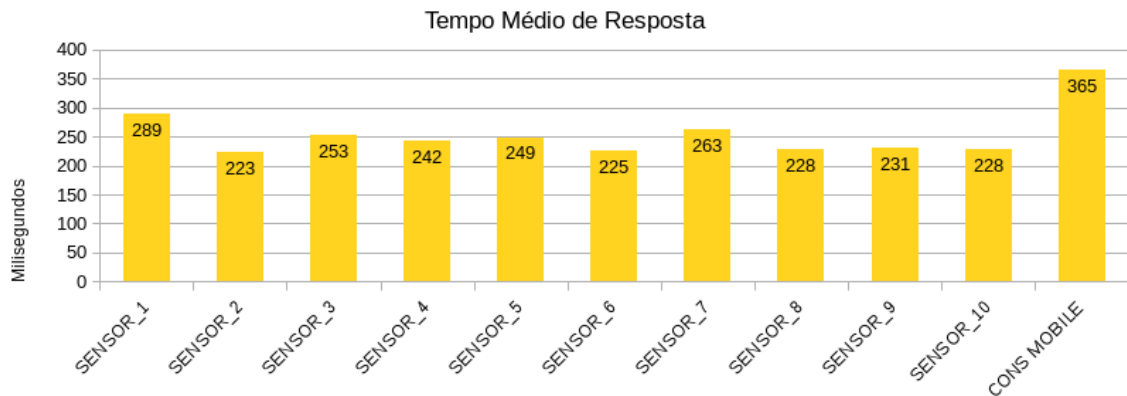
Após avaliação, configurou-se a ferramenta para simular, além do envio de dados, o acesso ao estado dos sensores efetuada pelos dispositivos móveis e interface Web. Em primeira simulação, considerou-se solicitação simultânea de 100 dispositivos, com intervalo de tempo de 10 segundos entre cada solicitação, por 5 minutos. A Figura 29 apresenta a configuração do subprocesso de consulta e na Figura 30, o tempo de resposta da nova simulação.



**Figura 29:** Configuração subprocesso consulta de dados para dispositivo móvel.



**Figura 30:** Tempo de resposta considerando 100 consultas mobile, em milissegundos.

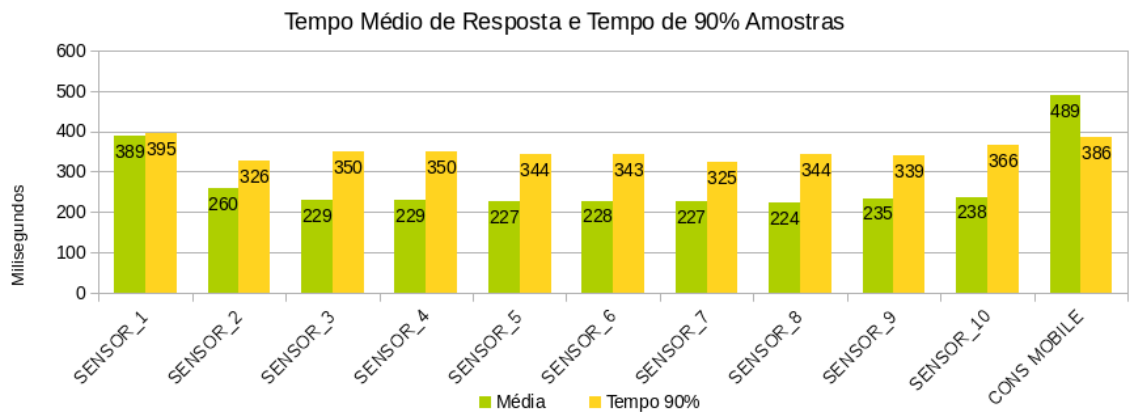


**Figura 31:** Tempo médio de resposta por elemento da simulação, em milissegundos.

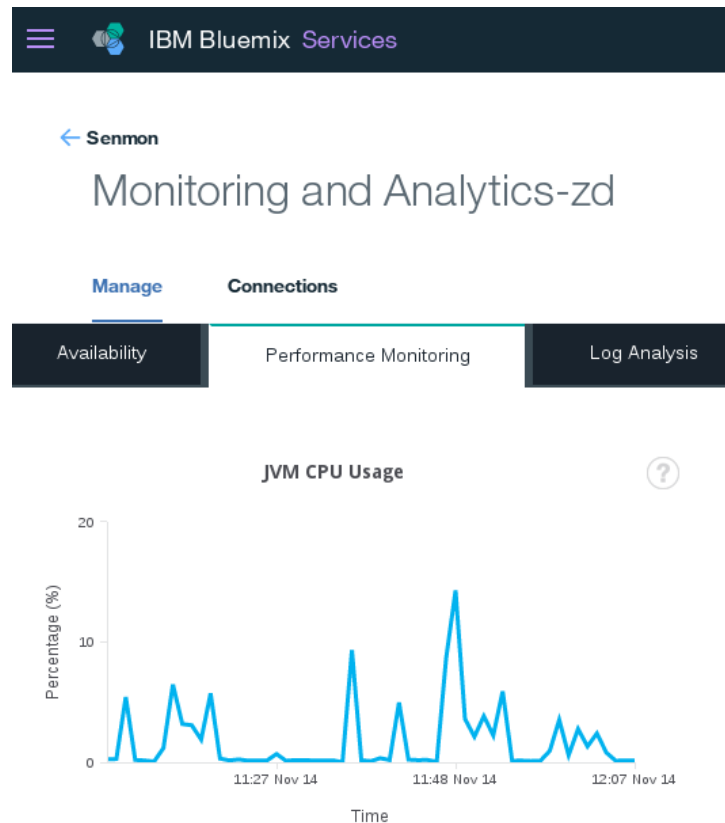
Verifica-se na Figura 31 que o tempo médio das consultas dos dispositivos móveis é de 365 ms, enquanto o tempo de inclusão de dados está em 243 ms, ou seja, em relação à simulação anterior (apenas inclusão de dados), o tempo médio da inclusão aumentou em 55 ms (ou 29%) e representa 4,86% do tempo do ciclo de 5 segundos. Desta forma, este tempo continua aceitável. Já os 365 ms de tempo médio para a consulta simulada de dispositivos móveis representam 3,65% do ciclo de tempo de atualização de dados, que é de 10 segundos. Desta forma, conclui-se que a infraestrutura atendeu a situação simulada.

