



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS QUIXADÁ
BACHARELADO EM DESIGN DIGITAL

FRANCISCO MACELO DA COSTA CAVALCANTE

**SOLIDBITS: DESIGN DE SISTEMA PARA MONITORAMENTO DA PRODUÇÃO
E GESTÃO DA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

QUIXADÁ
2018

FRANCISCO MACELO DA COSTA CAVALCANTE

SOLIDBITS: DESIGN DE SISTEMA PARA MONITORAMENTO DA PRODUÇÃO
E GESTÃO DA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Monografia apresentada ao curso de Design Digital da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Design Digital. Área de concentração: Programas interdisciplinares envolvendo Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC).

Orientador: Prof. Dr. Paulo Victor Barbosa de Sousa.

QUIXADÁ

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C364s Cavalcante, Francisco Macelo da Costa.
SolidBits: design de sistema para monitoramento da produção e gestão da coleta de resíduos sólidos /
Francisco Macelo da Costa Cavalcante. – 2018.
90 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá,
Curso de Design Digital, Quixadá, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Paulo Victor Barbosa de Sousa.
1. Resíduos sólidos. 2. Internet das coisas. 3. Computação ubíqua. I. Título.
- 745.40285 CDD
-

FRANCISCO MACELO DA COSTA CAVALCANTE

SOLIDBITS: DESIGN DE SISTEMA PARA MONITORAMENTO DA PRODUÇÃO
E GESTÃO DA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Monografia apresentada ao curso de Design Digital da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Design Digital. Área de concentração: Programas interdisciplinares envolvendo Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC).

Aprovada em: ___ / ___ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Victor Barbosa de Sousa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Helder Candido dos Santos Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Neto de Faria
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial à minha mãe, Helena, que sempre me incentivou a buscar e dar o melhor de mim, e que me apoia incondicionalmente.

Ao professor Paulo Victor Barbosa de Sousa, pela importante orientação no desenvolvimento do trabalho.

Aos professores que compuseram a banca e se disponibilizaram a ler e contribuir com o enriquecimento do trabalho.

A todo o corpo docente do curso de Design Digital, por todas as contribuições em minha formação profissional.

A Dyego Abrantes, pela companhia na jornada, e por me impelir a sair da zona de conforto e desbravar o mundo.

A todos os que, de algum modo, contribuíram em minha formação acadêmica.

Aos poucos e bons amigos.

“São as perguntas que não podemos responder
que mais nos ensinam.”

Patrick Rothfuss

RESUMO

O serviço de coleta de resíduos sólidos desempenha um papel fundamental na manutenção do espaço, e sua execução envolve o contínuo monitoramento de lixeiras. Essa atividade é realizada muitas vezes de modo manual, porém, tal método se mostra ineficiente em locais que possuem grandes áreas e volume de pessoas, já que a produção de resíduos não é constante e o tempo que as lixeiras levam para encher é variável. Para planejar melhor a coleta, é necessário ter acesso a informações em tempo real sobre o estado das lixeiras, de maneira que seja possível realizá-la somente quando e onde for necessário. Este trabalho apresenta SolidBits, uma solução de design digital que objetiva melhorar a eficiência do processo de coleta de resíduos sólidos usando lixeiras equipadas com sensores, conectadas a uma aplicação *web* de gerência. Em seu desenvolvimento, aplicaram-se técnicas e práticas do design digital e produziram-se protótipos testados na Universidade Federal do Ceará - *campus* Quixadá. Como resultado, chegou-se a uma estrutura capaz de gerenciar múltiplas lixeiras e fornecer informações acerca da produção e coleta de resíduos, alimentada pelo processamento dos dados obtidos pelos sensores. Ainda que nem todos os recursos esperados tenham sido implementados, como o uso de algoritmos de aprendizagem de máquina, e que problemas tenham sido encontrados com alguns sensores, a proposta aponta possibilidades reais de melhoria na eficiência do processo de coleta e abre espaço para diversos aprofundamentos.

Palavras-chave: coleta de resíduos sólidos. Internet das coisas. Computação ubíqua. Design digital.

ABSTRACT

The solid waste collection service plays a key role in maintaining the salubrity of the space, and its execution involves the continuous monitoring of trash cans. This activity is often performed manually, but such a method proves inefficient in locations with large areas and volume of people since waste production is not uniform and the time that the trash cans take to fill is variable. To better plan the collection it is necessary to have access to real-time information about the state of the trash cans so that it can be performed only when and where it is needed. This paper presents SolidBits, a digital design solution that aims to improve the efficiency of the solid waste collection process using trash cans equipped with sensors and connected to a web management system. In its development, digital design techniques and practices were applied and prototypes were produced and tested at the Federal University of Ceará - *campus* Quixadá. As a result, was obtained a structure capable of managing multiple trash cans and provide information about the production and collection of solid waste, powered by the processing of the data obtained by the sensors. Although not all the expected resources have been implemented, such as the use of machine learning algorithms, and that problems have been found with some sensors, the proposition points out real possibilities of improvement in the efficiency of the collection process and opens space for various deepening.

