

# Servidor para Processamento de Dados Ambientais do Projeto Canary

Otávio Mota de Oliveira



CENTRO DE INFORMÁTICA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

João Pessoa, 2018



Otávio Mota de Oliveira

# Servidor para Processamento de Dados Ambientais do Projeto Canary

Monografia apresentada ao curso Ciência da Computação  
do Centro de Informática, da Universidade Federal da Paraíba,  
como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação

Orientador: Eudisley Gomes dos Anjos

Julho de 2018

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

048s Oliveira, Otavio Mota de.  
Servidor para Processamento de Dados Ambientais do  
Projeto Canary / Otavio Mota de Oliveira. - João  
Pessoa, 2018.  
56 f. : il.

Orientação: Eudisley Gomes dos Anjos.  
Monografia (Graduação) - UFPB/CI.

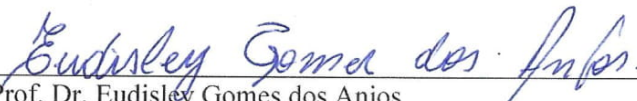
1. Monitoramento da Qualidade do Ar. 2. Servidor de  
Processamento. 3. ContextNet. I. Anjos, Eudisley Gomes  
dos. II. Título.

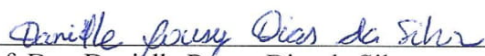
UFPB/BC





CENTRO DE INFORMÁTICA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Trabalho de Conclusão de Curso de Ciência da Computação intitulado **Servidor para Processamento de Dados Ambientais do Projeto Canary** de autoria de **Otávio Mota de Oliveira**, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Eudisley Gomes dos Anjos  
Universidade Federal da Paraíba

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Daniëlle Rousy Dias da Silva  
Universidade Federal da Paraíba

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Lincoln David Nery e Silva  
Universidade Federal da Paraíba

  
\_\_\_\_\_  
Coordenador do Curso de Ciência da Computação  
Gustavo Henrique Matos Bezerra Motta  
CI/UFPB Prof. Dr. Gustavo H. M. B. Motta  
Coordenador Bacharelado  
Ciência da Computação  
CI-UFPB / Mat. SIAPE 2126491

João Pessoa, 18 de junho de 2018



*"Walk On! Walk On! With hope in your heart,  
And you'll never walk alone...."*

*- Gerry And The Pacemakers.*



## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais, Luis Cláudio e Marizélia.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família por todo amor, apoio incondicional e incentivo em todos os momentos da minha vida.

Agradeço à meu orientador Prof. Dr. Eudisley Gomes dos Anjos por ter me orientado, como também, ao Prof. Dr. Lincoln David Nery e Silva por ter me ajudado em vários pontos do desenvolvimento do Sistema.

Agradeço aos meus amigos e colegas, que foram formados ao longo do curso, e também, a todos os professores que eu tive, que me ensinaram e prepararam para a vida profissional.

## RESUMO

A poluição do ar é um mal que atinge grande parte da população mundial ocasionando diversas doenças e, conseqüentemente, várias mortes. Para auxiliar o combate e a prevenção desse mal, foi desenvolvido neste trabalho um Servidor para o Sistema de Monitoramento Móvel da Qualidade do Ar que compõe o Projeto Canary. O Servidor é responsável por processar os dados recebidos dos dispositivos móveis de captação dos dados, e enviar as informações geradas aos aplicativos dos usuários em tempo real, como também, monitorar as informações para caso existam índices fora do padrão, enviar alertas da anomalia. Foram feitos testes reais, para analisar a corretude de suas funcionalidades, e simulados para que o sistema pudesse ser testado em várias situações existentes do seu panorama. O servidor mostrou-se bastante eficiente no processamento das informações, inclusive na emissão dos alertas na presença de anomalias. Neste trabalho, também, foi desenvolvido uma API RESTful onde é disponibilizada os acessos as todas informações coletadas, processadas e alertas emitidos.

**Palavras-chave:** Monitoramento da Qualidade do Ar, Servidor de Processamento, ContextNet.

## ABSTRACT

Air pollution is an evil that reaches a large part of the world's population causing several diseases and consequently several deaths. To help combat and prevent this evil, a Server was developed for the Mobile Air Quality Monitoring System that makes up the Canary project. The server is responsible for processing the data received from mobile data capture devices, and sending the information generated to users' applications in real time, as well as monitoring the information for if there are non-standard indexes, Send out the anomaly alerts. Real tests were made to analyze the correctness of its functionalities, and simulated so that the system could be tested in several existing situations in its panorama. The server proved to be very efficient in the processing of information, including the issue of alerts in the presence of anomalies. In this work, also, a RESTful API has been developed where accesses are made available to all information collected, processed, and alerts issued.

**Key-words:** Air Quality Monitoring, Processing Server, ContextNet.

## LISTA DE FIGURAS

1	Ranking do Top 10 de melhor qualidade do ar. Fonte: [27] . . . . .	22
2	Monitoramento da qualidade do ar nas regiões do Brasil. Fonte: [38] . . . .	24
3	Plataforma de monitoramento da qualidade do ar. Fonte: [16] . . . . .	25
4	Poluição do Ar no Mundo em tempo real. Fonte: [40] . . . . .	26
5	As quatro Partes do Projeto Canary. Fonte: Autoria Própria. . . . .	33
6	Dado gerado aleatoriamente pelo simulador. Fonte: Autoria Própria. . . .	34
7	Dado recebido pelo servidor. Fonte: Autoria Própria. . . . .	34
8	MER do Sistema Canary. Fonte: Autoria Própria. . . . .	35
9	Arquitetura do Servidor do Sistema Canary. Fonte: Autoria Própria. . . .	37
10	Polígonos representando os Bairros de João Pessoa. Fonte: Autoria Própria.	39
11	CC executado pela função de identificação por polígonos. Fonte: Autoria Própria. . . . .	39
12	Retorno da função de identificação por polígonos. Fonte: Autoria Própria.	40
13	Retorno da consulta dos CC's via API. Fonte: Autoria Própria. . . . .	42
14	Retorno da consulta dos CCP's via API. Fonte: Autoria Própria. . . . .	42
15	CCP gerado para o teste de alerta no Estado de Atenção. Fonte: Autoria Própria. . . . .	43
16	Log do teste dos alertas para Estado de Atenção. Fonte: Autoria Própria. .	44
17	CCP gerado para o teste de alerta no Estado de Alerta. Fonte: Autoria Própria. . . . .	44
18	Log do teste dos alertas para Estado de Alerta. Fonte: Autoria Própria. . .	45
19	CCP gerado para o teste de alerta no Estado de Emergência. Fonte: Autoria Própria. . . . .	45
20	Log do teste dos alertas para Estado de Emergência. Fonte: Autoria Própria.	46
21	Resultado do Teste 1. Fonte: Autoria Própria. . . . .	47
22	Resultado do Teste 2. Fonte: Autoria Própria. . . . .	47
23	Resultado do Teste 3. Fonte: Autoria Própria. . . . .	47
24	Resultado do Teste 4. Fonte: Autoria Própria. . . . .	48
25	Análise do desempenho dos testes. Fonte: Autoria Própria. . . . .	49

26	Gráfico de desempenho da Parte 1 em relação ao Tempo total. Fonte: Autoria Própria. . . . .	49
27	Pontos onde os CC's foram coletados no Teste de Validação. Fonte: Autoria Própria. . . . .	50
28	CC's gerados entre o trecho do Ponto C ao D. Fonte: Autoria Própria. . .	51
29	CCP's gerados ao fim do ciclo do trecho do Ponto C ao D. Fonte: Autoria Própria. . . . .	51
30	Alertas gerados durante o Trecho do Ponto C ao D. Fonte: Autoria Própria.	52

## LISTA DE QUADROS

1	Sensores de Captação do Sistema Concordia. Fonte: Aatoria Própria. . . .	28
2	Informações Técnicas do Software Concordia. Fonte: Aatoria Própria. . . .	29
3	Sensores de Captação do Sistema Breeze. Fonte: Aatoria Própria. . . . .	29
4	Informações Técnicas do Software Breeze. Fonte: Aatoria Própria. . . . .	29
5	Sensores de Captação do Sistema WeatherBug. Fonte: Aatoria Própria. . .	30
6	Informações Técnicas do Software WeatherBug. Fonte: Aatoria Própria. .	30
7	Comparativo entre os softwares pesquisados. Fonte: Aatoria Própria. . . .	32
8	Criticidade dos parâmetros monitorados . . . . .	41
9	Resultados dos Testes. Fonte: Aatoria Própria. . . . .	48

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

CC - Condições Climáticas

CCP - Condições Climáticas Processadas

IP - Internet Protocol

MR-UDP - Mobile Reliable User Datagram Protocol

RTPS - Real Time Publish-Subscribe

SDDL - Scalable Data Distribution Layer

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>19</b>
1.1	Objetivo geral . . . . .	20
1.2	Objetivos específicos . . . . .	20
1.3	Estrutura da monografia . . . . .	20
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO E SISTEMAS SIMILARES</b>	<b>22</b>
2.1	Referencial Teórico . . . . .	22
2.1.1	Cenário atual do monitoramento da qualidade do ar . . . . .	22
2.1.2	ContextNet . . . . .	26
2.2	Sistema Similares . . . . .	28
2.2.1	Concordia . . . . .	28
2.2.2	Breeze . . . . .	29
2.2.3	WeatherBug . . . . .	30
2.2.4	Comparativo entre os Softwares pesquisados . . . . .	30
<b>3</b>	<b>PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>SERVIDOR DO SISTEMA CANARY</b>	<b>37</b>
4.1	Arquitetura . . . . .	37
4.2	Sistema de Comunicação . . . . .	38
4.3	Sistema de Processamento . . . . .	38
4.3.1	Identificação da localidade por polígonos . . . . .	38
4.4	Sistema de Monitoramento . . . . .	40
4.5	API RESTful . . . . .	41
<b>5</b>	<b>ANÁLISES DOS RESULTADOS E TESTES</b>	<b>43</b>
5.1	Testes . . . . .	43
5.1.1	Testes do Sistema de Monitoramento . . . . .	43
5.1.2	Testes de Carga . . . . .	46
5.2	Validação do Sistema . . . . .	50

**6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS 53**

**REFERÊNCIAS 53**

# 1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é um problema global. Cerca de 92% da população do planeta vivem em áreas que atualmente estão com os níveis de qualidade do ar fora do padrão aceitável imposto pela Organização Mundial da Saúde (OMS) [39]. Diante da gravidade do problema, a Agência Internacional de Pesquisa do Câncer (IARC), catalogou a poluição do ar como cancerígena para os seres humanos [15].

No Mundo, a poluição do ar mata cerca de 3 milhões de pessoas ao ano, sem contabilizar algumas doenças que há indícios que são ocasionadas pela poluição do ar, caso contrário, esse número pode chegar a 4,5 milhões de pessoas [24]. Segundo a OMS, 56% da população das grandes cidades dos países ricos são afetadas pela poluição atmosférica, enquanto que nos países pobres, esse índice chega a 98%. No Brasil, a taxa de mortalidade devido à condição atmosférica é em torno de 7,50%, correspondendo ao número de 70.685 de mortes. Na cidade de São Paulo, em 2015, morreram 11.200 mil pessoas vítimas da qualidade do ar, mais do que acidente de trânsito (7.867) e câncer de mama (3.620) [30].

A poluição do ar está associada ao grande número de doenças, como Câncer de pulmão, Asma, Rinite, Bronquite, Alzheimer, Parkinson, Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), doença cardiovascular, doença cardiorrespiratória entre outras [17]. Os efeitos ainda vão mais além, atingem os fetos das mães expostas à poluição e os recém-nascidos, resultando no nascimento e crescimento de crianças com peso insuficiente para idade, aumentando o risco de morte, de doenças respiratórias e outras doenças crônicas [31].

Uma das soluções para auxiliar o combate à poluição atmosférica é o monitoramento da qualidade do ar, que tem como objetivo garantir o desenvolvimento socioeconômico de maneira sustentável e ambientalmente segura [26]. Na Europa, já existem ações de sucesso que usaram sistemas de monitoramento para auxiliar na redução do nível de poluição. Na cidade de Chester - UK, houve uma operação conjunta entre governo municipal e empresas do setor privado, em que foram instalados sensores de poluentes em pontos da cidade e através do sistema Concordia, software de monitoramento da qualidade do ar que processa e analisa os dados gerados, foi identificado que um grande contribuinte à poluição eram os grandes congestionamentos. Após essa conclusão e a identificação das áreas poluidoras, houve um remanejamento do trânsito nos locais detectados, com a finalidade de diminuir os congestionamentos e também investimentos em transportes públicos [1].