Uma terceira simulação foi executada considerando 500 dispositivos móveis efetuando acesso. A Figura 32 apresenta o tempo médio após 5 minutos de simulação. Verifica-se que o tempo médio das consultas subiu para 489 ms, com 90% dos casos com tempo inferior a 386 ms. Considerando o ciclo de 10 segundos entre as consultas do dispositivo móvel, o tempo médio representa 4,89% do intervalo. Conclui-se que a infraestrutura atende a situação simulada.

A Figura 33 apresenta a variação da utilização de CPU no servidor durante o período, chegando próximo a 20% da capacidade. Como a capacidade contratada ficou com 80% de ociosidade para atender as situações simuladas, conclui-se que as simulações foram plenamente atendidas nesta infraestrutura.



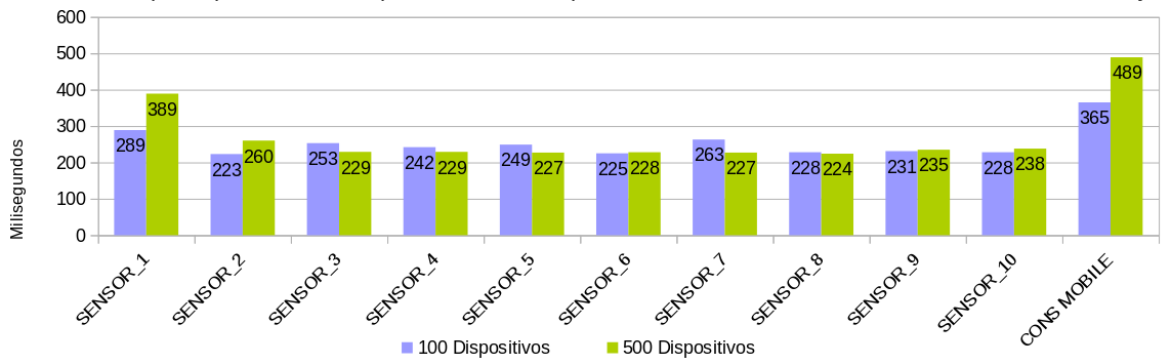
**Figura 32:** Tempo médio de resposta por elemento da simulação (500 dispositivos consultando).



**Figura 33:** Percentual de uso da CPU do servidor.

Verifica-se na Figura 34 que a diferença do tempo médio de inclusão de dados, quando comparamos os cenários de 100 e 500 dispositivos móveis fazendo consultas, é, em oito dos dez sensores, inferior a 10%. Já a diferença do tempo de resposta da consulta aumentou em 33,9%. Como os tempos são aceitáveis dentro dos cenários trabalhados e considerando que o processamento máximo do servidor alcançou menos de 20%, definir um modelo para extrapolação dos dados será considerado um trabalho futuro.

Média de tempo de processamento para 100 e 500 dispositivos móveis consultando simultaneamente o serviço



**Figura 34:** Comparação de cenários: 100 e 500 dispositivos móveis.

A utilização da API do GoogleMaps simplificou a visualização dos pontos de risco ou incidente na plataforma, como pode ser avaliado na Figura 36, com a tela capturada.

Além da identificação visual dos pontos de alerta, é possível acompanhar graficamente a evolução dos dados coletados em um determinado sensor. Neste caso, apresentam-se duas curvas: uma com o valor das últimas 10 medições e outra com a média móvel das últimas 10 medições. O propósito da média móvel é auxiliar visualmente o entendimento da tendência da evolução dos dados coletados. A Figura 35 apresenta o gráfico citado anteriormente.

O acompanhamento por meio de aplicativo em dispositivo móvel desenvolvido é apresentado na Figura 37.



**Figura 35:** Gráfico com evolução dos dados medidos.

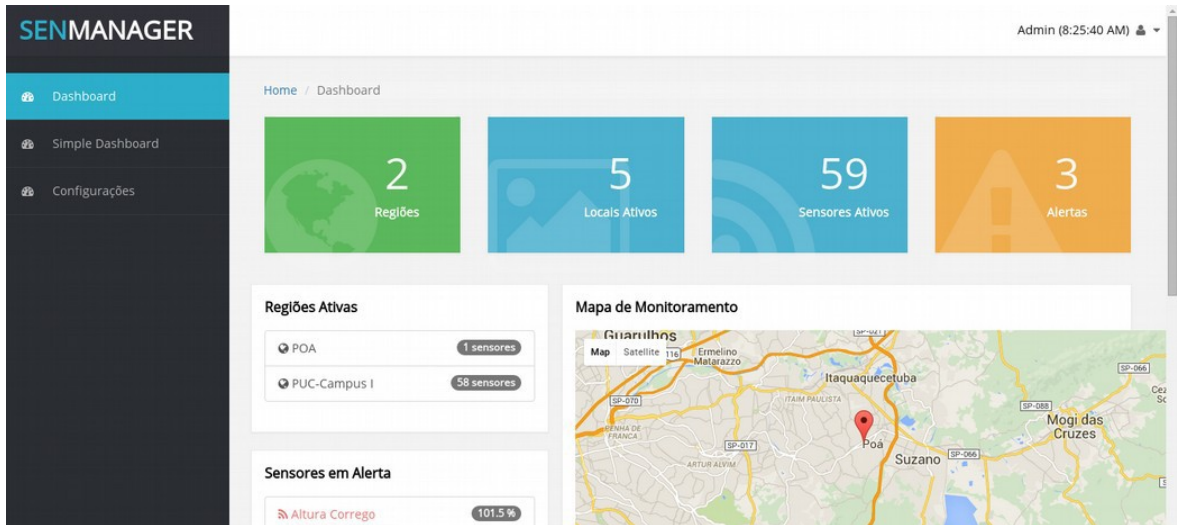


Figura 36: Dashboard Web integrado com GoogleMaps API.