Keywords: solid waste collection. Internet of things. Ubiquitous computing. Digital design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma processual do gerenciamento de resíduos sólidos	21
Figura 2 - Tela principal do aplicativo Android desenvolvido por Mware (2017)	29
Figura 3 - Exibição das lixeiras na interface desenvolvida por Karadimas <i>et al.</i> (2016)	32
Figura 4 - Cronograma de execução do projeto	36
Figura 5 - Primeiro modelo virtual e código montados no Tinkercad	40
Figura 6 - Esquema de montagem do circuito da lixeira e lista de componentes elétricos	42
Figura 7 - Montagem da balança	43
Figura 8 - Haste de metal usada para impedir movimento completo da tampa basculante	44
Figura 9 - Montagem final dos componentes na tampa da lixeira	45
Figura 10 - Indicadores da parte frontal da tampa e recipiente dos demais componentes	46
Figura 11 - Vista superior da lixeira, sem a tampa	47
Figura 12 - Localização dos componentes no protótipo da lixeira (vista traseira)	48
Figura 13 - Fluxograma processual de execução do código gerado para o Arduino	50
Figura 14 - Referências visuais	52
Figura 15 - <i>Wireframes</i> das telas de visão geral e configurações	53
Figura 16 - <i>Mockup</i> da tela "Visão geral"	54
Figura 17 - Gráficos gerados através da biblioteca C3.js	56
Figura 18 - Visualização da rede	57
Figura 19 - <i>Tooltip</i> gerado com a biblioteca Tooltip for Angular	57
Figura 20 - Alterações no botão de dica	58
Figura 21 - Alterações no indicador de erro na visualização de rede	59
Figura 22 - Alterações no indicador de estado	59
Figura 23 - Diagrama de arquitetura do SolidBits	62
Figura 24 - Cores usadas no projeto	63
Figura 25 - Logotipo do SolidBits	64
Figura 26 - Exemplo de ilustração	64
Figura 27 - Fontes tipográficas selecionadas	65
Figura 28 - Ícones usados	65
Figura 29 - Espaçamentos usados	66
Figura 30 - Componentes aninhados em uma estrutura de <i>grid</i>	66
Figura 31 - Recorte da página "Configurações"	67
Figura 32 - Recorte da página "Visão geral"	68
Figura 33 - Recorte da página "Coleta"	68
Figura 34 - Recorte da página "Rede"	69
Figura 35 - Indicação de falha na página "Rede"	69
Figura 36 - Recorte da página "Nó"	70
Figura 37 - Influência da temperatura nas células de carga	71
Figura 38 - Leituras errôneas do nível de preenchimento	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação de sensores usados nas propostas apresentadas	33
Tabela 2 - Detalhes das observações participantes	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Categorias de modelos da engenharia de sistemas	19
Quadro 2 - Classificação dos resíduos sólidos quanto à origem	20
Quadro 3 - Fases do projeto	35
Quadro 4 - Tarefas do teste de usabilidade	58
Quadro 5 - Especificações de cor	73
Quadro 6 - Especificações de <i>layout</i>	74
Quadro 7 - Especificações de tipografia	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IoT - Internet of Things

MQTT - Message Queue Telemetry Transport

RFID - Radio Frequency Identification, ou Identificação por Rádio Frequência

RSUs - Resíduos sólidos urbanos

TICs - Tecnologias da Informação e Comunicação

UFC - Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Delimitação do projeto	16
1.2	Justificativa	16
1.3	Objetivos	17
1.3.1	<i>Objetivo geral</i>	17
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Resíduos sólidos	18
2.1.1	<i>Classificação dos resíduos sólidos</i>	20
2.1.2	<i>Processo de gerência</i>	21
2.2	Computação ubíqua e Internet das Coisas	23
2.3	<i>Smart city e smart campus</i>	25
3	TRABALHOS RELACIONADOS	28
3.1	Protótipo de lixeira inteligente para gerenciamento de lixo interno	28
3.2	Sistema de alerta e predição de geração de lixo utilizando lixeiras inteligentes e aprendizado de máquina	30
3.3	Nó integrado baseado em tags RFID para aplicações voltadas à smart city – caso de uso de lixeiras	31
3.4	Comparação de tecnologias utilizadas	33
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	35
4.1	Cronograma de execução	36
5	DESENVOLVIMENTO	37
5.1	Entrevista e observação	37
5.2	Elaboração da proposta	38
5.2.1	<i>Protótipo da lixeira</i>	38
5.2.1.1	<i>Escolha dos componentes eletrônicos e montagem do circuito</i>	39
5.2.1.2	<i>Montagem do protótipo</i>	43
5.2.1.3	<i>Programação</i>	47
5.2.2	<i>Protótipo do sistema</i>	50
5.2.2.1	<i>Wireframes</i>	51
5.2.2.2	<i>Mockups</i>	54
5.2.2.3	<i>Prototipação do aplicativo</i>	55