Com o alto investimento em novas tecnologias de monitoramento da qualidade do ar, vem sendo introduzido no mercado o dispositivo móvel de coleta, já que é uma tecnologia muito mais barata, abrangente e manutenível, mas ainda há poucos sistemas utilizando devido a falta de precisão dos sensores, os dispositivos fixos de captação ainda

são bem completos, com poder de captar vários parâmetros e com bem mais exatidão, mas seu alto custo é um empecilho [14]. Projeta-se, que em breve, os dispositivos móveis irão substituir os fixos.

O Sistema Canary tem o objetivo de propiciar a oportunidade de melhoria da qualidade do ar; realizando a captação dos dados através de dispositivos móveis, o processamento dos dados coletados e o monitoramento dos mesmos, e disponibilizando um sistema de alerta caso se identifique alguma anormalidade. Os dados brutos e os processados, irão ser disponibilizados através da API REST do sistema, possibilitando que novos produtos e estudos sejam desenvolvidos utilizando a base de dados disponibilizada.

## **1.1 Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho é desenvolver um servidor que realize o processamento, monitoramento e a disponibilização dos dados recebidos e processados dos dispositivos de captação para quem possam ser utilizados por outros sistemas.

## **1.2 Objetivos específicos**

O objetivo geral pode ser dividido nos seguintes objetivos específicos:

1. Implementar o sistema de comunicação cujo é responsável pelo recebimento e envio dos dados.
2. Desenvolver o sistema de processamento no qual é realizado o tratamento dos dados.
3. Desenvolver o sistema de monitoramento onde é feito o acompanhamento dos índices dos parâmetros dos dados, e que envia alertas caso os índices estiverem fora da normalidade.
4. Implementar uma API RESTful no qual será disponibilizado todos os dados gerados pelo sistema.

## **1.3 Estrutura da monografia**

Na Seção 2 são apresentados alguns conceitos necessários para o melhor entendimento do trabalho e o estado da arte dos trabalhos relacionados à esta monografia. A Seção 3 apresenta a metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho. A Seção 4 expõe todas as funcionalidades do sistema detalhadamente. Na Seção 5 é apresentada a análise dos resultados juntamente com os testes realizados. A Seção 6 conclui com as considerações finais, limitações e trabalhos futuros.

Além das 6 Seções, o conta com o Anexo A que contém os requisitos funcionais e não funcionais do servidor desenvolvido neste trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO E SISTEMAS SIMILARES

Neste capítulo serão discutidos alguns conceitos necessários para melhor compreensão deste trabalho de TCC, tais como o cenário atual do monitoramento da qualidade do ar, onde será discutido a importância da atividade, e também as tecnologias que serão utilizadas no desenvolvimento do sistema.

### 2.1 Referencial Teórico

#### 2.1.1 Cenário atual do monitoramento da qualidade do ar

A política de monitoramento da qualidade do ar ao redor do mundo vem ganhando força nos últimos anos. Países com uma política de monitoramento bem definida, já tem resultados positivos, como é o caso da Finlândia que foi reconhecida no ano de 2018 como o país do ar mais limpo do mundo [41]. Contudo, em 2013 na Finlândia foram detectados 1.600 de mortes decorrente da poluição do ar, alarmando a população com a alta mortalidade [10].

Para conquistar tal título, o governo intensificou o monitoramento da qualidade do ar implementando estações de monitoramento pelas cidades, e assim identificando quais eram os principais problemas e criando programas de combate aos mesmos. A boa qualidade do ar não está restrita somente a Finlândia, mas toda a Europa que possui 8 países dentro do top 10 no ranking [27] de qualidade do ar como mostrado na Figura 1 a seguir.

Rank	Country
1	Finland
2	Iceland
3	Estonia
4	Sweden
5	Norway
6	New Zealand
7	Austria
8	Switzerland
9	Denmark
10	Australia

Figura 1: Ranking do Top 10 de melhor qualidade do ar. Fonte: [27]

Os Estados Unidos, atualmente 17º no ranking mundial [27], vem implementando nos últimos anos uma forte política de monitoramento. Apesar de ter pelo menos uma estação de monitoramento por estado, essa quantidade ainda não é o suficiente. Devido a isso, o governo vem realizando parcerias com empresas privadas para o desenvolvimento

de dispositivos móveis de monitoramento, já que atualmente usar o dispositivo móvel resulta em ganho de mais área de cobertura e no custo, porém, há uma perda na precisão dos dados. O objetivo é que se desenvolva o dispositivo móvel para que possa substituir os fixos, pois eles demandam muito mais dinheiro e tem uma difícil manutenção. Contudo, vale ressaltar que em ambas abordagens, a calibragem dos sensores têm que ser realizada a cada 14 dias [14].

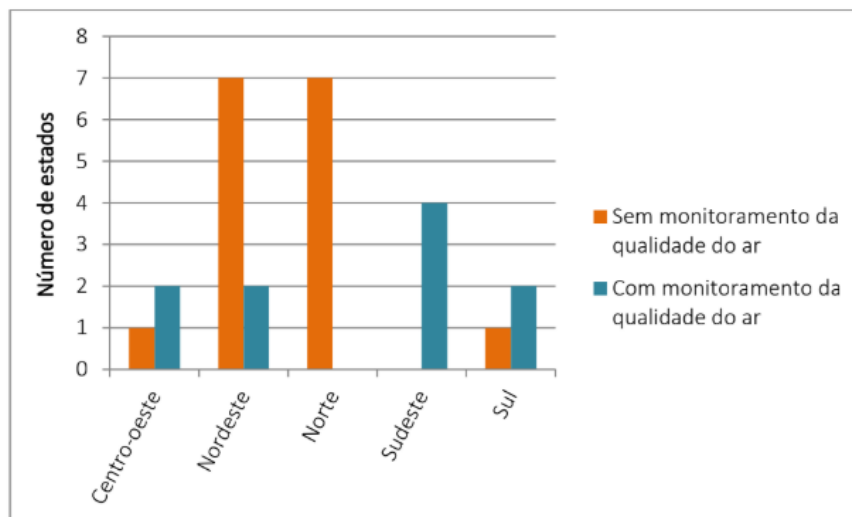
Os países emergentes possuem um alto índice de poluição do ar, justamente pelo fato que o crescimento da sua economia seja a prioridade. A China, ex dona do primeiro lugar nos índices de poluição do ar, que em 2015 tinha o índice de 1.6 milhões de morte proveniente da poluição do ar, saiu desse quadro de extrema poluição com fortes investimentos em políticas de monitoramento [20]. A China também incentiva o desenvolvimento de vários sistemas para que possam contribuir com o avanço do objetivo. Para isso, o governo chinês disponibiliza um portal com todos os dados gerados em tempo real.

Já a Índia se encontra em um estado de calamidade, tal que 11 das 12 cidades do ar mais poluído do mundo são do país [18]. Porém, o país já começou a investir em políticas de monitoramento e já tem resultados positivos. Na cidade de Ahmedabad, a maior do país, o governo iniciou o projeto instalando várias estações de monitoramento pela cidade. Após a análise dos dados obtidos, foi identificado que as maiores fontes de emissão da poluição foram os meios de transportes e a indústria, que juntos são responsáveis por mais de 70% da poluição da cidade. As medidas já estão em execução, como a inserção de veículos elétricos, e aumento de transportes públicos. O próximo passo é intensificar e espalhar as ações pelo país [25].

O Brasil é um país emergente porém não se encontra na situação alarmante como a China e Índia. Atualmente estamos na posição 45º do ranking mundial de melhor qualidade do ar [27]. No Brasil, existe o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar que foi instituída pela Resolução CONAMA Nº 05 de 15/06/1989<sup>1</sup>, gerenciada pelo IBAMA. O PRONAR foi quem determinou a criação de uma Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade do Ar. Porém a rede de monitoramento não se tornou tão efetiva quanto se imaginava quando proposta, pois atualmente apenas 40% da federação possui algum tipo de monitoramento. Os Estados que possuem monitoramento são : Bahia, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, São Paulo, Sergipe e o Distrito Federal, totalizando 11 estados. Dentre todos esses estados, apenas 1,7% dos municípios do país são contemplados com o monitoramento, onde 78% destes municípios monitorados estão na Região Sudeste [38]. Esses detalhes podem ser vistos na Figura 2.

---

<sup>1</sup><http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81>



**Figura 2: Monitoramento da qualidade do ar nas regiões do Brasil. Fonte: [38]**

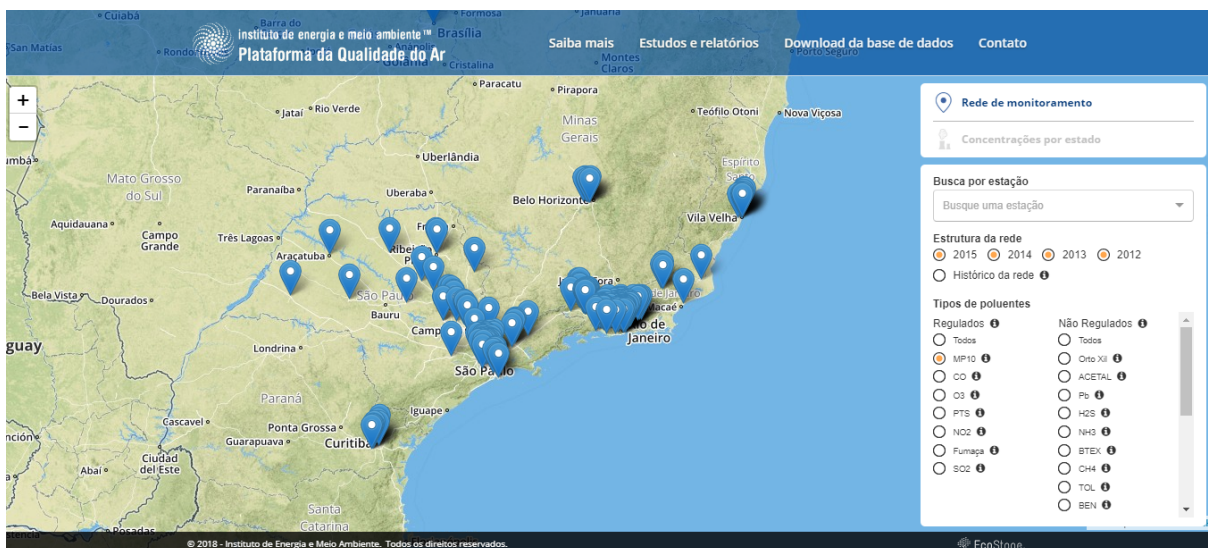
No total, Existem 252 estações de monitoramento em todo o país. A Região Sudeste possui 76% do total, a Região Sul 13% e 5,5% nas Regiões Centro-Oeste e Nordeste. Os principais poluentes que são coletados pelas estações são : Gás Carbônico (CO), Fumaça, Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>), Ozônio (O<sub>3</sub>), Partículas de Matéria 2.5 (PM<sub>2.5</sub>), Partículas de Matéria 10 (PM<sub>10</sub>), Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>). Entretanto apenas, 82% das estações coletam MP<sub>10</sub> e MP<sub>2.5</sub>, 46% coletam o Ozônio(O<sub>3</sub>) e 45% coletam o Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) [38]. No entanto, ter o sistema de monitoramento não significa que seja eficiente, alguns desses estados têm um número irrisório de estações climáticas. Em todo o estado do Mato Grosso por exemplo, só existe uma estação de monitoramento. Além disso, algumas delas ainda são estações manuais, ou seja, são estações que realizam a coleta dos dados e necessitam que pessoas se desloquem até elas (normalmente semanalmente) e recolham os dados para análise laboratorial. Só após a coleta é que é possível determinar-se as condições do ar. Por outro lado, a maioria das estações de coleta são automáticas. Ou seja, estão ligadas à uma central de computadores que envia os dados em tempo real, sem precisar de análise laboratorial, aumentando a eficiência [38].