13:24:50

### Sensores@SenManager

 <b>Altura Corrego</b> 2017-02-04 13:24:21.895 (3)	<b>105 %</b>
 <b>Temperatura Ambiente</b> 2017-02-04 13:24:23.437 (0)	<b>24 °C</b>

Ver Sensores em Alerta

Figura 37: Acompanhamento em aplicativo móvel desenvolvido

## 5.5 Discussão sobre os testes de validação

O objetivo da simulação era verificar a capacidade de processamento do algoritmo de avaliação de dados proposto em estrutura de nuvem de baixo



custo; confirmar o tempo de resposta do serviço de notificação móvel e avaliar a viabilidade operacional da interface de monitoramento web.

O tempo para processamento e atualização das variáveis estatísticas de cada sensor simulado foi, na média, de 243 ms. O tempo de consulta dos sensores com situação de alerta foi, na simulação de 500 dispositivos móveis, na média, de 489 ms. Ambos os tempos são aceitáveis dentro dos intervalos definidos para coleta e consulta de dados (5 e 10 segundos, respectivamente).

Considerando a possibilidade de calibração do sensor e da aplicação quanto aos níveis de alerta, a quantidade de dados descartados, e os tempos de disponibilização de informação, confirma-se que os resultados são adequados quando avaliado em conjunto com o valor total do investimento (no caso da emulação, inferior a Us\$ 100,00 em equipamentos e mensalidade inferior a Us\$ 30,00 para os servidores virtualizados).

## CONCLUSÃO

O crescimento do acesso à Internet por pessoas de todas as classes sociais em dispositivos móveis, exige que os gestores públicos, cada vez mais, apresentem soluções para os problemas da cidade de forma eficiente e transparente.

A organização de serviços para Cidades Inteligentes é temática complexa e sempre deve ser direcionada para objetivos de médio e longo prazo. Mitigar os riscos de desastres ambientais necessita planejamento urbanístico complexo e execução de obras urbanas de grande porte.

Enquanto a execução de obras importantes não é concluída (medidas estruturantes), a defesa civil tem importante atividade na gerência de riscos, buscando preservar vidas e recursos nas cidades. Para isso, precisa monitorar dados específicos de condições de risco em locais relevantes da cidade, para auxiliar na tomada de decisões. Com o advento da Internet das Coisas, o custo de sensoriamento está diminuindo e o desenvolvimento de soluções de baixo custo para gestão de dados coletados é uma realidade.

Este trabalho propôs avaliar a viabilidade de uso de infraestrutura de nuvem de baixo custo para suportar a integração entre rede de sensores, sistema supervisorio para monitoramento dos sensores e sistema de notificação para dispositivos móveis, que possa auxiliar no processo decisório de gestores públicos envolvidos na mitigação de riscos de enchentes, e também a população interessada em acompanhar, em tempo real, o risco de enchente de uma localidade monitorada.

Os resultados obtidos demonstram que é possível estruturar serviço de gerência de dados com arquitetura Internet de baixo custo de implementação e operação (CapEx e OpEx) [96], abrindo a perspectiva para investimento em monitoramento de variáveis ambientais em pequenos e médios municípios, para gerência de riscos de desastres ambientais.

## Trabalhos futuros

A possibilidade de coleta massiva de dados cria oportunidade para trabalhos de mineração de dados ou *BigData*, para análise de tendências e antecipação de fatos. Por exemplo, consolidando dados de vários sensores pluviométricos e de nível de córrego, é possível pensar em algoritmos para calcular tempo previsto de extravasamento.

Outra possibilidade é a integração da comunidade na análise dos riscos e impactos, por meio de aplicativos que enviem dados textuais ou de imagens para a base de dados, que possam colaborar com o trabalho dos analistas de riscos.

O desenvolvimento de soluções para gerência de risco integrada com a comunidade é o caminho que pode, em prazo inferior à execução de obras urbanas estruturantes, salvar vidas e recursos nas cidades.

## REFERÊNCIAS

- [1] RIEBEEK, H. Global Warming. NASA Earth Observatory, 2010. Available from: <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/GlobalWarming/printall.php>> Cited: 08 ago. 2016.
- [2] Brasil, Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil, & Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Anuário brasileiro de desastres naturais: 2012. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/defesacivil/publicacoes>>. Acesso em: 05 mar. 2015.
- [3] Brasil, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, CEMADEN. Apresentação institucional do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. 2012. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/cemadenarquivos/IIIrtdocemaden/III%20RT%20-%20Cemaden%20%2002-04-2012.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2015.
- [4] BRASIL, Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 abril 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm)>. Acesso em: 05 mar. 2015.
- [5] ZANELLA, A.; BUI, N.; CASTELLANI, A.; VANGELISTA, L.; ZORZI, M. Internet of Things for Smart Cities. IEEE Internet Things J., vol. 1, nº 1, pp. 22–32, 2014.
- [6] IDC Brasil. Vendas de Smartphones no Brasil em 2.014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/tecnologia/noticia/2015/04/venda-de-smartphones-sobe-55-no-brasil-em-2014-diz-idc.html>>. Acesso em: 20 de maio, 2015.
- [7] Uso da Internet pelo celular cresce entre brasileiros. 2015. Disponível em: <<http://www.cgi.br/noticia/releases/uso-da-internet-pelo-celular-cresce-entre-os-brasileiros-revela-cetic-br/>>. Acesso em: 30 set. 2015.
- [8] NAM, T.; PARDO, T. A. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times. ACM, 2011. p. 282-291.
- [9] Brasil, Ministério das Comunicações. Portaria nº 376, de 19 de agosto de 2011. Institui o Projeto de Implantação e Manutenção das Cidades Digitais. Diário Oficial da União, Brasília, 22 agosto 2011. Disponível em: <<http://www.mc.gov.br/portarias/24155-portaria-n-376-de-19-de-agosto-de-2011-com-alteracoes>>. Acesso em: 10 mar. 2015.
- [10] PECHOTO, M. M.; UEYAMA, J.; ALBUQUERQUE, J. P. E-noé: Rede de sensores sem fio para monitorar rios urbanos. Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, USP – São Carlos – SP. Disponível em: <<http://www.icmc.usp.br/~jporto/papers/Pechoto%20et%20al.%20eNOE.pdf>>. Acesso em: 18 de maio, 2015.
- [11] LEE, J.; KIM, J., KIM, D.; CHONG, P. K.; KIM, J.; JANG, P. RFMS: Real-time Flood Monitoring System with wireless sensor networks. 2008 5th IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems, Atlanta, GA, 2008, pp. 527-528.
- [12] CASTILLO-EFFER, M.; QUINTELA, D. H.; MORENO, W.; JORDAN, R.; WESTHOFF, W. Wireless sensor networks for flash-flood alerting. *Devices, Circuits and Systems, 2004. Proceedings of the Fifth IEEE International Caracas Conference on*, 2004, pp. 142-146.
- [13] JHA, A. K.; BLOCH, R.; LAMOND, J. Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century. World Bank Publications, 2012.
- [14] WATSON, D.; ADAMS, M. Design for Flooding: architecture, landscape, and urban design for resilience to climate change. John Wiley & Sons, 2010.