5.2.2.4	<i>Teste de usabilidade</i>	58
5.2.3	<i>Servidor</i>	59
5.2.4	<i>Definição de diretrizes visuais</i>	63
6	RESULTADOS	67
6.1	Problemas encontrados e pontos de melhoria observados	70
6.2	Especificações do sistema de design	73
7	CONCLUSÃO	76
	REFERÊNCIAS	78
	APÊNDICE A - ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA .	83
	APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	84
	APÊNDICE C - TRANSCRIÇÃO DA ENTREVISTA COM FUNCIONÁRIO DA PREFEITURA DA UFC QUIXADÁ	85
	APÊNDICE D - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO CIRCUITO DA LIXEIRA	90

1 INTRODUÇÃO

A gerência dos resíduos sólidos é um tema que acompanha a humanidade durante toda sua história. Segundo Eigenheer (2009), já na Pré-história, queima-se o lixo, e as cinzas e ossos são dispostos em lugares separados; na Idade Antiga, os romanos desenvolvem uma infraestrutura de ruas e estradas que facilita a limpeza e manutenção das cidades; na Idade Média, a ausência quase geral de ruas pavimentadas, canalização e coleta regular de resíduos levam a consequências funestas, como epidemias, o que a torna determinante na definição de normas para a manutenção do espaço privado e público; na Idade Moderna, a teoria microbiana das doenças produz uma mudança radical na visão da saúde pública e criam-se diversos aperfeiçoamentos na coleta e tratamento dos resíduos. A Idade Contemporânea traz consigo o desenvolvimento de materiais e técnicas que produzem mudanças significativas nos processos de acomodação, tratamento e destinação dos resíduos, como a sacola plástica, que surge na década de 1970 e soluciona diversas questões relacionadas à acomodação adequada. Ao mesmo tempo, revelam-se diversos problemas ambientais causados pelos resíduos e crescem as preocupações quanto ao impacto causado por eles na natureza. Atualmente, uma série de tecnologias e processos são usados para reaproveitar resíduos, transformando-os em matéria-prima que pode ser usada na fabricação de novos produtos.

Nesse contexto, a gerência adequada dos resíduos sólidos representa uma atividade extremamente importante, mas que atualmente representa um desafio mundial. Fatores como o rápido desenvolvimento industrial, o aumento da população e mudanças nos hábitos de consumo contribuem ativamente em sua geração (MAMUN; HANNAN; HUSSAIN, 2014), que se acentua principalmente em países em desenvolvimento. Isso se deve à urbanização e ao rápido crescimento industrial comuns em países emergentes, e é, por exemplo, o caso do Brasil, que no ano de 2016 gerou aproximadamente 78,3 milhões de toneladas de resíduos, dos quais 7 milhões de toneladas sequer foi coletada (ABRELPE, 2016).

Em áreas urbanas, o gerenciamento de resíduos sólidos é um dos serviços mais caros, e chega a consumir até 50% dos recursos de países em desenvolvimento (MAMUN *et al.*, 2015). No Brasil, especificamente, os gastos com o serviço chegam a custar 20% dos fundos dos municípios (IBGE, 2010).

Dentre as etapas do processo de gerência (coleta, transporte, tratamento e disposição final), a coleta é a que demanda mais recursos, o que se deve em parte à sua grande abrangência. Segundo Monteiro *et al.* (2001, p. 3), “esse fato se deve à pressão exercida pela população e pelo comércio para que se execute a coleta com regularidade, evitando-se assim o incômodo

da convivência com o lixo nas ruas”. Os altos custos do serviço estão relacionados a diversos fatores: é necessário dispor de uma frota (custos de investimento); fornecer combustível, realizar a manutenção dos veículos, pagar aos funcionários (custos operacionais) e, além disso, lidar com os impactos causados pelo serviço, que se revelam nas emissões, ruídos e congestionamentos causados pela frota (custos ambientais) (FACCIO; PERSONA; ZANIN, 2011). Em suma, é um processo caro e ineficiente, mas indispensável.

De acordo com McLeod *et al.* (2013), a maioria das operações de coleta funciona com base em rotas fixas, de modo que são realizadas em locais determinados e nos mesmos dias da semana. Em seu planejamento, consideram-se todas as lixeiras existentes no percurso sem importar seu estado, pois não se dispõe de qualquer informação prévia sobre os resíduos a serem coletados. Dessa maneira, variáveis como a quantidade de resíduos a ser recolhida, a capacidade dos veículos e os pontos específicos de parada não são consideradas, o que dificulta realizar otimizações na operação e se revela um enorme obstáculo para a implantação de novas estratégias de coleta que permitam chegar-se a um programa de gerenciamento adequado.

O mesmo ocorre em menor escala em ambientes internos, como residências e instituições. Na realização do processo, é necessário checar as lixeiras uma a uma para decidir se os resíduos devem ser coletados ou não. Em lugares onde muitas lixeiras são necessárias, o intervalo entre essas checagens não pode ser muito longo porque uma lixeira pode ficar cheia rapidamente e precisar de atenção, assim como pode demorar mais tempo que a maioria e ser esvaziada com menor regularidade (MWARE, 2017). A inconstância na produção dos resíduos torna imprescindível realizar o monitoramento.