No entanto, ter o sistema de monitoramento não significa que seja eficiente, alguns desses estados têm um número irrisório de estações climáticas. Em todo o estado do Mato Grosso por exemplo, só existe uma estação de monitoramento. Além disso, algumas delas ainda são estações manuais, ou seja, são estações que realizam a coleta dos dados e necessitam que pessoas se desloquem até elas (normalmente semanalmente) e recolham os dados para análise laboratorial. Só após a coleta é que é possível determinar-se as condições do ar. Por outro lado, a maioria das estações de coleta são automáticas. Ou seja, estão ligadas à uma central de computadores que envia os dados em tempo real, sem

precisar de análise laboratorial, aumentando a eficiência [38].

Além disso, os padrões de qualidade do ar do Brasil não seguem os padrões estipulados pela OMS. Mesmo que algum parâmetro esteja fora do ideal para OMS, este ainda pode permanecer ideal nos padrões brasileiros. Como por exemplo, para o material particulado<sup>2</sup> no Brasil o limite do ideal é de 150 mg/Nm<sup>3</sup> e para a OMS é de 50 mg/Nm<sup>3</sup>, ou seja, 100 mg/Nm<sup>3</sup> a mais. Por consequência, as informações que são emitidas pelos órgãos fiscais não são de credibilidade. Atualmente, em 2018, ainda segue sem um órgão federal responsável pelo monitoramento da qualidade do ar, essa responsabilidade é de competência dos governos estaduais [2].

A Lei N.º 10.650/2003 determina que as informações ambientais existentes nos órgãos de controle ambiental sejam de acesso público. Todavia, a realidade é que não há o fácil acesso da população às informações geradas, apenas a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) e o IEMA (Instituto de Energia e Meio Ambiente) disponibilizam plataformas de acesso para a visualização destes dados. O projeto do IEMA é o que chega mais próximo do que estão sendo aplicados ao redor do mundo, já que ele dispõe o acesso à informação em tempo real e o histórico de dados. Porém, os estados monitorados ainda são poucos e suas informações são pontuais, já que são coletadas de estações fixas [16]. A Figura 3 mostra um uma tela do sistema de monitoramento do IEMA.



**Figura 3: Plataforma de monitoramento da qualidade do ar. Fonte: [16]**

A ausência de um Programa efetivo de Monitoramento da qualidade do ar gera uma série de problemas à nação. Dentre elas podemos citar: o governo que não provê de

<sup>2</sup>Material Particulado : são partículas muito finas de sólidos ou líquidos suspensos no ar. Como por exemplo, fuligem. As duas classificações para o MP são o PM10 e PM2,5, partículas com diâmetro inferior a 10  $\mu\text{m}$  e 2,5  $\mu\text{m}$  [23], respectivamente.

dados para desenvolver novas políticas públicas no combate à poluição; o meio acadêmico, que não tem subsídios para desenvolver novas pesquisas e estudos para as diversas áreas correlatas; e para a população, que sofre dos males causados pela falta de informação e pela poluição. Vale ressaltar que o sistema de monitoramento não é o solucionador dos problemas ambientais, mas, serve como principal ferramenta para entendê-los e principalmente evitá-los. Neste contexto, a principal diferença entre o Brasil e os outros países em relação a qualidade do monitoramento é a falta de uma forte política pública do governo.

Na Figura 4 possível ver um site de monitoramento da qualidade do ar do mundo, onde ele acessa os dados abertos disponibilizados. Analisando a figura, podemos concluir duas coisas: a primeira é que o Brasil ainda está muito atrás em número de estações de monitoramento em relação aos outros países, e a segunda é que o país não possui um sistema de disponibilização de dados aberto, já que, como vimos, a região sul possui mais dados e informações do que as que são mostradas no mapa mundial de qualidade do ar.

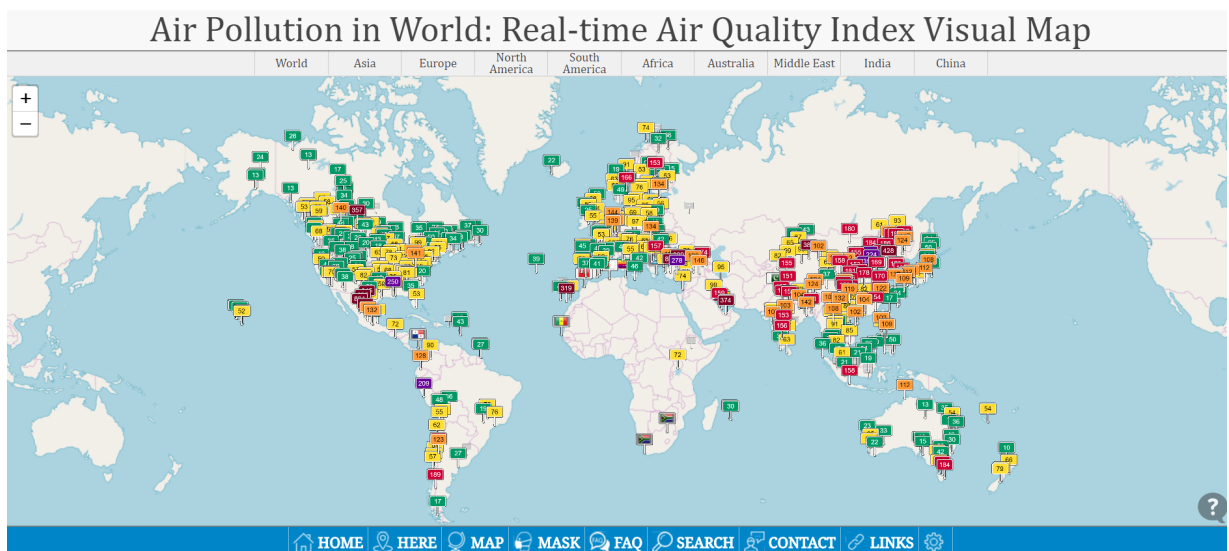


Figura 4: Poluição do Ar no Mundo em tempo real. Fonte: [40]

### 2.1.2 ContextNet

O ContextNet é um middleware que permite a captura, disseminação e processamento de dados móveis em larga escala e baixa latência, balanceamento de conexões e integração com a nuvem e foi criado com foco inicial em dar suporte ao desenvolvimento de aplicações móveis colaborativas e cientes de contexto. O ContextNet usa o SDDL (*Scalable Data Distribution Layer*) como camada de distribuição da rede central, com isto, o ContextNet é um middleware que oferece uma comunicação que conecta nós estacionários em uma rede central, à nós móveis com uma conexão sem fio baseada em IP (*Internet Protocol*) [7]. O ContextNet, através do SDDL, utiliza dois protocolos de comunicação: o RTPS (*Real Time Publish-Subscribe*) para a comunicação cabeada

dentro da rede central, e o MR-UDP (*Mobile Reliable User Datagram Protocol*) para a comunicação entre os nós móveis e a rede central [8].

O MR-UDP é o protocolo utilizado para a comunicação entre os nós móveis e a rede central. Este protocolo implementa uma funcionalidade similar ao TCP sobre o UDP, e que foi customizado para controlar conexões intermitentes. Toda mensagem, em qualquer direção, requer uma verificação se a entrega foi realizada com sucesso, caso contrário, haverá várias tentativas de envio até que a conexão seja considerada encerrada. Como os nós tem suas limitações, como o tempo de vida da bateria por exemplo, é importante que o protocolo não utilize muito processamento do nó. Para isso, o protocolo foi otimizado para que reduzisse o número pacotes de verificação de conexão e um controle de fluxo de dados simples, entre outras otimizações [7].

O gateway define o ponto de acesso para as conexões com dispositivos móveis, ou nós móveis, que podem ser smartphones, veículos autônomos, robôs entre outros. O gateway é responsável por gerenciar uma conexão MR-UDP separada para cada um dos dispositivos móveis, encaminhando qualquer mensagem específica da aplicação ou de contexto para a rede central, e em direção oposta, convertendo mensagens DDS para mensagens MR-UDP e as entregando de maneira confiável aos dispositivos móveis correspondentes [37].

O ContextNet utiliza o protocolo RTPS, que tem como padrão de comunicação, o Publisher-Subscriber. Neste esquema, o Publisher é o que envia a informação e o Subscriber que recebe. Ambas as partes devem está conectado ao mesmo canal para que a troca de mensagem seja feita, como por exemplo, se o Publisher envia mensagens sobre o clima pelo tópico denominado “clima”, o Subscriber, caso queira receber as mensagens enviadas pelo Publisher, deve está inscrito ao tópico “clima”. Caso as duas partes, o Publisher e o Subscriber estejam no mesmo canal, o casamento e entrega de mensagens ocorrerá. O ContextNet utiliza um canal único no protocolo RTSP.

O middleware ContextNet foi utilizado no projeto Canary como o meio de comunicação entre o nós. Há três tópicos para englobar toda a comunicação do sistema; O primeiro tópico é chamado de “CanaryCCInformation”, é usado para o envio dos dados gerados pelo dispositivo ao servidor, o CC (Condição Climática). O segundo é denominado de “CanaryCCPInformation” e é utilizado para o servidor enviar os CCP’s (Condições Climáticas Processadas) gerados aos aplicativos dos usuários. E por último, o tópico “CanaryAlertInformation” é usado para envio dos alertas gerados, quando existentes. Todos esses dados, o CC, CCP e alertas serão melhores descritos na seção 4.1.

## 2.2 Sistema Similares

Foram realizadas pesquisas por sistemas de monitoramento da qualidade do ar disponível no mercado com características semelhantes às apresentadas neste trabalho. Todos os softwares aqui descritos estão disponíveis para uso independente do custo para o usuário.

Além da identificação de aplicações semelhantes, foram levantadas as características técnicas destes softwares e foi realizada a descrição em linhas gerais de suas principais funcionalidades.

### 2.2.1 Concordia

O Concordia [5] é um sistema de monitoramento da qualidade do ar, onde é alimentada por estações fixas de monitoramento localizadas em pontos diversos da cidade que enviam os dados periodicamente, os parâmetros que são coletados seguem no Quadro 1. A plataforma é capaz de analisar os dados gerando histórico, previsões, médias e desvios de padrão. A plataforma também possui o serviço de monitoramento dos dados, no qual se houver algo fora do padrão alertas serão emitidos via e-mail. O sistema é capaz de exportar os dados nas extensões pdf, xls e txt. Todos esses dados podem ser visualizados através da plataforma web e mobile. Informações técnicas do software podem ser visualizadas no Quadro 2.

**Quadro 1: Sensores de Captação do Sistema Concordia. Fonte: Autoria Própria.**

Sensores de Captação
Captação de Temperatura
Captação da Umidade
Captação da Pressão Atmosférica
Captação da Velocidade dos Ventos
Captação do Monóxido Carbônico (CO)
Captação do Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )
Captação do Ozônio (O <sub>3</sub> )
Captação do Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )
Captação da Amônia (NH <sub>3</sub> )
Captação das Partículas de Matéria 2.5 (PM <sub>2.5</sub> )
Captação das Partículas de Matéria 10 (PM <sub>10</sub> )
Captação do Metano (CH <sub>4</sub> )
Captação do Cloro (CL <sub>2</sub> )

**Quadro 2: Informações Técnicas do Software Concordia. Fonte: Autoria Própria.**

Nome	Informações
Desenvolvedor	Advanticsys
Plataforma	Web e Mobile
Web site	<a href="https://concordia.advanticsys.net/">https://concordia.advanticsys.net/</a>
Licença	Pago
Ano de lançamento	-

### 2.2.2 Breeze

O Breeze [3] é um sistema de monitoramento da qualidade do ar, possui um dispositivo de captação de dados fixo e não tão complexa, justificada pelo alto preço e complexidade de se ter monitoramento de qualidade, logo se concentra em atender situações específicas. Seu dispositivo possui dimensões parecidas a um detector de fumaça, assim facilitando a instalação em espaços públicos, os parâmetros que são coletados seguem no Quadro 3, os dados são enviados ao servidor a cada 30 segundos. O software possui um sistema de monitoramento que quando há algum parâmetro fora do padrão um alerta é emitido aos usuários. A plataforma também é capaz de gerar o histórico dos dados. Informações técnicas do software podem ser visualizadas no Quadro 4.