- [15] Dinicola, K. 1996. The "100-Year Flood – USGS Fact sheet 229-96". US Geological Survey (USGS). Available from: <[http://pubs.usgs.gov/fs/FS-229-96/pdf/FS\\_229-96.pdf](http://pubs.usgs.gov/fs/FS-229-96/pdf/FS_229-96.pdf)>. Cited: 10 novembro 2016.
- [16] KLEMES, V. "The improbable probabilities of extreme floods and droughts." Hydrology of Disasters: Proceedings of the World Meteorological Organization Technical Conference Held in Geneva, November 1988. Routledge, 2014.
- [17] UNISDR Annual Report 2014-2015. Available from: <[http://www.unisdr.org/files/42667\\_unisdrannualreport2014.pdf](http://www.unisdr.org/files/42667_unisdrannualreport2014.pdf)>. Cited: 10 novembro 2016.
- [18] MERZ, B., KREIBICH, H., SCHWARZE, R., & THIEKEN, A. Assessment of economic flood damage. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 10, n. 8, p. 1697-1724, 2010.
- [19] DYNES, R. R.; QUARANTELLI, E. L. The role of local civil defense in disaster planning. 1975.
- [20] Brasil, Casa Civil. Decreto 5.376, de 17 de fevereiro de 2005. Dispões sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil – SINDEC e o Conselho Nacional de Defesa Civil. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5376.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5376.htm)>. Acesso em: 23 jun. 2015.
- [21] JENKINS, L. Selecting scenarios for environmental disaster planning. *European Journal of Operational Research*, v. 121, n. 2, p. 275-286, 2000.
- [22] PERRY, R. W.; LINDELL, M. K. Preparedness for emergency response: guidelines for the emergency planning process. *Disasters*, v. 27, n. 4, p. 336-350, 2003.
- [23] SMITH, K. *Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster*. Routledge, 2013.
- [24] Campinas. Decreto 17.202, de 26 de novembro de 2010. Dispõe Sobre A Criação Da Operação Verão De 2010/2011, Do Sistema Municipal De Defesa Civil E Outros Órgãos Da Administração Pública, E Dá Outras Providências. Disponível em: <[http://www.campinas.sp.gov.br/governo/seguranca-publica/defesa-civil/municipal\\_decreto\\_17202\\_26\\_novembro\\_2010.pdf](http://www.campinas.sp.gov.br/governo/seguranca-publica/defesa-civil/municipal_decreto_17202_26_novembro_2010.pdf)>. Acesso em: 08 set. 2016.
- [25] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). *World Population Prospects: The 2015 Revision, Volume II: Demographic Profiles*. Available from: <[https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2015\\_Volume-II-Demographic-Profiles.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2015_Volume-II-Demographic-Profiles.pdf)>. Cited: 03 outubro 2016.
- [26] CHOURABI, H.; NAM, T.; WALKER, S.; GIL-GARCIA, J. R.; MELLOULI, S.; NAHON, K.; SCHOLL, H. J. Understanding smart cities: An integrative framework. *System Science (HICSS)*, 2012 45th Hawaii International Conference on. IEEE, 2012. p. 2289-2297.
- [27] SCHAFFERS, H.; KOMNINOS, N.; PALLOT, M.; TROUSSE, B.; NILSSON, M.; OLIVEIRA, A. Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation. *The Future Internet, Lect. Notes Comput. Sci.*, vol. 6656, pp. 431–446, 2011.
- [28] European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities (EIP-SCC). Disponível em: <<https://eu-smartcities.eu>>. Acesso em: 18 de maio, 2015.
- [29] ALAWADHI, S.; ALDAMA-NALDA, A.; CHOURABI, H.; GIL-GARCIA, J. R.; LEUNG, S.; MELLOULI, S.; WALKER, S. Building understanding of smart city initiatives. *International Conference on Electronic Government*. Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 40-53.
- [30] MAHIZHNAN, A. Smart cities: The singapore case. *Cities*, v. 16, n. 1, p. 13-18, 1999.
- [31] BAKICI, T.; ALMIRALL, E.; WAREHAM, J. A smart city initiative: the case of Barcelona. *Journal of the Knowledge Economy*, v. 4, n. 2, p. 135-148, 2013.
- [32] DATTA, Ayona. A 100 smart cities, a 100 utopias. *Dialogues in Human Geography*, v. 5, n. 1, p. 49-53, 2015.
- [33] VILACA, N. M., FIGUEIREDO, V. N., DE OLIVEIRA, L. B., FERREIRA, V. H., FORTES, M. Z., CORREIA, W. F., & PACHECO, O. L. SMART CITY– CASO DA IMPLANTAÇÃO EM BUZIOS-RJ. *Revista SODEBRAS*, v. 9, p. 16-22, 2014.