Como resultado, a ausência de informações sobre a geração de resíduos sólidos se reflete nos dados estatísticos da limpeza urbana do país, que “são muito deficientes, pois as prefeituras têm dificuldades em apresentá-los, já que existem diversos padrões de aferição de diversos serviços” (MONTEIRO *et al.*, 2001, p. 4).

Conforme apontam Bashir e Khan (2013, p. 604, tradução nossa), “o modo tradicional de monitorar manualmente os resíduos em lixeiras é um processo incômodo e complexo, e utiliza esforço humano, tempo e custo que não são compatíveis com as tecnologias atuais de nenhum modo”¹. Além disso, o “modo tradicional” é incapaz de lidar de modo satisfatório com grandes volumes de resíduos, como as quantidades que se produzem atualmente. A baixa eficiência desse modelo de gerenciamento é um sério problema, e uma vez que ele afeta tanto a nossa qualidade de vida como o meio ambiente, há enorme necessidade de resolvê-lo.

¹ “The traditional way of manually monitoring the wastes in waste bins is a complex, cumbersome process and utilizes more human effort, time and cost which is not compatible with the present day technologies in any way”

Logo, um sistema de coleta e gerenciamento de resíduos sólidos eficiente exige acesso a informações em tempo real sobre o status de cada lixeira de modo que seja possível determinar as melhores horas e rotas para a coleta através de um sistema de gerência (MAMUN *et al.*, 2013). Desse modo, torna-se possível: realizar a coleta somente onde for necessário, o que contribui para reduzir as distâncias percorridas e o tempo ocioso dos veículos e pessoal (MAMUN; HANNAN; HUSSAIN, 2014); identificar padrões de geração de resíduos (FACCIO; PERSONA; ZANIN, 2011), o que permite reduzir a quantidade de veículos e pessoal necessários para a execução do serviço e, ainda, dimensionar a quantidade de lixeiras necessárias em diferentes áreas do espaço físico.

Atualmente, as principais pesquisas sobre coleta de resíduos sólidos, quando relacionadas a tecnologias digitais, giram em torno do desenvolvimento de lixeiras equipadas com sensores que capturam dados relativos aos resíduos nelas presentes, como o peso e a porcentagem ocupada. Os dados são transmitidos através da Internet e acessados por *softwares* que permitem visualizá-los e, a partir deles, é realizado o planejamento da coleta. São usadas tecnologias digitais que hoje se encontram amplamente disponíveis, como identificação por radiofrequência (RFID), sistemas de informações geográficas (GIS), serviços gerais de pacotes de rádio (GPRS), Bluetooth, Wi-Fi, sistema de posicionamento global (GPS), reconhecimento de padrões e aprendizado de máquina.

Nessas pesquisas, maior atenção é dada ao funcionamento da lixeira, ao passo que as aplicações para gerenciamento, quando desenvolvidas, oferecem funções básicas como a simples listagem das lixeiras conectadas e dos dados coletados pelos sensores, o que torna impraticável utilizá-las em cenários com muitas lixeiras distribuídas.

No momento presente, desenvolvimentos nas TICs (Tecnologias de Informação e Comunicação) e especialmente na abordagem da Internet das Coisas permitem que dados em tempo real sejam coletados e distribuídos – dados que, devidamente processados, podem se tornar informações que são chave para aprimorar a eficiência dos serviços oferecidos (KARADIMAS *et al.*, 2016). No contexto de uma *smart city* ou de um *smart campus*, ambientes que integram múltiplas tecnologias para gerenciar os recursos disponíveis, isso significa ser informado instantaneamente sobre o que ocorre com tais recursos e então definir políticas que contribuam para utilizá-los com mais eficiência e também para uma melhor qualidade de vida da comunidade. Tanto em cidades como em ambientes residenciais e institucionais, tais informações poderiam contribuir com o trabalho dos responsáveis pela coleta e beneficiar diretamente as pessoas que ali estão diariamente, possibilitando uma maior compreensão acerca da problemática do lixo.

Este trabalho apresenta uma proposta para o monitoramento e gerenciamento da coleta de resíduos sólidos que se dá partir da integração de lixeiras inteligentes a uma aplicação *web*. A lixeira usa sensores que recolhem dados sobre os resíduos nela depositados e os envia através da Internet para um servidor que gerencia o armazenamento e processamento de tais dados, e também provê a aplicação. Esta, por sua vez, fornece diversas informações sobre os resíduos, como estatísticas sobre a produção e rotas para coleta, em uma interface planejada para ser simples e eficiente. O sistema oferece a flexibilidade necessária para ser capaz de funcionar em qualquer ambiente interno, adaptando-se à estrutura física do local. A proposta desenvolvida, ainda que se trate de um protótipo, aponta possibilidades para a melhoria da eficiência do processo de coleta.