**Quadro 3: Sensores de Captação do Sistema Breeze. Fonte: Autoria Própria.**

Sensores de Captação
Captação de Temperatura
Captação da Umidade
Captação do Monóxido Carbônico (CO)
Captação do Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )
Captação do Ozônio (O <sub>3</sub> )
Captação do Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )
Captação da Amônia (NH <sub>3</sub> )
Captação das Partículas de Matéria 2.5 (PM <sub>2.5</sub> )
Captação das Partículas de Matéria 10 (PM <sub>10</sub> )

**Quadro 4: Informações Técnicas do Software Breeze. Fonte: Autoria Própria.**

Nome	Breeze
Desenvolvedor	Breeze Technologies
Plataforma	Web e Mobile
Web site	<a href="https://www.breeze-technologies.de/">https://www.breeze-technologies.de/</a>
Licença	Pago
Ano de lançamento	-

### 2.2.3 WeatherBug

O WeatherBug [32] é um software renomado no cenário de monitoramento da qualidade do ar. Possui dispositivos fixos e móveis de coleta de dados onde os parâmetros que são coletados estão especificados no Quadro 7. A plataforma é capaz de analisar os dados gerando histórico, previsões, médias e desvios de padrão. A plataforma também possui o serviço de monitoramento dos dados, no qual se houver um fator fora do padrão o sistema irá alertar os usuários via notificação do aplicativo mobile. O software também é capaz de transmitir imagens da condição do tempo de diversos pontos através de câmeras. O acesso às informações geradas se dá através de uma plataforma web e *mobile*. Informações técnicas do software podem ser visualizadas no Quadro 6.

**Quadro 5: Sensores de Captação do Sistema WeatherBug. Fonte: Autoria Própria.**

Sensores de Captação
Captação de Temperatura
Captação da Umidade
Captação da Pressão Atmosférica
Captação da Velocidade dos Ventos
Captação do Monóxido Carbônico (CO)
Captação do Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )
Captação do Ozônio (O <sub>3</sub> )
Captação do Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )
Captação das Partículas de Matéria 2.5 (PM <sub>2.5</sub> )
Captação das Partículas de Matéria 10 (PM <sub>10</sub> )

**Quadro 6: Informações Técnicas do Software WeatherBug. Fonte: Autoria Própria.**

Nome	WeatherBug
Desenvolvedor	GroundTruth
Plataforma	Web e Mobile
Web site	<a href="https://www.weatherbug.com">https://www.weatherbug.com</a>
Licença	Gratuito
Ano de lançamento	1993

### 2.2.4 Comparativo entre os Softwares pesquisados

A fim de uma maior compreensão sobre os softwares pesquisados foi realizado um levantamento sobre as principais funcionalidades encontradas nesses sistemas.

As soluções apresentadas, em sua maioria, utilizam dispositivo fixo de coleta dos dados. Espera-se que em um futuro próximo os dispositivos móveis possam substituir os

fixos garantindo a mesma precisão dos sensores, pois o custo de produção um dispositivo móvel é bem menor, custa cerca de \$250 enquanto um fixo custa \$5.000 [33]. Observa-se que os softwares conseguem processar praticamente os mesmos parâmetros, já que a maioria dos poluentes do ar que afetam a saúde humana de fato são esses captados. Os produtos possuem um sistema de monitoramento para alertas, visto que o maior objetivo desses softwares é de precaver a população de problemas futuros. Alguns possuem ainda, com as análises dos dados, a funcionalidade de previsão dos níveis dos parâmetros. Todos os softwares dispõem do acesso às informações via mobile e web. No Sistema Canary é capaz de realizar a captação móvel dos dados e o monitoramento dos mesmos. Assim como nos softwares pesquisados, o Canary também disponibiliza as informações coletadas pelas plataformas mobile e web.

No Quadro 7 a comparação poderá ser analisada com mais detalhes, atentando ao detalhe que os campos marcados com "X" são as propriedades que os softwares já disponibilizam, enquanto marcados com "\*" são os que disponibilizarão nas próximas versões.

**Quadro 7: Comparativo entre os softwares pesquisados. Fonte: Autoria Própria.**

Sensores de Captação	Conc.	Breeze	WeatherB.	Canary
Dispositivo Móvel			X	X
Dispositivo Fixo	X	X	X	
Captação da Temperatura	X	X	X	X
Captação da Umidade	X	X	X	X
Captação da Pressão Atmosférica	X		X	*
Captação da Velocidade dos Ventos	X		X	*
Captação do Monóxido Carbônico (CO)	X	X	X	X
Captação do Dióxido de Carbono (CO2)	X	X	X	*
Captação do Dióxido de Nitrogênio (NO2)	X	X	X	*
Captação do Ozônio (O3)	X	X	X	*
Captação do Dióxido de Enxofre (SO2)	X	X	X	*
Captação da Amônia (NH3)	X	X		*
Captação das Partículas de Matéria 2.5 (PM2.5)	X	X	X	*
Captação das Partículas de Matéria 10 (PM10)	X	X	X	*
Captação do Metano (CH4)	X			X
Captação do Cloro (CL2)	X			
Captação da Luminosidade				X
<b>Funcionalidades do Sistema</b>				
Funcionalidades do Sistema	Conc.	Breeze	WeatherB.	Canary
Captação em Tempo Real		X		X
Análise dos Dados Captados	X	X	X	X
Gera Histórico	X	X	X	X
Promove Previsões	X		X	*
Sistema de Alerta	X	X	X	X
Exporta Dados	X			
API RESTful				X
<b>Plataforma</b>				
Plataforma	Conc.	Breeze	WeatherB.	Canary
Open-Source				X
Web	X	X	X	X
Mobile	X	X	X	X

A pesquisa foi de suma importância para pontuarmos as funcionalidades mais relevantes para o sistema que irá ser desenvolvido neste trabalho.

### 3 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO

Para uma melhor elaboração deste trabalho o processo de desenvolvimento se deu a partir de uma pesquisa bibliográfica em artigos de sistemas de monitoramento climático, em seguida, realizou-se uma análise dos Sistemas Similares com intuito de obter mais informações acerca dos sistemas de monitoramento e de tecnologias de desenvolvimento. O estado da arte contribuiu para as definições do projeto comparando-o com os projetos já existente e focando-se em possíveis melhorias.

Com a compreensão do problema efetuou a especificação de requisitos da solução que será desenvolvida. Nesta etapa foram definidos os modelos estruturais e comportamentais que conduziram o desenvolvimento do sistema para resolução do problema. Portanto, para o melhor desenvolvimento do sistema Canary, o mesmo foi dividido em 4 partes que são definidas a seguir e mostradas na Figura 5.

1. **Parte 01 - Dispositivo remoto:** Nessa etapa de desenvolvimento realizou-se a criação do dispositivo móvel de coleta de dados.
2. **Parte 02 - Servidor:** Criação do sistema de armazenamento, monitoramento, processamento e disponibilização dos dados coletados.
3. **Parte 03 - Aplicativo móvel:** Etapa que foca no desenvolvimento de aplicativos móveis para uso por parte do dispositivo remoto, que envia os dados ao servidor, e do usuário final do sistema, onde mostra as informações recebidas do servidor.
4. **Parte 04 - Sistema Web:** Sistema que mostrará as condições da qualidade do ar e alertas gerados, assim como a versão móvel para usuários finais.

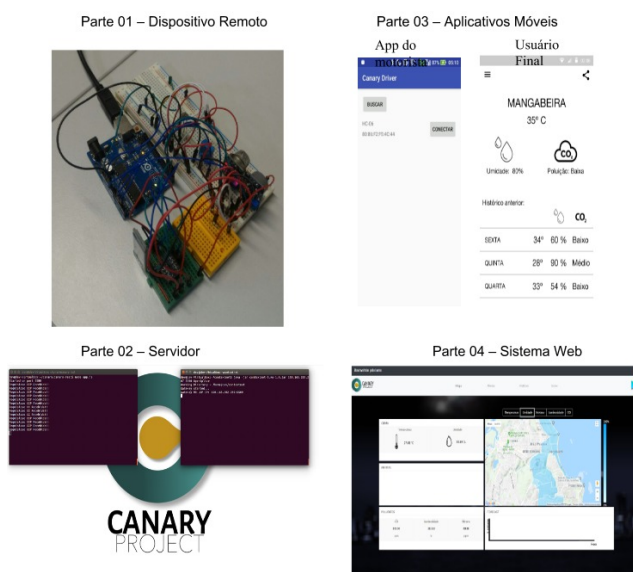


Figura 5: As quatro Partes do Projeto Canary. Fonte: Autoria Própria.

Devido ao grande escopo do sistema Canary, o trabalho foi dividido e portanto as atividades desenvolvidas no âmbito deste TCC focam especificamente em abordar a parte referente ao processo de desenvolvimento da etapa 2, a criação do servidor do sistema. Portanto, para alcançar o resultado final, a evolução do desenvolvimento do Módulo Servidor deu-se em 6 etapas descritas a seguir.

## 1. Criação do Simulador do dispositivo Canary

Tendo em vista que todas etapas descritas anteriormente ocorreram simultaneamente, não havia uma fonte de geração de dados para que possibilitasse o início da criação deste sistema. Este simulador substituiu o dispositivo móvel de captação de dados, onde gerava os dados: latitude, longitude, temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade; níveis de monóxido de carbônico e metano. O conjunto destes dados foi denominado de CC, exibido na Figura 6. Todos os parâmetros que são gerados pelo simulador são os que realmente serão captados pelo dispositivo no fim do desenvolvimento.

```
co          = 30.266930110236533
methane    = 77.61111270001334
humidity   = 0.9884075574646878
date hour  = 2018/05/28 20:20:16
longit̄ude  = -34.826547
bus_sign   = AAA-1234
latit̄ude   = -7.124397
luminosity = 86.68524782319012
temperature = 10.345729696575306
```

Figura 6: Dado gerado aleatoriamente pelo simulador. Fonte: Autoria Própria.

## 2. Criação do Sistema de comunicação.

Desenvolveu-se o sistema de comunicação em tempo real, que será usado para recebimento dos dados coletados, Figura 7, pelos dispositivos móveis, e para envio dos dados processados e alertas gerados, descritos na seção 4 e 5. O Sistema de Comunicação será descrito detalhadamente na seção 4.2.

```
New information received in the PublishSubscribe Protocol: CanaryCCInformation
New information received from subscription "CanaryCCInformation"
co          = 40.33716444815922
methane    = 57.76969121024981
humidity   = 63.06741223965325
date hour  = 2018/05/28 20:23:46
longit̄ude  = -34.861955
bus_sign   = AAA-1234
latit̄ude   = -7.105386
luminosity = 60.14009704910139
temperature = 46.13211423972278
main       = Mon May 28 20:23:46 BRT 2018
```

Figura 7: Dado recebido pelo servidor. Fonte: Autoria Própria.

### 3. Criação da Persistência de Dados.

Nesta etapa realizou-se a definição de qual tecnologia de persistência iria ser usada e definiu o Banco de Dados. Com isso, deu-se a modelagem do MER (Modelo Entidade Relacionamento), visto na Figura 8, e em seguida a sua implementação.

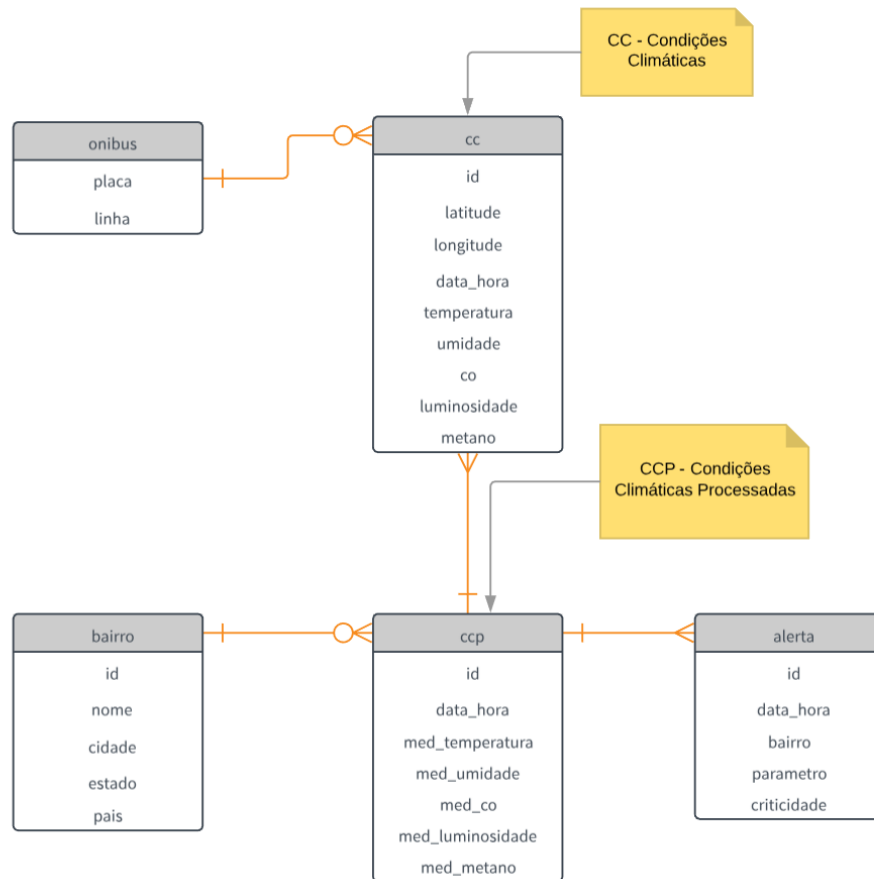


Figura 8: MER do Sistema Canary. Fonte: Autoria Própria.