- [34] KÜHNE, P.; HAUER, I.; STYCZYNSKI, Z. A.; FERNANDES, R.; VALE, Z. Smart Grid Communication Technologies in the Brazilian Electrical Sector. First ELECON Workshop–Towards Efficient European and Brazilian Electricity Markets, p. 19. ELECON. 2013.
- [35] DI SANTO, K. G.; KANASHIRO, E.; DI SANTO, S. G.; SAIDEL, M. A. A review on smart grids and experiences in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 52, p. 1072-1082. 2015.
- [36] LARA, A. P.; MOREIRA, E.; MARQUES, J. S. Projeto Florip@ 21: a construção de uma região inteligente na cidade de Florianópolis, Brasil. 2013.
- [37] JÚNIOR, J. G. R.; CAMPISTA, M. E. M.; COSTA, L. H. M. K. Monitoramento Colaborativo de Trânsito utilizando Redes IEEE 802.11 em Cidades Inteligentes. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 200
- [38] BOTH, G. C.; HAETINGER, C.; FERREIRA, E. R.; DIEDRICH, V. L.; FAY DE AZAMBUJA, J. L. Uso da modelagem matemática para a previsão de enchentes no Vale do Taquari–RS. *Anais do Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental [CD-ROM]*. 2008.
- [39] REIS, R.; SANTOS, L.; MATOS, J. Sistema de Alerta Contra Inundações Sensoriado (SAIS) para comunidades ribeirinhas no Amazonas como método de prevenção aos riscos das cheias. *Revista GeoNorte*, v. 5, n. 20, p. 476-480. 2016.
- [40] ZAMPOLLI, S.; ELMI, I.; AHMED, F.; PASSINI, M.; CARDINALI, G. C.; NICOLETTI, S.; DORI, L. An electronic nose based on solid state sensor arrays for low-cost indoor air quality monitoring applications. *Sensors and Actuators B: Chemical*, v. 101, n. 1, p. 39-46, 2004. APA
- [41] SON, B.; HER, Y.; KIM, J. A design and implementation of forest-fires surveillance system based on wireless sensor networks for South Korea mountains. *International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)*, v. 6, n. 9, p. 124-130, 2006.
- [42] CASTILLO-EFFER, M.; QUINTELA, D. H.; MORENO, W.; JORDAN, R.; WESTHOFF, W. Wireless sensor networks for flash-flood alerting. *Devices, Circuits and Systems*, 2004. Proceedings of the Fifth IEEE International Caracas Conference on. IEEE, 2004. p. 142-146.
- [43] CHIEN, S. I.; DING, Y.; WEI, C. Dynamic bus arrival time prediction with artificial neural networks. *Journal of Transportation Engineering*, v. 128, n. 5, p. 429-438, 2002.
- [44] HANNAN, M. A.; AREBEY, M.; BEGUM, R. A.; BASRI, H. Radio Frequency Identification (RFID) and communication technologies for solid waste bin and truck monitoring system. *Waste Management*, v. 31, n. 12, p. 2406-2413, 2011.
- [45] GOLDMAN, J.; SHILTON, K.; BURKE, J.; ESTRIN, D.; HANSEN, M.; RAMANATHAN, N.; WEST, R. Participatory Sensing: A citizen-powered approach to illuminating the patterns that shape our world. *Foresight & Governance Project, White Paper*, p. 1-15, 2009.
- [46] SCHAFFERS, H.; KOMNINOS, N.; PALLOT, M.; TROUSSE, B.; NILSSON, M.; OLIVEIRA, A. Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation. *The Future Internet Assembly*. Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 431-446.
- [47] PELLICER, S.; SANTA, G.; BLEDA, A. L.; MAESTRE, R.; JARA, A. J.; SKARMETA, A. G. A global perspective of smart cities: a survey. *Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS)*, 2013 Seventh International Conference on. IEEE, 2013. p. 439-444.
- [48] LEE, J. U.; KIM, J. E.; KIM, D.; CHONG, P. K.; KIM, J.; JANG, P. RFMS: Real-time Flood Monitoring System with wireless sensor networks. 2008 5th IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems. IEEE, 2008. p. 527-528.
- [49] NAM, T.; PARDO, T. A. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times*. ACM, 2011. p. 282-291.
- [50] Brasil, Ministério do Planejamento. Apresentação do Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais 2012-2014. 2012. Disponível em: <[http://www.planejamento.gov.br/apresentacoes/apresentacoes-2012/120808\\_plano\\_nac\\_risco\\_2.pdf](http://www.planejamento.gov.br/apresentacoes/apresentacoes-2012/120808_plano_nac_risco_2.pdf)>. Acesso em: 18 de maio, 2015.