O foco prático principal do projeto é, através do uso de práticas e processos do design digital, desenvolver protótipos funcionais, capazes de comunicarem-se digitalmente, que possam ajudar a compreender como os dados obtidos podem transformar-se em informações que contribuam para a otimização do serviço de coleta de resíduos sólidos. Para tanto, realizou-se uma experimentação com os protótipos desenvolvidos na UFC Quixadá, o que demonstrou as potencialidades do sistema e também falhas a serem corrigidas. A proposta apoia a transição da referida instituição para um *smart campus*, agindo com um sistema de gerência da coleta de resíduos sólidos que pode ser usado em conjunto ou integrado a outros sistemas de gerenciamento.

1.1 Delimitação do projeto

O foco principal do projeto é, através do uso de práticas e processos do design digital, desenvolver protótipos de uma lixeira inteligente e de uma aplicação *web* capazes de comunicarem-se digitalmente. Não são parte do escopo do projeto testes de desempenho e uso de técnicas avançadas de aprendizado de máquina, embora o protótipo da aplicação dê suporte à exibição de informações obtidas a partir desse processo, como a projeção de geração de resíduos. A implementação e monitoramento da lixeira e da aplicação fora de um ambiente de testes também não pertencem ao escopo do projeto.

1.2 Justificativa

A proposta surge da percepção sobre a necessidade da introdução de melhorias no processo de coleta dos resíduos sólidos, girando em torno da obtenção de dados a partir de resíduos descartados em lixeiras, bem como da exibição adequada das informações obtidas a partir do processamento de tais dados, em uma interface clara e simples de usar. Uma vez que a ausência de informações preliminares sobre os resíduos depositados é um dos fatores que mais

dificultam realizar otimizações no processo de coleta, a proposta permite planejá-lo de modo mais adequado, o que contribui na otimização do uso de recursos, a partir da coleta de dados.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver uma solução de design digital que atue no monitoramento da coleta dos resíduos sólidos, que se dá através da integração de lixeiras equipadas com sensores a uma aplicação *web* responsável por comunicar efetivamente as informações obtidas, a partir do processamento dos dados coletados.

1.3.2 Objetivos específicos

- Levantar dados sobre a geração de resíduos sólidos na Universidade Federal do Ceará – *Campus* Quixadá;
- Identificar dados importantes para o monitoramento informatizado de lixeiras;
- Desenvolver o protótipo de uma lixeira capaz de capturar dados sobre os resíduos nela contidos e enviá-los através da Internet para um servidor remoto;
- Implementar uma aplicação *web* capaz de exibir a disposição das lixeiras conectadas no espaço físico, quantificar os resíduos nelas contidos, sugerir rotinas de coleta e exibir estatísticas sobre a produção de resíduos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir, são apresentados conceitos importantes para a execução do presente trabalho. O primeiro deles, resíduos sólidos, visa permitir uma maior compreensão acerca de suas definições, problemática e de que modo a gerência de sua coleta pode ser realizada de modo a otimizar sua eficiência. O tema seguinte, computação ubíqua e Internet das Coisas, relaciona-se de modo intrínseco à proposta desenvolvida, que utiliza um objeto inteligente. Essas definições são a base do último tema, *smart city* e *smart campus*, conceitos que encontram seu apoio no uso de sistemas que permitam gerenciar os recursos disponíveis de modo a utilizá-los com mais eficiência, tal como se ambiciona.

2.1 Resíduos sólidos

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define e classifica os resíduos sólidos na NBR 10004, de 2004. Na norma, eles são definidos como “resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços de varrição” (ABNT, 2004, p. 1). De modo geral, os resíduos sólidos são diversos, e suas características variam de acordo com a fonte ou atividade que lhes deu origem. A quantidade de resíduos que uma população produz varia bastante com o tempo e depende de diversos fatores, como renda, época do ano, modo de vida, movimentos da população em períodos de férias e fins de semana e métodos de acondicionamento de mercadorias (CUNHA, CAIXETA FILHO; 2002).

Muitas vezes, os termos “lixo” e “resíduo sólido” são utilizados de maneira indistinta. Em Monteiro *et al.* (2001, p. 25), por exemplo, convencionou-se que “resíduo sólido ou “lixo” é todo material sólido ou semi-sólido indesejável e que necessita ser removido por ter sido considerado inútil a quem o descarta”. Entende-se aqui, assim como Demajorovic (1995), que “resíduo sólido” se diferencia de “lixo” por possuir valor econômico agregado, o que possibilita seu reaproveitamento; o “lixo” ou “rejeito” não possui qualquer tipo de valor, servindo apenas para o descarte final. O termo “resíduos sólidos urbanos” (RSUs), por sua vez, compreende todos os resíduos sólidos gerados em cidades e coletados pelos serviços destinados a esse fim.