### 4. Criação do Sistema de Processamento.

Nesta etapa foi desenvolvida o sistema que é responsável por fazer o tratamento dos dados coletados, onde irá separar os pontos por bairros, para que seja calculada a média dos parâmetros de todos os pontos que estão no mesmo bairro, e assim é gerado o CCP (Condições climáticas processadas). Após a geração dos CCP's, o sistema os enviarão através do sistema de comunicação para os aplicativos *mobile* (usuários). O Sistema de Processamento será descrito detalhadamente na seção 4.3.

### 5. Criação do Sistema de Monitoramento.

Este sistema é responsável por acompanhar os índices dos parâmetros do CCP, caso haja algum índice fora do padrão recomendado, emitirá um alerta reportando a anomalia. O Sistema de Monitoramento será descrito detalhadamente na seção 4.4.

## 6. Criação da API RESTful.

Nessa API é disponibilizada todas as funções para acesso às informações coletadas, processadas pelo servidor e aos alertas emitidos, e também requisitar o histórico dos mesmos, como também, todas as outras funções que são necessárias para o acesso ao sistema via http. A API RESTful será descrito com detalhes na seção 4.5.

Após a definição das etapas, houveram reuniões semanais onde eram definidos os Backlog e os Sprints de desenvolvimento e a partir dos sprints, diversos incrementos do produto foram desenvolvidos até a obtenção do produto final.

Ao final do desenvolvimento de todas etapas, foram realizados testes com a finalidade de testar o desempenho do servidor e de realizar a validação das funcionalidades.

## 4 SERVIDOR DO SISTEMA CANARY

Podemos visualizar a arquitetura do Sistema Canary na Figura 9, todos os sistemas em **negrito** serão descritos nas subseções subsequentes.. O que foi desenvolvido neste trabalho, localiza-se no *Server side*. A linha de execução desta arquitetura decorre da seguinte maneira: O dispositivo de captação está conectado ao aplicativo do motorista do ônibus, esse dispositivo de captação coleta em tempo real a temperatura, umidade relativa do ar, monóxido de carbono, metano e a luminosidade, enquanto que o aplicativo do motorista do ônibus é responsável de adicionar a latitude e longitude obtidos através do posicionamento geográfico, utilizando a serviço de GPS (*Global Positioning System*) do próprio aplicativo e assim gerando o CC. Posteriormente é enviado ao servidor pelo **sistema de comunicação** (linha 1) que ao receber é armazenado no banco de dados (linha 2). Após um determinado período, o servidor executa o processamento dos dados, que consiste em calcular a média dos parâmetros por bairro, o CCP, ao fim do processamento, o **sistema de monitoramento** analisa os CCP's gerados e em seguida os CCP's e os alertas são enviados, se existirem, aos aplicativos dos usuários pelo **sistema de comunicação** (linha 3 para os CCP's e linha 4 para os alertas). Há uma **API RESTful** (linha 7) que disponibiliza funções para acesso às informações geradas, como também, funções exclusivas para o sistema, como por exemplo o cadastro do ônibus na persistência de dados (linha 6).

### 4.1 Arquitetura

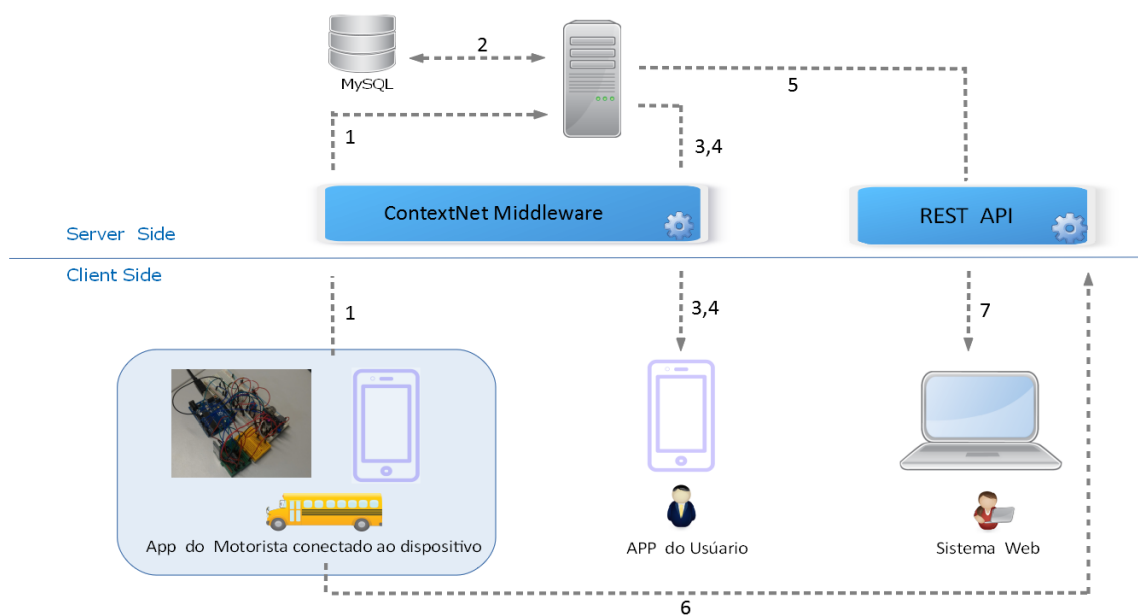


Figura 9: Arquitetura do Servidor do Sistema Canary. Fonte: Autoria Própria.

+

## 4.2 Sistema de Comunicação

A comunicação em tempo real entre os aplicativos e o servidor é feita através do middleware ContextNet. O Servidor conecta-se como *subscriber* no tópico chamado de “CanaryCCInformation”, pelo qual é recebido as informações geradas pelo dispositivo, os CC’s. Após o processamento dos CC’s, que resulta nos CCP’s, o servidor conecta-se ao ContextNet como *publisher* para o envio dos dados processados usando o tópico denominado de “CanaryCCPInformation”. Quando houver um alerta emitido, o servidor irá se conectar ao ContextNet como *publisher* e enviará os alertas pelo tópico nominado de “CanaryAlert Information”. A formatação dos dados utilizada no sistema de comunicação é em protobuf (*Protocol Buffered*), que é a formatação de dados padrão do ContextNet.

## 4.3 Sistema de Processamento

Essa funcionalidade é responsável por controlar o ciclo e realizar o processamento dos dados recebidos. Durante um determinado período de tempo, o ciclo, os dados são recebidos dos ônibus e salvos no banco de dados, eles só serão processados após o fim do ciclo.

**Exemplo:** *Vamos supor que o ciclo seja de 4 minutos: Os ônibus enviarão os dados coletados continuamente para o servidor, e o servidor só irá armazená-los. Após os 4 minutos, todos os dados que foram armazenados dentro desse período irão ser processados. Após o fim do ciclo de 4 minutos, inicia-se outro.*

O processamento se dar inicialmente pelo descobrimento da localização do CC enviado, tendo em vista que, os únicos dados de localização enviados, são a latitude e longitude. Esse processo de localização se dá pela **identificação da localidade por polígonos** (detalhado na seção 4.3.1), após esse processo, ocorre a separação regional (por bairro) para que seja gerado os CCP’s, que são as médias dos dados recolhidos por região. No fim do processamento, sinaliza-se para o servidor de comunicação que os CCP’s estão prontos para envio e são enviados para os aplicativos dos usuários.

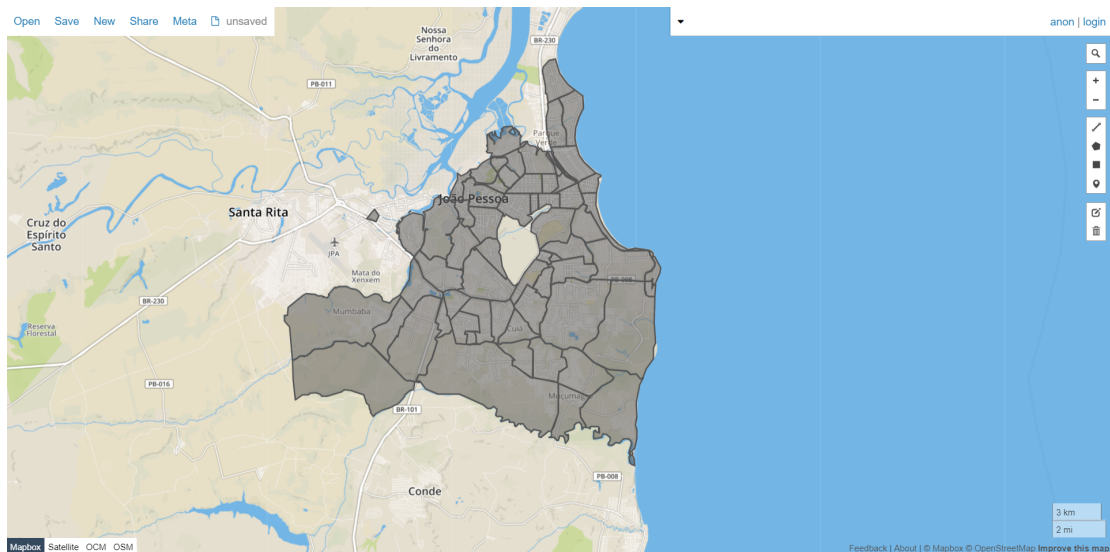
### 4.3.1 Identificação da localidade por polígonos

Para realizar este processo, a identificação da localidade por polígonos, é necessário ter um arquivo JSON com as coordenadas das bordas dos polígonos, que representam os bairros. Esse documento com o limite dos bairros foi conseguido através do site da prefeitura municipal de João Pessoa<sup>3</sup> que disponibiliza um arquivo no formato shapefile (.shp) com o limite de todos os bairros, esse documento foi transformado para o formato JSON através de uma ferramenta na internet, disponibilizada no site do geojson<sup>4</sup>, como

<sup>3</sup><http://geo.joaopessoa.pb.gov.br/digeoc/htmls/>

<sup>4</sup><http://www.geojson.io/>

pode ser visto na Figura 10.



**Figura 10: Polígonos representando os Bairros de João Pessoa. Fonte: Autoria Própria.**

No desenvolvimento deste processo, foi utilizado o pacote “pointsWithinPolygon”, cujo qual é um pacote que oferece funções de identificação de polígono para o framework NodeJS(35). Quando essa função é executada, durante o processamento dos dados, passa-se a latitude e longitude do CC como parâmetro onde ocorrerá a identificação em qual polígono se encontra, que será o retorno da função. Como por exemplo, podemos ver na Figura 11, que é um CC a ser processado, e a Figura 12 que é o retorno da função que traz os dados do polígono ao qual a coordenada pertence que são os nomes do bairro, cidade e estado .

```
[
  {
    "id": 1,
    "latitude": "-7.148003",
    "longitude": "-34.829400",
    "date_hour": "2018-06-07T21:34:26.000Z",
    "temperature": 30.471181017876443,
    "humidity": 65.34348937977941,
    "co": 75.51911753898023,
    "luminosity": 12.215725455745197,
    "methane": 68.63508857355656,
    "bus_sign": "AAA-1234"
  }
]
```

**Figura 11: CC executado pela função de identificação por polígonos. Fonte: Autoria Própria.**

```
[
  {
    "suburb": "Bancários",
    "city": "João Pessoa",
    "state": "Paraíba"
  }
]
```

**Figura 12: Retorno da função de identificação por polígonos. Fonte: Autoria Própria.**

#### 4.4 Sistema de Monitoramento

Esse sistema é responsável de analisar os parâmetros dos CCP's, onde caso haja algum fora do padrão de “recomendado”, o sistema emitirá um alerta reportando a anomalia. O servidor irá reportar os parâmetros que estiverem nos estados de Atenção, Alerta e Emergência, vistos no Quadro 8. Como não há essa especificação internacional de criticidade para todos os parâmetros monitorados, caracteriza-se:

1. Estado de Atenção é quando o nível está fora do padrão recomendado porém não há sérios riscos à saúde.
2. Estado de Alerta é quando o nível está fora do padrão recomendado e existem riscos à saúde, porém não tão graves.
3. Estado de Emergência é quando o nível está fora do padrão recomendado e a exposição ao parâmetro em questão pode ocasionar sérios danos à saúde.