- [51] Brasil, Agência Nacional de Telecomunicações. Plano Nacional de Banda Larga. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/setorregulado/index.php/plano-nacional-de-banda-larga>>. Acesso em: 10 fev. 2017.
- [52] Brasil, Ministério das Comunicações. Portaria 1.420, de 8 de outubro de 2014. Cria a Câmara de Gestão e Acompanhamento do Desenvolvimento de Sistemas de Comunicação Máquina a Máquina. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 de outubro de 2014. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/servlet/INPDFViewer?jornal=1&pagina=55&data=09/10/2014&captchafield=fristAccess>>. Acesso em 10 fev. 2017.
- [53] Brasil, Connected SmartCities 2015. Apresentação de Américo Bernardes, Diretor de Infraestrutura para Inclusão Digital do Ministério das Comunicações. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/ConnectedSmartCities/tecnologia-e-inovao-amrico-bernardes-diretor-de-infraestrutura-para-incluso-digital-do-ministrio-das-comunicaes/10>>. Acesso em 30 out. 2015.
- [54] ZANELLA, A.; BUI, N.; CASTELLANI, A.; VANGELISTA, L.; ZORZI, M. Internet of things for smart cities. IEEE Internet of Things Journal, v. 1, n. 1, p. 22-32, 2014.
- [55] PERERA, C.; ZASLAVSKY, A.; CHRISTEN, P.; GEORGAKOPOULOS, D. Sensing as a service model for smart cities supported by internet of things. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, v. 25, n. 1, p. 81-93, 2014.
- [56] Vendas de smartphones no Brasil caem em 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2015/12/vendas-de-smartphones-no-brasil-caem-mais-que-10-em-2015.html>>. Acesso em: 15 dez. 2015.
- [57] MEIRELLES, F. S. 27a Pesquisa anual do uso de TI. FGV-EAESP-GVcia, São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://eaesp.fgvsp.br/ensinoeconhecimento/centros/cia/pesquisa>>. Acesso em: 03 de maio, 2016.
- [58] MELL, P.; GRANCE, T. The NIST Definition of Cloud Computing Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. Natl. Inst. Stand. Technol. Inf. Technol. Lab., vol. 145, p. 7, 2011.
- [59] BEIMBORN, Daniel; MILETZKI, Thomas; WENZEL, Stefan. Platform as a service (PaaS). Business & Information Systems Engineering, v. 3, n. 6, p. 381-384, 2011.
- [60] JADEJA, Yashpalsinh; MODI, Kirit. Cloud computing-concepts, architecture and challenges. In: Computing, Electronics and Electrical Technologies (ICCEET), 2012 International Conference on. IEEE, 2012. p. 877-880.
- [61] MIORANDI, D., SICARI, S., DE PELLEGRINI, F., & CHLAMTAC, I. Internet of things: Vision, applications and research challenges. Ad Hoc Networks, v. 10, n. 7, p. 1497-1516. 2012.
- [62] CHEN12, M.; WAN, J.; LI, F. Machine-to-machine communications: architectures, standards and applications. 2012.
- [63] SCHILIT, B.; ADAMS, N.; WANT, R. Context-aware computing applications. Mobile Computing Systems and Applications, 1994. WMCSA 1994. First Workshop on. IEEE, 1994. p. 85-90.
- [64] Apple reinvents the phone with iPhone. Available from: <<http://www.apple.com/pr/library/2007/01/09Apple-Reinvents-the-Phone-with-iPhone.html>>. Cited: 23 jun. 2015.
- [65] Pesquisa anual de uso da Internet por crianças e adolescentes. 2015. Disponível em: <<http://www.cetic.br/noticia/cgi-br-divulga-pesquisa-mostrando-que-82-do-publico-jovem-faz-uso-da-internet-pelo-telefone-celular/>>. Acesso em: 10 ago. 2015.
- [66] Uso da Internet pelo celular cresce entre brasileiros. 2015. Disponível em: <<http://www.cgi.br/noticia/releases/uso-da-internet-pelo-celular-cresce-entre-os-brasileiros-revela-cetic-br/>>. Acesso em: 23 set. 2015.
- [67] Venda de smartphones no Brasil no 1o semestre de 2015. Disponível em: <<http://idgnow.com.br/mobilidade/2015/08/18/venda-de-smartphones-no-brasil-sobe-8-no-1o-semester-de-2015/>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

- [68] ISOTANI, S.; BITTENCOURT, I. I. Dados Abertos Conectados. Disponível em: <<http://ceweb.br/livros/dados-abertos-conectados/>>. Acesso em: 20 jan. 2016.
- [69] Brasil, Casa Civil. Lei 12.527, de 18 de novembro de 2011. Regula o acesso a informações (Lei do Acesso à Informação). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 de novembro de 2011. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2011/lei/l12527.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12527.htm)>. Acesso em: 15 fev. 2016.
- [70] W3C RDF Current Status. Disponível em: <[https://www.w3.org/standards/techs/rdf#w3c\\_all](https://www.w3.org/standards/techs/rdf#w3c_all)>. Acesso em: 22 fev. 2016.
- [71] W3C RDF Schema 1.1. Disponível em: <<https://www.w3.org/TR/2014/REC-rdf-schema-20140225/>>. Acesso em: 22 fev. 2016.
- [72] 5 Star Open Data. 2012. Disponível em: <<http://5stardata.info/pt-BR/>>. Acesso em: 22 fev. 2016.
- [73] POTTIE, G. J. Wireless sensor networks. Information Theory Workshop, 1998. IEEE, 1998. p. 139-140.
- [74] YICK, J.; Mukherjee, B.; Ghosal, D. Wireless sensor network survey. Comput. Networks, vol. 52, nº 12, pp. 2292–2330, 2008.
- [75] AKYILDIZ, I. F.; SU, W.; SANKARASUBRAMANIAM, Y.; Cayirci, E. A survey on sensor networks. IEEE communications magazine, v. 40, n. 8, p. 102-114, 2002.
- [76] FRANGOUDIS, P. A.; POLYZOS, G. C.; KEMERLIS, V. P. Wireless community networks: an alternative approach for nomadic broadband network access. IEEE Communications Magazine, v. 49, n. 5, p. 206-213, 2011.
- [77] WU, M. Y. Wi-Fi community area networks enable a connected community. Proc. IEEE 6th Circuits Syst. Symp. Emerg. Technol. Front. Mob. Wirel. Commun., vol. 2, pp. 671–674, 2004.
- [78] KHAN, A. M.; SELIMI, M.; FREITAG, F. Towards distributed architecture for collaborative cloud services in community networks. Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS), 2014 International Conference on. IEEE, 2014. p. 1-9.
- [79] Guifi.net Commons Telecommunications Network. Disponível em: <<http://guifi.net/>>. Acesso em: 03 mar. 2016.
- [80] STALLINGS, W. SNMP and SNMP v2: the infrastructure for network management. IEEE Commun. Mag., vol. 36, no March, pp. 37–43, 1998.
- [81] RAMAN, L. OSI systems and network management. IEEE Commun. Mag., vol. 36, no 3, pp. 46–53, 1998
- [82] PAUTASSO, C.; ZIMMERMANN, O.; LEYMAN, F. Restful web services vs. big'web services: making the right architectural decision. Proceedings of the 17th international conference on World Wide Web. ACM, 2008. p. 805-814.
- [83] RODRIGUEZ, D. S. S.; LEIRAS, A.; CARMO, L. F. R. R. S. Critérios de avaliação no desempenho de operações humanitárias para a fase de resposta ao desastre. Anais do XXXIV Congresso Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2014.
- [84] Verificador de arquivo RDF. Disponível em: <<https://www.w3.org/RDF/Validator/>>. Acesso em: 06 set. 2016.
- [85] RDF-Gravity: Gerador de gráfico a partir de arquivo RDF. Disponível em: <<http://semweb.salzburgresearch.at/apps/rdf-gravity/download.html>>. Acesso em: 06 set. 2016.
- [86] Arduino Uno Specs & Documentation. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em: 29 ago. 2016.
- [87] PAPAZOGLU, Mike P. Service-oriented computing: Concepts, characteristics and directions. In: Web Information Systems Engineering, 2003. WISE 2003. Proceedings of the Fourth International Conference on. IEEE, 2003. p. 3-12.