Atualmente, os resíduos sólidos estão relacionados a diversos problemas ambientais, como erosão, poluição atmosférica, contaminação do solo e recursos hídricos, assoreamento dos corpos d’água e disseminação de doenças, e por isso comprometem a sustentabilidade do planeta (PINHEIRO, 2010). Apesar disso, sua produção é crescente e seu descarte continua a ser realizado em grande parte de modo impróprio.

Dados da última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2008 e publicada em 2010, mostram que, no Brasil, 50,8% dos municípios destinam inadequadamente os resíduos sólidos, que são colocados em lixões a céu aberto (IBGE, 2010). O quadro é pior nas regiões Norte e Nordeste, onde esse valor fica acima de 90%. Diariamente, são coletadas no país cerca de 195.452 toneladas de RSUs e, no ano de 2016, o peso dos resíduos gerados totalizou aproximadamente 78,3 milhões de toneladas. Desse total, 91% foram coletados, o que significa que 7 milhões de toneladas de resíduos sequer foram recolhidos (ABRELPE, 2016). Mesmo que a porcentagem de resíduos sólidos destinados inadequadamente esteja diminuindo, o número ainda representa um valor muito alto, o que mostra a necessidade urgente de novas soluções para o setor.

No ano de 2010, foi promulgada no país a Lei 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Ela presume a prevenção e diminuição da geração de resíduos através de práticas de hábitos de consumo sustentáveis e uma série de instrumentos que visam ampliar a reciclagem e reuso dos resíduos, além de responsabilizar seus geradores pela manutenção da logística reversa e, ainda, estabelece metas que devem contribuir com a eliminação dos lixões, dentre outros pontos (BRASIL, 2010). Este é um marco muito importante no contexto nacional, pois indica uma busca pela melhoria do quadro e define diretrizes importantes, mas, como indicam Nascimento Neto e Moreira (2010), aprová-lo não garante o aperfeiçoamento da gestão dos resíduos sólidos no Brasil, pois para que isso ocorra é necessário que tanto o poder público como a sociedade civil se engajem no sentido de transformar este instrumento normativo em instrumento modificador das atuais práticas de gestão e manejo dos RSUs.

Com o crescimento da geração de resíduos sólidos, têm sido usados nas últimas décadas alguns modelos da engenharia de sistemas que são úteis para promover análises baseadas em custo-benefício, otimização, simulação e previsão (PIRES; MARTINHO; CHANG, 2011). Estes modelos dividem-se em cinco categorias, que se encontram listadas e descritas no Quadro 1, e podem ser empregados na seleção de tecnologias a serem utilizadas na gestão de resíduos sólidos e na comparação de opções de gerenciamento, para citar algumas possibilidades.

Quadro 1 - Categorias de modelos da engenharia de sistemas

Categoria	Descrição/uso	Contribuição para o gerenc. de resíduos sólidos
Análise custo-benefício	Avaliar efeitos econômicos e físicos positivos e negativos de forma independente ou apoiar modelos de simulação e otimização para análise de sistemas	Modelos bem definidos podem traduzir aspectos ambientais em termos econômicos

Categoria	Descrição/uso	Contribuição para o gerenc. de resíduos sólidos
Modelos de otimização	Obter a melhor solução dentre muitas alternativas, considerando um ou vários objetivos	Solucionaram questões como planejamento de redes, tamanho e local das instalações e gerenciamento de estruturas
Modelos de simulação	Traçar cadeias de eventos contínuos ou discretos, baseado em relações de causa e efeito. Pode descrever as relações entre operações em sistemas complexos e investigar o comportamento dinâmico de um sistema	Desenvolvimento de diversos programas e modelos capazes de simular longos períodos de tempo. Alguns modelos desenvolvidos: SWIM, GIGO, AWAST e o EcoSolver IP-SSK
Modelos de previsão	Caracterizar fluxos de resíduos quantitativa e qualitativamente e para construir um sistema de informações gerenciais para acumular informação ao longo do tempo. Técnicas como regressão de séries temporais são amplamente utilizadas para esse propósito	Capazes de relacionar variáveis como população, nível de renda, despesas de consumo, indicadores de saúde, dentre outras
Modelos integrados	Melhorar conexões sinérgicas entre os diferentes modelos, concatenando suas funcionalidades	Fornecem informação dinâmica da geração e transporte de resíduos e padrões de expansão de capacidade e instalações, ao longo do tempo

Fonte: Pires, Martinho e Chung (2011).

2.1.1 Classificação dos resíduos sólidos

Conforme apontam Monteiro *et al.* (2001), a origem é o principal elemento para caracterizar os resíduos sólidos. A partir desse critério, eles podem ser agrupados em cinco classes, detalhadas no Quadro 2.

Na limpeza urbana, os resíduos domésticos e comerciais compõem os resíduos domiciliares, que somados aos resíduos públicos constituem a maior parte dos resíduos produzidos em cidades. Hickman (1999) sugere ainda outro grupo, o de resíduos institucionais, categoria na qual os resíduos produzidos na UFC Quixadá melhor se enquadram.