Os parâmetros que são monitorados são: temperatura, umidade relativa do ar, monóxido de carbono e metano.

A temperatura ideal para o bem-estar dos seres humanos é de até 29°C, mas depende também da umidade relativa do ar, pois dependendo do nível da umidade pode aliviar ou agravar o calor, então por isso esse fator vai ser ignorado para essa classificação. O estado de atenção para a temperatura é emitida entre 30°C - 35°C, pois se nessa temperatura estiver exposto diretamente ao sol por longo tempo pode ter insolação, náuseas, dor de cabeça. Para o estado de alerta, o intervalo é de 35°C a 40°C, já que com essa temperatura, mesmo que não esteja em contato direto com o sol, as pessoas podem sentir câimbras, dor de cabeça mais fortes, náuseas, tontura entre outros sintomas. O estado de emergência é emitido quando a temperatura ultrapassa os 40°C, pois as chances que pessoas sejam afetadas aumentam significativamente, em 2017 na Europa houve uma onda

de calor em que as temperaturas passaram dos 40°C e ocasionou uma séries de mortes [21, 19].

Segundo a OMS [4], o índice recomendado da umidade relativa do ar para os seres humanos é entre 100% e 60%. O estado de atenção é emitido para o índice entre 21% - 30%, já que é um nível onde as pessoas podem sentir um certo desconforto, mas sem nenhum risco à saúde. O estado de alerta é emitido para o índice entre 12% - 20%, tal que os sintomas poderão ser sentidos com veemência. E o estado de emergência é decretado para índices abaixo de 12%, cujo é um nível é de condições extremas de sobrevivência, no Deserto do Saara a umidade relativa do ar gira em torno de 10% [11].

Para o monóxido de carbono, o nível ideal para a saúde dos humanos é entre 0ppm - 9ppm. Dentre 10ppm - 24ppm, caso a exposição ao poluente seja por um longo tempo, já é possível sentir os sintomas da exposição do CO, portanto classifica-se como estado de atenção. Entre 25ppm - 400ppm, decreta-se o estado de alerta, tendo em vista que na exposição ao poluente por 2 a 3 horas, já é possível que tenha sintomas mais fortes como: náuseas, dor de cabeça e tontura. Para níveis acima de 400 ppm, declara-se estado de emergência, já que se estiver exposto ao poluente a esse nível por poucas horas pode ser levado a óbito [22].

Segundo a OSHA (Occupational Safety and Health Administration), os índices recomendados para o metano é entre 0ppm - 1.000 ppm(15). Entre 1.000ppm - 9.999ppm caracteriza-se estado de atenção, porque mesmo não tendo risco à saúde humana, mas começa a existir um potencial de explosão. Entre 10.000ppm - 49.999ppm permanece a mesma situação, não há risco à saúde humana comprovada, porém o risco de explosão aumenta significativamente, logo denota estado de alerta. E por fim, acima de 50.000ppm classifica-se estado de emergência, pois a exposição a esse nível de poluição causa asfixia, podendo levar até a morte [28].

#### Quadro 8: Criticidade dos parâmetros monitorados

Parâmetro	Estado		
	Atenção	Alerta	Emergência
Temperatura	30°C - 35°C	35°C - 40°C	>40°C
Umidade Relativa do Ar	21% - 60%	12% - 20%	<12%
Monóxido de Carbôno	10ppm - 24ppm	25ppm - 400ppm	>400ppm
Metano	1.000ppm - 9.999ppm	10.000ppm - 49.999ppm	>50.000ppm

#### 4.5 API RESTful

A API fornece as funcionalidades de que o Sistema Canary necessita para realizar a sua execução, como também as funcionalidades de consulta aos dados coletados, processados e aos alertas emitidos.

As funções que são disponibilizadas na API que são para uso exclusivo do Sistema Canary, são as de gerenciamento para cadastro de ônibus e bairros, podendo adicionar, editar, e deletar no banco de dados do sistema. Esta API fornece as funções para a consulta, em qualquer intervalo de tempo, aos CC's (Figura 13), CCP's (Figura 14) e dos alertas emitidos.

```
{
  - ccData: [
    - {
      id: 687,
      latitude: "-7.123614",
      longitude: "-34.825030",
      date_hour: "2018-05-15T11:47:31.000Z",
      temperature: 46.41768333397462,
      humidity: 8.498387119935547,
      co: 6.086002724485029,
      luminosity: 98.0607651414226,
      methane: 20.281195515671936,
      bus_sign: "AAA-1234"
    },
    - {
      id: 688
```

Figura 13: Retorno da consulta dos CC's via API. Fonte: Autoria Própria.

```
{
  - ccpData: [
    - {
      id: 382,
      date_hour: "2018-05-15T11:47:56.000Z",
      avg_temperature: 42.669074093355135,
      avg_humidity: 73.55838451067105,
      avg_co: 57.72367365321688,
      avg_luminosity: 54.78149643979494,
      avg_methane: 88.85848579224067,
      neighborhood_id: "JP010"
    },
    - {
```

Figura 14: Retorno da consulta dos CCP's via API. Fonte: Autoria Própria.

## 5 ANÁLISES DOS RESULTADOS E TESTES

Neste capítulo será demonstrado como foi realizado o processo de validação e os testes de estresse e carga e do servidor do Sistema Canary.

### 5.1 Testes

Nesta seção foram realizados testes com a finalidade de examinar a corretude do sistema de monitoramento para as situações que possam ocorrer. Nesta seção, também, foram realizados testes de estresse e carga, a fim de analisar o desempenho do servidor em diversas situações.

#### 5.1.1 Testes do Sistema de Monitoramento

Devido a dificuldade de gerar alertas com dados reais, foram usados dados gerados manualmente com a finalidade de provocar os alertas. Foi realizado um teste para cada nível de criticidade, os estados de Atenção, Alerta e Emergência.

- **Teste para alertas de estado de atenção**

Como citado na seção 4.4, o alerta em Estado de Atenção é emitido caso atinja pelo menos um dos níveis : a temperatura entre 30°C - 35°C, a umidade entre 21% - 60%, o monóxido de carbono entre 10ppm - 24ppm e para o metano entre 1.000ppm - 9.999ppm. O CCP, da Figura 15, foi o dado utilizado como entrada para o teste, e o resultado, como pode ser vista na Figura 16, foram quatro alertas emitidos, um alerta para cada parâmetros.

```
{
  "CCP": [
    {
      "id_neighborhood": "JP043",
      "date_hour": "2018/05/28 22:43:58 ",
      "avg_temperature": 33,
      "avg_humidity": 30,
      "avg_co": 20,
      "avg_luminosity": 20,
      "avg_methane": 8000
    }
  ]
}
```

Figura 15: CCP gerado para o teste de alerta no Estado de Atenção. Fonte: Autoria Própria.

```
TEMPERATURA em Estado de ATENCAO para JP043
UMIDADE em Estado de ATENCAO para JP043
CO em Estado de ATENCAO para JP043
METANO em Estado de ATENCAO para JP043
```

Figura 16: Log do teste dos alertas para Estado de Atenção. Fonte: Autoria Própria.

- Teste para alertas de estado de alerta

Como citado na seção 4.4, o alerta em estado de alerta é emitido caso atinja pelo menos um dos níveis : a temperatura entre 35°C - 40°C, a umidade entre 12% - 20%, o monóxido de carbono entre 25ppm - 400ppm e para o metano entre 10.000ppm - 49.999ppm. O CCP, da Figura 17, foi o dado utilizado como entrada para o teste, e o resultado, como pode ser vista na Figura 18, foram quatro alertas emitidos, um alerta para cada parâmetros.

```
{
  "CCP": [
    {
      "id_neighborhood": "JP043",
      "date_hour": "2018/05/28 22:47:53 ",
      "avg_temperature": 38,
      "avg_humidity": 15,
      "avg_co": 20,
      "avg_luminosity": 100,
      "avg_methane": 35000
    }
  ]
}
```

Figura 17: CCP gerado para o teste de alerta no Estado de Alerta. Fonte: Autoria Própria.

```
TEMPERATURA em Estado de ALERTA para JP043
UMIDADE em Estado de ALERTA para JP043
CO em Estado de ATENCAO para JP043
METANO em Estado de ALERTA para JP043
```

Figura 18: Log do teste dos alertas para Estado de Alerta. Fonte: Autoria Própria.

- Teste para alertas de estado de emergência

Como citado na seção 4.4, o alerta em estado de emergência é emitido caso atinja pelo menos um dos níveis : a temperatura é acima de 40°C, a umidade é abaixo de 12%, o monóxido de carbono é acima de 400ppm e para o metano é acima de 50.000ppm. O CCP, da Figura 19, foi o dado utilizado como entrada para o teste, e o resultado, como pode ser vista na Figura 20, foram quatro alertas emitidos, um alerta para cada parâmetros.

```
"CCP": [
  {
    "id_neighborhood": "JP043",
    "date_hour": "2018/05/28 22:09:41 ",
    "avg_temperature": 42,
    "avg_humidity": 10,
    "avg_co": 500,
    "avg_luminosity": 100,
    "avg_methane": 55000
  }
]
```

Figura 19: CCP gerado para o teste de alerta no Estado de Emergência. Fonte: Autoria Própria.

```
TEMPERATURA em Estado de EMERGENCIA para JP043
UMIDADE em Estado de EMERGENCIA para JP043
CO em Estado de EMERGENCIA para JP043
METANO em Estado de EMERGENCIA para JP043
```

**Figura 20: Log do teste dos alertas para Estado de Emergência. Fonte: Autoria Própria.**

Todos os testes foram bem sucedidos, visto que, todos emitiram os alertas apropriados para cada situação.

### 5.1.2 Testes de Carga

A fim de testar o desempenho do servidor com diferentes quantidades de dados, foi realizado um teste de carga. Foi inviável realizar esses testes usando o dispositivo “real” pelo motivo que a demanda de dados é grande e levaria muito tempo para gerar esses dados usando somente uma fonte de dados, por isso, foram utilizados os simuladores (que foram descritos na seção 3.1). As cargas que foram utilizadas para testar o servidor simulam o número de dados que seriam gerados pelo tamanho da frota de ônibus de diferentes cidades. Foi procurado abordar os diferentes portes de cidades, capital regional, metrópole regional, metrópole nacional e metrópole mundial. As frotas das cidades que foram utilizadas são das cidades de João Pessoa, que possui uma frota de 540 ônibus [29], a do Recife, que têm uma frota de aproximadamente 3.000 ônibus [36], a do Rio de Janeiro, que têm uma frota de 7.240 ônibus [12], e de São Paulo, que detém uma frota de 14.457 ônibus [13].

Para a realização destes testes, partiu do pressuposto que todos os ônibus da frota estavam em circulação e que enviaram apenas um dado por ciclo. Neste teste foi mensurado o tempo de execução do processamento dos dados. Foi mensurado, também, as etapas de dentro do processamento dos dados. A *Parte 1* representa a identificação da localidade pela identificação por polígonos e a *Parte 2* representa a funcionalidade de separação por bairro e o monitoramento dos parâmetros.