- [88] AGUIRRE, T. F. A.; CARDOSO, M. A. R.; MOTA, A. A.; MOTA, L. T. M.; BIANCHINI, D. Antecipação de Enchentes em Córregos Urbanos - emulação com sensores de baixo custo em cidades inteligentes. In: Antecipação de Enchentes em Córregos Urbanos - emulação com sensores de baixo custo em cidades inteligentes, 2015, Campinas. Anais, 2015.
- [89] Datasheet do Sensor ultrassônico HR-SR04. Disponível em: <<http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2015.
- [90] Datasheet do UartSBee v4. Disponível em: <[http://www.seeedstudio.com/wiki/UartSBee\\_V4](http://www.seeedstudio.com/wiki/UartSBee_V4)>. Acesso em: 23 set. 2015.
- [91] Datasheet do RFBee v1.1. Disponível em: <[http://www.seeedstudio.com/wiki/Rfbee\\_V1.1\\_-\\_Wireless\\_Arduino\\_compatible\\_node](http://www.seeedstudio.com/wiki/Rfbee_V1.1_-_Wireless_Arduino_compatible_node)>. Acesso em: 23 set. 2015.
- [92] FIELDING, R.; GETTYS, J.; MOGUL, J.; FRYSTYK, H.; MASINTER, L.; LEACH, P.; BERNERS-LEE, T. Hypertext transfer protocol--HTTP/1.1. 1999.
- [93] PostgreSQL – Documentação de tipos numéricos. Disponível em: <<https://www.postgresql.org/docs/9.3/static/datatype-numeric.html>>. Acesso em: 13 set. 2016.
- [94] PostgreSQL – Documentação de tipos data e hora. Disponível em: <<https://www.postgresql.org/docs/9.3/static/datatype-datetime.html>>. Acesso em: 13 set. 2016.
- [95] Projeto Apache JMeter. Disponível em: <<http://jmeter.apache.org/>>. Acesso em: 13 set. 2016.
- [96] VERBRUGGE, S.; COLLE, D.; PICKAVET, M.; DEMEESTER, P.; PASQUALINI, S.; ISELT, A.; JÄGER, M. Methodology and input availability parameters for calculating OpEx and CapEx costs for realistic network scenarios. Journal of Optical Networking, v. 5, n. 6, p. 509-520, 2006.

## APÊNDICE

### 1. Código do Webservice para inclusão de dados de um sensor

```

/**
 * Incluir medicao para sensor
 * @param senId id do sensor
 * @param valor valor a processar
 * @param dataHora data/hora da medicao
 * @return
 */
@POST
@Path("/sensor/insert")
public Response insertSensorData(@FormParam("senId") Integer senId,
                                @FormParam("valor") Float valor,
                                @FormParam("dataHora") String dataHora) {
    JSONObject ret = new JSONObject();
    SensorServices services = new SensorServices();
    try {
        Date ini = new Date();

        IdNomeValores atual = services.getAcumuladoUltimasMedicoes(senId, 10);

        // incluir dados e atualizar media movel
        Logger.info("Incluindo: [" + senId + "]" + valor + "[" + dataHora);
        atual = services.insertSensorData(senId, valor,
            ( dataHora == null || dataHora.isEmpty() ) ?
                ini : Conversor.textoParaDataHora(dataHora));

        // retorno sucesso
        Date fim = new Date();
        Long diff = fim.getTime() - ini.getTime();

        ret.put("msg", String.format("sucesso em %d ms", diff));
    } catch (Exception ex) {
        Logger.log("*** Erro incluindo dado para sensor ***", this.getClass());
        ex.printStackTrace();
        ret.put("msg", "falha");
    }

    JSONArray jsonArray = new JSONArray();
    jsonArray.put(ret);
    return retornaOpenAccess(jsonArray);
}

```

### 2. Código do Webservice para consultar dados de um sensor

```

@GET
@Path("/sensor/{param}/periodo/{ini}/{fim}")
public Response getMedicoesPeriodo(@PathParam("param") Integer senId,
                                   @PathParam("ini") String ini,
                                   @PathParam("fim") String fim){
    SensorServices services = new SensorServices();
    List<SensorData> alLista = services.listaMedicoesPeriodo(senId,
        Conversor.textoParaData(ini, "yyyyMMddHHmmss"),
        Conversor.textoParaData(fim, "yyyyMMddHHmmss") );
    JSONArray jsonArray = Conversor.listSensorDataToJSON(alLista);
    return retornaOpenAccess(jsonArray);
}

```

### 3. Código do Webservice para consultar sensores em estado de alerta

```
@GET
@Path("/alerta/sensores")
public Response getSensoresEmAlerta(){
    SensorServices services = new SensorServices();
    List<SensorInfo> allista = services.listaSensoresEmAlerta(null, null);
    JSONArray jsonArray = Conversor.listSensorToJSON(allista);
    return retornaOpenAccess(jsonArray);
}
```