Quadro 2 - Classificação dos resíduos sólidos quanto à origem

Classificação	Descrição
Doméstico ou residencial	Gerado nas atividades diárias em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais.
Comercial	Gerado em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da atividade ali desenvolvidas.
Público	Presente nos logradouros públicos, em geral resultante da natureza, como folhas, galhadas, poeira, terra e areia, incluindo também os resíduos descartados irregular e indevidamente pela população, como entulho, papéis, restos de embalagens e alimentos.

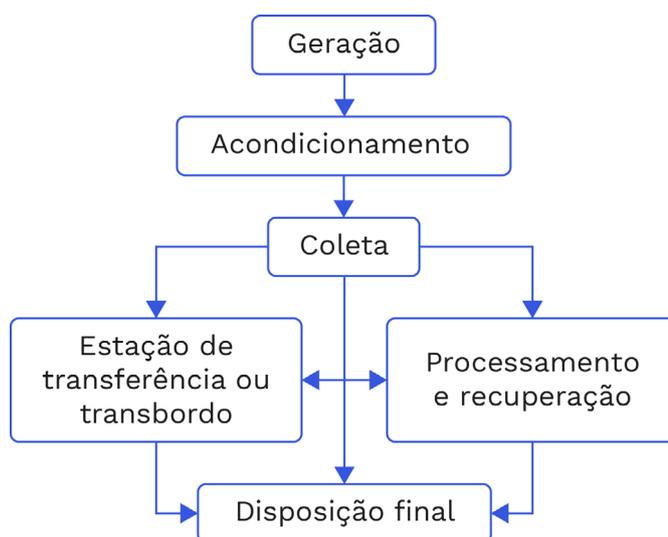
Classificação	Descrição
Domiciliar especial	Compreende entulhos de obras, pilhas, baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus.
De fontes especiais	Resíduos que, em função de suas características peculiares, merecem cuidados especiais, como resíduos industriais, radioativos, de portos, aeroportos e terminais rodoviários, agrícola e de serviços de saúde.

Fonte: Monteiro *et al.* (2001).

2.1.2 Processo de gerência

De acordo com Tchobanoglous (1977), o processo de gerência dos resíduos sólidos possui seis elementos, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma processual do gerenciamento de resíduos sólidos



Fonte: Tchobanoglous (1977, adaptado).

O processo se inicia com o acondicionamento, onde os resíduos são preparados para a coleta. É muito importante que seja realizado adequadamente, pois influi diretamente na qualidade do serviço de coleta e transporte. Se mal executado, pode causar acidentes, problemas ambientais e trazer riscos à saúde pública. Normalmente, os resíduos são dispostos em lixeiras, contêineres plásticos ou metálicos ou ainda colocados em sacos plásticos comumente provenientes de supermercados, permanecendo expostos até serem coletados. As lixeiras e contêineres destinados à coleta seletiva devem possuir cores que correspondam aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 275/2001, de modo a facilitar o descarte correto. Para citar alguns, deve-se usar azul para papel/papelão, vermelho para plástico, verde para vidro, amarelo para metal e marrom para resíduos orgânicos (BRASIL, 2001).

Em seguida, os resíduos são coletados e transportados. Os veículos utilizados podem oferecer compactação, o que reduz o volume coletado e permite recolher uma maior quantidade de resíduos que um veículo normal. A coleta deve ser realizada com frequência, pois desse modo os resíduos não ficarão expostos por muito tempo, evitando odores e a atração de vetores. Como indicam Monteiro *et al.* (2001) e Andreoli *et al.* (2014), a regularidade com a qual a coleta é realizada é um dos atributos mais importantes para o serviço, e deve ter dias e horários claros e conhecidos por todos na cidade, pois assim os cidadãos se habituarão a realizar o descarte no momento certo, o que contribui na redução do acúmulo de resíduos nos recipientes de acondicionamento. A coleta e o transporte do lixo produzido em residências, estabelecimentos públicos e pequenos comércios são tarefas executadas pelo órgão municipal encarregado pela limpeza urbana ou ainda por empresas terceirizadas. Segundo Monteiro *et al.* (2001), tem se percebido a privatização desses serviços em cidades de médio e grande portes.

A maioria das operações de coleta ocorre com base em rotas fixas (MCLEOD *et al.*, 2013), nas quais os roteiros são estáticos. Uma vez que não se dispõe de qualquer informação prévia acerca dos resíduos que serão coletados, criam-se rotas pré-determinadas, que devem ocorrer sempre nos mesmos dias e horários. A principal desvantagem deste tipo de roteamento é sua baixa eficiência, pois ele não otimiza o uso de recursos como veículos, combustível e pessoal envolvidos. A inconstância natural da quantidade de resíduos produzida compromete ainda mais a eficiência da operação (MWARE, 2017). Mesmo em ambientes menores, como empresas e universidades, o serviço de coleta representa uma atividade manual e maçante, pois é necessário verificar todas as lixeiras para avaliar se é necessário ou não realizar a coleta.