O primeiro teste de carga foi simulando a frota de João Pessoa, representando a classe das capitais regionais. Foram 540 dados gerados e processados, para a realização do processamento destes dados levou 4 segundos e 508 milésimos. A *parte 1* durou 4 segundos e 352 milésimos e a *parte 2*, 156 milésimos, como pode ser visto na Figura 21.

```
Quantidade de CC's : 540  
PARTE 1: 00:04:352  
PARTE 2: 00:00:156  
Tempo de Execucao: 00:04:508
```

**Figura 21: Resultado do Teste 1. Fonte: Autoria Própria.**

O segundo teste de carga foi simulando a frota do Recife, representando o grupo das metrópoles regionais. Foram 3.016 dados gerados e processados, a duração deste processamento foi de 23 segundos e 064 milésimos. A *parte 1* durou 22 segundos e 346 milésimos e a *parte 2*, 703 milésimos, visto na Figura 22.

```
Quantidade de CC's : 3016  
PARTE 1: 00:22:346  
PARTE 2: 00:00:703  
Tempo de Execucao: 00:23:064
```

**Figura 22: Resultado do Teste 2. Fonte: Autoria Própria.**

O terceiro teste de carga foi simulando a frota do Rio de Janeiro, representando o grupo das metrópoles nacionais. Foram 7.208 dados gerados e processados, para a realização deste processamento levou 54 segundos e 849 milésimos. A *parte 1* durou 53 segundos e 177 milésimos e a *parte 2*, 1 segundo e 849 milésimos, mostrado na Figura 23.

```
Quantidade de CC's : 7208  
PARTE 1: 00:53:177  
PARTE 2: 00:01:672  
Tempo de Execucao: 00:54:849
```

**Figura 23: Resultado do Teste 3. Fonte: Autoria Própria.**

O quarto teste de carga, visto foi simulando a frota de São Paulo, representando a família das metrópoles mundiais. Foram 14.952 dados gerados e processados, para a

realização deste processamento levou 1 minutos, 50 segundos e 321 milésimos. A *parte 1* durou 1 minuto , 47 segundos e 134 milésimos enquanto a *parte 2*, 3 segundo e 172 milésimos, pode ser visto na Figura 24.

```

Quantidade de CC's : 14454

PARTE 1: 01:47:134

PARTE 2: 00:03:172

Tempo de Execucao: 01:50:321

```

**Figura 24: Resultado do Teste 4. Fonte: Autoria Própria.**

Analisando os resultados, resumidamente no Quadro 9, e a Figura 25, vimos que o tempo de execução cresce diretamente proporcional a quantidade de dados, visto que, no primeiro teste processa-se 540 dados em 4,5 segundos, uma média de 120 dados por segundo, e essa média permanece nos outros testes. Como podemos observar no segundo, processou 3.016 dados em 23 segundos e 064 milésimos que dar uma média de 130,7 dados por segundo, no terceiro realizou-se o processamento de 7.208 em 54 segundos e 849 milésimos, uma média de 131,4 dados por segundo, e no quarto teste processou 14.454 dados em 1 minuto, 50 segundos e 321 milésimos que dar uma média de 131 dados por segundo.

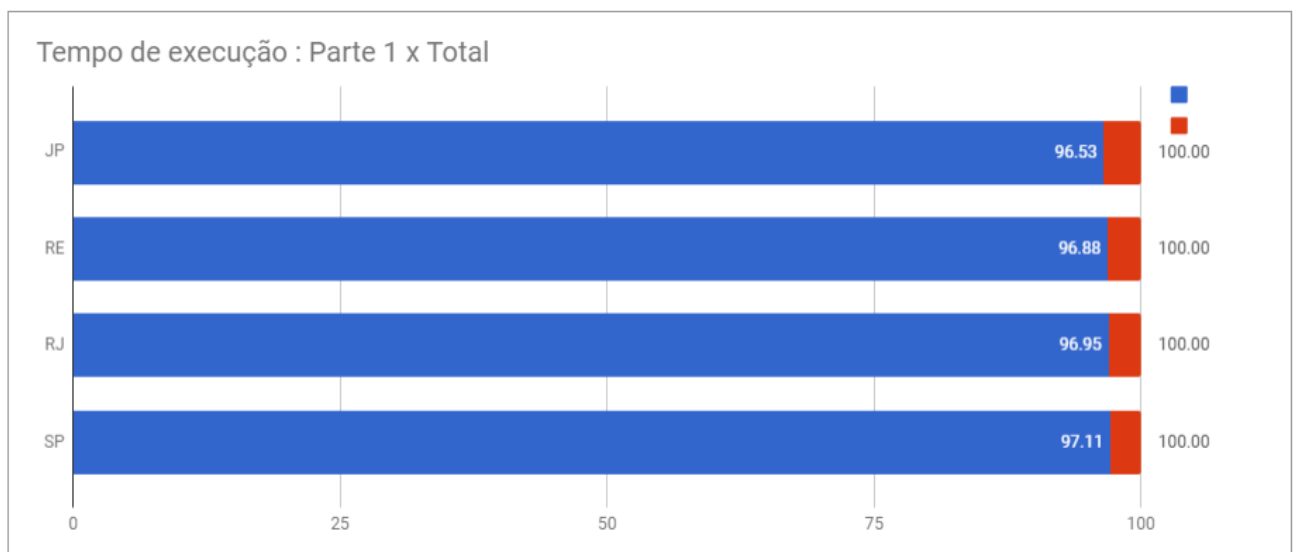
**Quadro 9: Resultados dos Testes. Fonte: Autoria Própria.**

Teste	Qtd. de CC's	Tempo de Execução
1	540	04" 508""
2	3.016	23" 064""
3	7.208	54" 849""
4	14.454	1' 50" 321""



**Figura 25: Análise do desempenho dos testes. Fonte: Autoria Própria.**

Analisando o gráfico, da Figura 26, conclui-se que a maior parte do tempo gasto para o processamento dos dados é na parte 1, na identificação da localidade por polígonos. A parte 1, toma cerca de 97% de tempo do total da execução. Com essa informação, podemos concluir que para ocorrer a otimização do algoritmo de processamento basta focar na otimização do algoritmo da parte 1, na localização por polígonos.

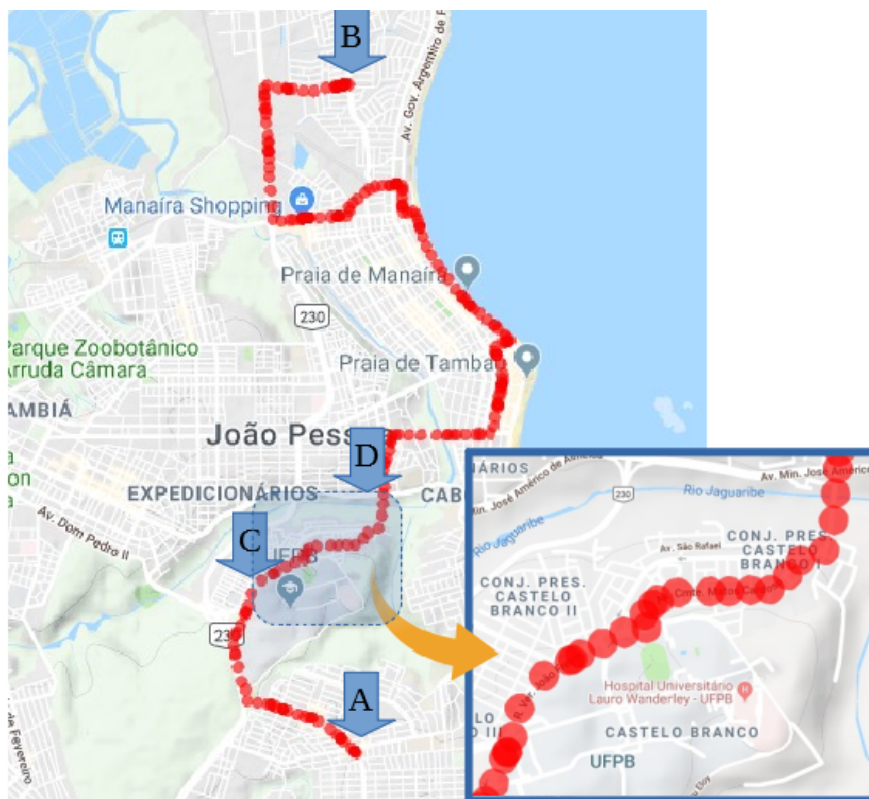


**Figura 26: Gráfico de desempenho da Parte 1 em relação ao Tempo total. Fonte: Autoria Própria.**

## 5.2 Validação do Sistema

Para realização da validação do Servidor do Sistema Canary foi realizado um teste real onde o dispositivo, dentro de um ônibus, fez o percurso do Ponto A( Bairro do Bancários) até o Ponto B(Bairro do Bessa). Todo o trajeto foi feito em 47 minutos. Como podemos ver na Figura 27, cada ponto vermelho representa a localização em que um CC foi gerado pelo dispositivo. Devido ao tamanho da amostra do teste, o espectro foi reduzido para que o teste possa ser discutido com mais detalhes. Foram utilizados neste para a ilustração do teste os CC's gerados dentre o trecho do Ponto C ao Ponto D, cujo quais foram gerados e processados no mesmo ciclo de processamento.

Os sensores de *metano* e do *monóxido de carbono* do dispositivo ainda estavam em estado de calibragem quando o teste ocorreu, os dados são reais porém não tão precisos. A calibragem dos sensores não era um fator relevante pro teste, já que o maior objetivo do teste é validar as funcionalidades do servidor.



**Figura 27: Pontos onde os CC's foram coletados no Teste de Validação. Fonte: Autoria Própria.**

No teste, o dispositivo foi configurado para gerar 5 CC's por minuto e o ciclo de processamento foi configurado para ser de 4 minutos, ou seja, a cada 4 minutos os dados coletados foram processados. Durante o teste, entre o trecho A ao B, foram gerados 234 CC's, e destes 234, foram gerados 18 CCP's nos 13 ciclos que ocorreram. O trecho do

Ponto C ao D contempla dois bairros de João Pessoa, o Castelo Branco e o Miramar. Durante esse trecho foram coletados 23 CC's, gerados 2 CCP's e emitindo 3 alertas.

Após a coleta dos CC's durante o trecho, alguns deles podem ser vistos na Figura 28, realizou-se o processamento destes dados coletados, resultando na geração de 2 CCP's, um para o bairro do Castelo Branco e outro do Miramar, como pode ser visto na Figura 29.

**Primeiro CC dos 23 gerados do Trecho C - D**

```
co      = 327.0
methane = 141.0
humidity = 59.0
date_hour = 2018/05/30 16:36:23
longitude = -34.8498857486378
bus_sign = AAA-1234
latitude = -7.13553854519958
luminosity = 184.0
temperature = 29.0
main = Wed May 30 16:37:18 GMT-03:00 2018
```

**Último CC dos 23 gerados do Trecho C - D**

```
co      = 285.0
methane = 70.0
humidity = 59.0
date_hour = 2018/05/30 16:39:59
longitude = -34.83653625573321
bus_sign = AAA-1234
latitude = -7.1254896657223235
luminosity = 716.0
temperature = 30.0
main = Wed May 30 16:40:12 GMT-03:00 2018
```

**Figura 28: CC's gerados entre o trecho do Ponto C ao D. Fonte: Autoria Própria.**

**CCP gerado do Bairro do Castelo Branco**

```
avg_methane = 124.4375
avg_temperature = 27.625
avg_co = 320.375
avg_humidity = 55.375
date_hour = 2018-05-30 16:40:58.0
avg_luminosity = 200.9375
neighborhood_id = JP015
main = Wed May 30 16:40:58 BRT 2018
```

**CCP gerado do Bairro do Miramar**

```
avg_methane = 79.5
avg_temperature = 30
avg_co = 291.5
avg_humidity = 59
date_hour = 2018-05-30 16:40:58.0
avg_luminosity = 444.5
neighborhood_id = JP043
main = Wed May 30 16:40:58 BRT 2018
```

**Figura 29: CCP's gerados ao fim do ciclo do trecho do Ponto C ao D. Fonte: Autoria Própria.**

Após a geração dos CCP's, ocorre a análise dos parâmetros a fim de identificar se há alguma anomalia. Neste caso foram identificados 3 anomalias, gerando 3 alertas. Vale lembrar que, como já citado, os *sensores de metano* e do *monóxido de carbono* do dispositivo ainda estavam em fase de calibragem, que resulta em uma certa imprecisão. Os alertas emitidos estão na Figura 30.