### 4. Código do serviço que recupera sensores em estado de alerta, utilizado pelo Webservice *getSensoresEmAlerta*

```
/**
 * Sensores em alerta
 * @param regld regiao
 * @param loclid local
 * @return
 */
public List<SensorInfo> listaSensoresEmAlerta(Integer regld, Integer loclid) {
    List<SensorInfo> allista = null;
    long ini = new Date().getTime();

    if ( DataHolder.isAlertaAtualizado() ) {
        // verifica disponibilidade de dados em SingleTon, para reduzir acesso ao BD
        allista = DataHolder.getSensorEmAlerta();
    } else {
        try {
            SensorDAO dao = new SensorDAO();
            if (dao.conecta()) {
                allista = dao.listaSensoresEmAlerta(regld, loclid);
                dao.desconecta();
                DataHolder.atualizaSensorAlerta(allista);
            } else {
                Logger.log("Nao conectou...", this);
            }
        } catch (Exception ex) {
            Logger.log(ex.getMessage(), this);
            ex.printStackTrace();
        }
    }

    // gera log de tempo de processamento no servidor
    long tempo = (new java.util.Date().getTime()) - ini;
    new ResponseTimeLogger(ResponseTimeLogger.ALERT, tempo);

    return allista;
}
```

### 5. Código do SingleTon que mantém dados dos sensores em alerta atualizado, para diminuir acesso ao banco de dados

```
package com.senmon;
import com.senmon.bean.SensorData;
import com.senmon.bean.SensorInfo;

import java.util.ArrayList;
import java.util.Date;
import java.util.HashMap;
import java.util.List;

public class DataHolder {
    private static DataHolder ourInstance = new DataHolder();

    private static HashMap<Integer, List<Float>> sensorData;
    private static Date atualizacaoAlerta ;
    private static List<SensorInfo> sensorAlerta;

    private static final long TEMPO_MS_ALERTA = 10000;

    public static DataHolder getInstance() {
```

```

    return ourInstance;
}

private DataHolder() {

    sensorData = new HashMap<Integer, List<Float>>();
    atualizacaoAlerta = new java.util.Date();
    sensorAlerta = new ArrayList<SensorInfo>();

}

public static void atualizaSensorAlerta(List<SensorInfo> lista){
    sensorAlerta.clear();
    sensorAlerta.addAll(lista);
    atualizacaoAlerta = new java.util.Date();
}

public static boolean isAlertaAtualizado(){
    return ((new java.util.Date().getTime() - atualizacaoAlerta.getTime())> TEMPO_MS_ALERTA) ;
}

public static List<SensorInfo> getSensorEmAlerta(){
    return sensorAlerta;
}

public static void addItem(Integer key, Float value){
    if ( sensorData.containsKey(key) ) {
        sensorData.get(key).add(value);
    } else {
        List<Float> l = new ArrayList<Float>();
        l.add(value);
        sensorData.put(key, l);
    }
    // mantem apenas ultimos 10 elementos
    while ( sensorData.get(key).size() > 10 ) {
        sensorData.get(key).remove(0);
    }
}

public static void addLista(Integer key, List<SensorData> lista){
    if ( lista != null && !lista.isEmpty() ){
        for (int i = 0; i < lista.size(); i++) {
            addItem(key, lista.get(i).getValor());
        }
    }
}

public static List<Float> getValues(Integer key){
    if ( sensorData.containsKey(key))
        return sensorData.get(key);

    return null;
}
}

```

## 6. Código HTML para acesso por dispositivos móveis, via Web, de visão simplificada de sensores em alerta

```

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
    <meta charset="UTF-8">
    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0" />
    <title>SenMon - SensorInfo</title>
    <!-- Bootstrap Styles-->
    <link href="/static/assets/css/bootstrap.css" rel="stylesheet" />
    <!-- FontAwesome Styles-->
    <link href="/static/assets/css/font-awesome.css" rel="stylesheet" />
    <!-- Morris Chart Styles-->
    <link href="/static/assets/js/morris/morris-0.4.3.min.css" rel="stylesheet" />
    <!-- Custom Styles-->
    <link href="/static/assets/css/custom-styles.css" rel="stylesheet" />
</head>

```

```

<script type="text/javascript">
  // cria variavel de timer de 15 segundos
  var myVar = setInterval(function () {myTimer()}, 15000);
  function myTimer() {
    var d = new Date();
    document.getElementById("_clock").innerHTML = d.toLocaleTimeString();
    getSensoresAlerta();
  }
</script>
<body>
  <div class="row">
    <div class="col-lg-12 text-center">
      <div class="row">
        <h4 id="_clock"></h4>
      </div>
      <div id="_sensorAlerta" class="alert alert-warning"></div>
    </div>
  </div>
  <script type="text/javascript">
    var urlBase = "http://senmonws.mybluemix.net/rest/ws/";

    function formataData(d){
      var date = d.getDay() + "/" + (d.getMonth()+1) + "/" + d.getFullYear();
      var time = d.toLocaleTimeString().toLowerCase();
      return (date + " " + time);
    }

    function getSensoresAlerta(){
      var url = urlBase + "alerta/sensores";

      $.get(url)
      .done(function (data) {
        var dados = JSON.parse(data);
        var tam = dados.length;
        if ( tam > 0) {
          var out = "";
          for(i = 0; i < dados.length; i++) {
            out += "<div id=\"_sen\" + dados[i].id + \"\>";
            out += "<button type=\"button\" class=\"btn btn-circle\" ";
            out += " style=\"background-color: ";
            out += dados[i].corAlerta + "; color: white\"><strong>";
            out += dados[i].lastVal + " - " + dados[i].unid ;
            out += "</strong></button><br/>";
            out += dados[i].nome + "<br/>" + dados[i].lastDate;
            out += "</div>";
          }
          $("#_sensorAlerta").html(out);
          //var ll = document.getElementById("_sensorAlerta");
          //ll.innerHTML = out;
        } else {
          $("#_sensorAlerta").html("<strong>Tods Sensores OK</strong>");
        }
      });
    } // fim getSensoresAlerta
  </script>

  <!-- jQuery Js -->
  <script src="/static/assets/js/jquery-1.10.2.js"></script>
  <!-- Bootstrap Js -->
  <script src="/static/assets/js/bootstrap.min.js"></script>
</body>
</html>

```