**Alerta de Estado de Alerta para CO para o Bairro do Castelo Branco**

```
parameter = co
date_hour = 2018-05-30 16:40:58.0
criticality_level = alert
ccp_neighborhood_id = JP015
ccp_id = 2483
main = Wed May 30 16:40:58 BRT 2018
```

**Alerta de Estado de Alerta para CO para o Bairro do Miramar**

```
parameter = co
date_hour = 2018-05-30 16:40:58.0
criticality_level = alert
ccp_neighborhood_id = JP043
ccp_id = 2484
main = Wed May 30 16:40:58 BRT 2018
```

**Alerta de Estado de Atenção para TEMPERATURA para o Bairro do Miramar**

```
parameter = temperature
date_hour = 2018-05-30 16:40:58.0
criticality_level = attention
ccp_neighborhood_id = JP043
ccp_id = 2484
main = Wed May 30 16:40:58 BRT 2018
```

**Figura 30: Alertas gerados durante o Trecho do Ponto C ao D. Fonte: Autoria Própria.**

Com este teste, foi validado o Servidor do Sistema Canary, visto que, cumpriu todos seus requisitos.

## 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A poluição do Ar é um grande mal que afeta não só a saúde da população, mas como também os setores sócio-econômicos do país, devido aos gastos em saúde pública para tratar pessoas com doenças relacionadas à poluição do ar. Com o sistema desenvolvido neste trabalho poderá auxiliar o combate desse mal com mais veemência. Os testes realizados constataram a eficácia do propósito do servidor, cujo objetivo é gerar informações detalhadas da qualidade do ar por bairro e emitir alertas quando os índices estiverem fora do “aceitável”. A API RESTful disponibilizará todas as informações para que possam ser consultadas, isto possibilitará que novos sistemas possam ser desenvolvidos para que, também, ajudem a prevenir e combater e a poluição do ar.

A principal dificuldade no desenvolvimento deste trabalho foi a falta de documentação padronizada com os nomes dos bairros, já que durante a pesquisa, foram encontrados vários documentos relatando diferentes nomes. Isso dificultou na integração do servidor com o sistema web do Canary.

Este trabalho serviu para que fossem colocados em práticas conhecimentos adquiridos ao longo curso, como por exemplo Programação Concorrente, Banco de Dados, Computação Pervasiva e Engenharia de Software.

Como trabalhos futuros, planeja-se adicionar novas funcionalidades ao sistema, como por exemplo, expandir a gama dos parâmetros que são coletados e processados, adicionar um sistema de previsões dos índices dos dados. Pretende-se realizar uma otimização no algoritmo de identificação de polígono, já que como foi visto, custa cerca de 97% do tempo total do processamento. Por último, deseja-se implementar um bot no twitter onde irá “twittar” as condições gerais dos bairro periodicamente.

## REFERÊNCIAS

- [1] ADVANTICSYS. Air Quality Monitoring solution contributes to reduce traffic pollution in Chester, UK. Disponível em: <<https://www.advanticsys.com/air-quality-monitoring-solution-contributes-to-reduce-traffic-pollution-in-chester-uk/>>. Acesso em: 16 abr. 2018.
- [2] BRAGANÇA, Daniele . Brasil não cumpre legislação sobre qualidade do ar. 10/12/2017. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/reportagens/brasil-nao-cumpra-legislacao-sobre-qualidade-do-ar/>>. Acesso em: 13 maio 2018.
- [3] BREEZE. Air Quality Monitoring for Smart Cities. Disponível em: <<https://www.breeze-technologies.de/solutions/air-quality-monitoring-for-smart-cities/>>. Acesso em: 18 abr. 2018.
- [4] CENTRO DE GERENCIAMENTO DE EMERGÊNCIA CLIMÁTICAS. Umidade relativa do ar. Disponível em: <<https://www.cgesp.org/v3/umidade-relativa-do-ar.jsp>>. Acesso em: 10 abr. 2018.
- [5] CONCORDIA. An Iot Cloud Platform enabling smart services. Disponível em: <<https://concordia.advanticsys.net/>>. Acesso em: 10 abr. 2018.
- [6] CORIANDER, Agrifacts. Practical information for Alberta’s agriculture industry. Disponível em: <<https://alis.alberta.ca/occinfo/industry-profiles/agriculture/>>. Acesso em: 29 abr. 2018.
- [7] DAVID, Lincoln et al. A DDS-based middleware for scalable tracking, communication and collaboration of mobile nodes. *Journal of Internet Services and Applications*, v. 4, n. 1, p. 16, 2013.
- [8] ENDLER, M. et al. ContextNet: context reasoning and sharing middleware for large-scale pervasive collaboration and social networking. In: *Proceedings of the Workshop on Posters and Demos Track*. ACM, 2011. p. 2.
- [9] ENVIRONMENT TECHNOLOGY. US EPA and Aeroqual will work together for low cost air quality sensor future. May 09 2018. Disponível em: <<https://www.envirotech-online.com/news/air-monitoring/6/aeroqual-limited/us-epa-and-aeroqual-will-work-together-for-low-cost-air-quality-sensor-future/45997>>. Acesso em: 12 maio 2018.
- [10] FINIANDTODAY. Air Pollution Causes 1,600 Premature Deaths in Finland Yearly. Disponível em: <<https://finlandtoday.fi/air-pollution-causes-1600-premature-deaths-in-finland-yearly/>>. Acesso em: 11 maio 2018.

- [11] GRANDELLE, Renato. Cidades do centro do país têm umidade menor que o Deserto do Saara. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/cidades-do-centro-do-pais-tem-umidade-menor-que-deserto-do-saara-2698742/>>. Acesso em: 08 maio 2018.
- [12] GLOBO. Mais da Metade dos ônibus do Rio não tem ar. Disponível em : <<https://oglobo.globo.com/rio/mais-da-metade-dos-onibus-do-rio-nao-tem-ar-condicionado-21758965>>. Acesso em 23 maio 2018.
- [13] G1. Frota de ônibus de SP será reduzida em mais de 800 veículos. Disponível em : <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/frota-de-onibus-de-sp-sera-reduzida-em-mais-de-800-veiculos-secretario-diz-que-nao-havera-demissoes.ghtml>>.
- [14] HASENFRATZ, David. Enabling Large-Scale Urban Air Quality Monitoring with Mobile Sensor Nodes. 2015. Tese de Doutorado. ETH Zurich.
- [15] INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER et al. IARC: Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. International Agency for Research on Cancer, 2011.
- [16] INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. Plataforma da qualidade do ar. Disponível em: <<http://www.energiaeambiente.org.br/2015/08/plataforma-da-qualidade-do-ar/>>. Acesso em: 13 maio 2018.
- [17] INSTITUTO NACIONAL DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL. Sete doenças causadas pela poluição do ar: A má qualidade do ar nas grandes cidades traz sérias complicações para a saúde. Disponível em: <<http://ineam.com.br/sete-doencas-causadas-pela-poluicao-do-ar/>>. Acesso em: 11 abr. 2018.
- [18] IRFAN, Umair. Why India's air pollution is so horrendous: Eleven out of the 12 most polluted cities on a World Health Organization list were in India. Disponível em: <<https://www.vox.com/2018/5/8/17316978/india-pollution-levels-air-delhi>>. Acesso em: 13 maio 2018.
- [19] JEWELL, Tim. Hot and Cold: Extreme Temperature Safety. Disponível em: <<https://www.healthline.com/health/extreme-temperature-safety#extreme-heat-temperatures>>. Acesso em: 08 maio 2018.
- [20] KEARNS, Jeff ; DORMIDO , Hannah ; MCDONALD, Alyssa. China's War on Pollution Will Change the World. March 9, 2018. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/graphics/2018-china-pollution/>>. Acesso em: 13 maio 2018.

- [21] KNOX, Patrick. Brits warned scorching ‘Lucifer’ heatwave will continue next week – as experts say heatwaves ‘could kill 150,000 in Europe’ by 2080: Experts forecast more extreme weather for the UK with searing heat leading to mass deaths this century. Disponível em: <<https://www.thesun.co.uk/news/4178133/summer-heatwave-europe-uk-kill-150000/>>. Acesso em: 08 maio 2018.
- [22] KNOWLEDGE CENTER. CO Health Risks. Disponível em: <<https://www.detectcarbonmonoxide.com/co-health-risks/>> . Acesso em: 07 maio 2018.
- [23] Lago, Daniel Mousinho, et al. ”MATERIAIS PARTICULADOS PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> E NANOMÉTRICOS, ORIGINADOS NAS EMISSÕES DE UM MOTOR DIESEL.”
- [24] LELIEVELD, Jos et al. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, v. 525, n. 7569, p. 367, 2015.
- [25] LIMAYE , Vijay. Ahmedabad’s New Air Quality Monitors Advance Public Health. May 12, 2018. Disponível em: <<https://www.nrdc.org/experts/vijay-limaye/new-monitoring-air-quality-ahmedabad-protects-health>>. Acesso em: 13 maio 2018.
- [26] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Qualidade do Ar. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>>. Acesso em: 12 abr. 2018.
- [27] NUMBEO. Pollution Index for Country 2018. Disponível em: < *https* : [//www.numbeo.com/pollution/rankingsbycountry.jsp](http://www.numbeo.com/pollution/rankingsbycountry.jsp) >. Acesso em: 12 maio 2018.
- [28] PRASAD, Saurabh; ZHAO, Linlu; GOMES, James. Methane and natural gas exposure limits. *Epidemiology*, v. 22, n. 1, p. S251, 2011.
- [29] PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA. Dados sobre o Sistema de Transporte Coletivo Convencional. Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/semob/onibus/>> . Acesso em: 23 maio 2018
- [30] REDEBRASIL. Poluição do ar mata mais que acidentes de trânsito em São Paulo: No Dia de Combate à Poluição, estudo revela que respirar por duas horas no trânsito da capital paulista equivale a fumar um cigarro. Disponível em: <http://www.redebrasilatual.com.br/ambiente/2017/08/poluicao-do-ar-mata-mais-que-acidente-de-transito-em-sp>. Acesso em: 12 abr. 2018.
- [31] SANTOS, Veridiana de Paula et al. Poluentes atmosféricos associados ao peso insuficiente ao nascimento. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 19, p. 89-99, 2016.

- [32] SHARMA, Dipanshu. A Letter from Our Founder & CEO: xAd Acquires Weather-Bug. November 15th, 2016. Disponível em: <<https://www.weatherbug.com>>. Acesso em: 18 abr. 2018.
- [33] SPECTOR, Julian. How Portable Air Sensors Are Changing Pollution Detection: The new generation of tools could revolutionize air quality measures for city residents and governments alike. Disponível em: <<https://www.citylab.com/environment/2015/08/how-portable-air-sensors-are-changing-pollution-detection/401147/>>. Acesso em: 30 abr. 2018.
- [34] TURFJS. Advanced geospatial analysis for browsers and Node.js. Disponível em: <<http://turfjs.org/>>. Acesso em: 20 maio 2018.
- [35] United States Environmental Protection Agency. Air Data: Air Quality Data Collected at Outdoor Monitors Across the US. Disponível em: <<https://www.epa.gov/outdoor-air-quality-data>>. Acesso em: 13 maio 2018.
- [36] URBANAPE. O Sistema de Transporte. Disponível em: <<http://urbana-pe.com.br/sobre/o-sistema-de-transporte>>. Acesso em 23 de maio.
- [37] VASCONCELOS, Igor et al. Desenvolvendo Aplicações de Rastreamento e Comunicação Móvel usando o Middleware SDDL. In: Salão de Ferramentas, Brazilian Symposium on Computer Networks and Distributed Systems (SBRC 2013). 2013.
- [38] VORMITTAG, EMPAA et al. Monitoramento da qualidade do ar no Brasil. Instituto Saúde e Sustentabilidade, 2014.
- [39] WORLD HEALTH ORGANIZATION. Ambient (outdoor) air quality and health. 2016. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>>. Acesso em: 11 abr. 2018
- [40] WORLDWIDE AIR QUALITY. Disponível em: <<http://aqicn.org/>>. Acesso em: 13 maio 2018.
- [41] YLE, Uutiset. WHO: Finland has the world's cleanest air: According to statistics from the World Health Organisation, the air in Finland is the cleanest in the world. Disponível em: < *https* : *//yle.fi/uutiset/osasto/news/who\_finland\_has\_the\_worlds\_cleanest\_air/10188554/* >. Acesso em: 11 maio 2018.