Uma alternativa às rotas fixas são as rotas dinâmicas, que implicam possuir dados sobre os resíduos que serão coletados, como volume, peso e localização. A rota é planejada dinamicamente, o que na prática significa realizar a coleta apenas onde for necessário. Johansson (2006) concluiu através de simulações que o roteamento dinâmico oferece uma série de vantagens, como menores custos de operação, tempo de coleta e transporte.

Após coletados, os resíduos podem ser transportados para estações de transferência/transbordo, estações de processamento/recuperação ou, ainda, irem direto para a destinação final, o que não é ideal. As unidades de transferência/transbordo funcionam como pontos intermediários de destinação, realizando o traslado dos resíduos recolhidos pelos veículos coletores para veículos de transferência, que possuem maior capacidade e transportam os resíduos para o processamento/recuperação ou para a destinação final. São instaladas próximas aos centros de geração de resíduos, de modo que os veículos que realizam a coleta possam descarregar e rapidamente retornar ao roteiro.

A recuperação consiste em reutilizar materiais que, de outro modo, se tornariam lixo. Alguns métodos de recuperação são a reciclagem, onde os materiais são utilizados como matéria-prima na manufatura de novos bens, e a compostagem, que, através da decomposição de materiais orgânicos, produz húmus, um composto orgânico fértil e rico em nutrientes utilizado na agricultura. O processamento, por sua vez, traduz-se em uma série de procedimentos destinados a diminuir a quantidade ou o potencial poluidor dos resíduos sólidos (MONTEIRO *et al.*, 2001). Alguns exemplos de processamento são a incineração, secagem e neutralização (para resíduos que possuam características ácidas ou alcalinas).

O processo de gerenciamento se encerra com a destinação final, onde o lixo é depositado em lixões ou aterros. É importante destacar que, apesar de que ainda seja bastante comum a utilização de lixões, é uma prática considerada crime ambiental desde 1998, quando foi aprovada a Lei de Crimes Ambientais (BRASIL, 1998).

2.2 Computação ubíqua e Internet das Coisas

A computação ubíqua, ou *ubicomp*, é um conceito da ciência da computação no qual os computadores, neste caso entendidos como quaisquer dispositivos que possuam unidades de processamento, estão altamente integrados à vida humana, sempre disponíveis (LÓPEZ; MARÍN; CALDERÓN, 2017). O termo original foi cunhado pelo cientista Mark Weiser em 1988, quando era diretor do Laboratório de Ciência da Computação na Xerox PARC, nos Estados Unidos. Weiser imaginava um futuro onde as tecnologias computacionais estariam de tal modo embutidas nos objetos que utilizamos diariamente que chegariam a desaparecer, o que significa que a computação estaria tão incorporada às práticas diárias que sequer seria percebida (KRUMM, 2010). Rapidamente, a *ubicomp* tornou-se uma tendência tecnológica.

A promessa da *ubicomp* inclui forte ênfase nas percepções e experiências do usuário final, e por esse motivo é necessário considerar a experiência de uso como uma meta de design de sistemas *ubicomp* (VÄÄNÄNEN-VAINIO-MATTILA; OLSSON; HÄKKILÄ, 2015). É necessário ir além de aspectos como facilidade de uso e eficiência, e considerar o enorme espectro de experiências humanas, o que é uma tarefa bastante complicada. Hassenzahl (2010, p. 9, tradução nossa) afirma: “[...] a experiência é subjetiva. Ela emerge através de situações, objetos, pessoas, suas inter-relações e seu relacionamento com quem os experimenta”².

Um grande objetivo da computação ubíqua é permitir que os dispositivos sejam capazes de adaptarem-se a diferentes contextos e limitarem as opções disponíveis somente para

² “[...] *experience is subjective. It emerges through situations, objects, people, their inter-relationships, and their relationship to the experientor*”

o que for útil, o que evita sobrecarregar o usuário com informações e questões desnecessárias (POSLAD, 2009). Porém, construir dispositivos com essa capacidade é uma tarefa complicada, pois o contexto é dinâmico, e existe a partir de nossas relações com os outros e o mundo. Dele, é possível extrair informações que podem contribuir para experiências de uso mais positivas. Por exemplo, um dispositivo sensível ao contexto poderia adaptar-se ao humor do usuário, ao ambiente onde se encontra, à hora do dia, ao clima, etc., de maneira a otimizar seu serviço.

Ainda que os primeiros trabalhos na computação ubíqua tenham distribuído poder computacional, os dispositivos continuavam limitados porque era necessário manipulá-los para obterem-se as grandes quantidades de dados por eles geradas. Como os humanos possuem recursos limitados de tempo, tornava-se complicado compartilhar esses dados. Daí emergiu o conceito de Internet das Coisas (IoT), no qual os objetos seriam detectáveis digitalmente, capazes de conectar-se à Internet, publicar os dados automaticamente (FERNANDES; DE LUCENA, 2015), e comunicarem-se uns com os outros.

O conceito de Internet das Coisas estende a conectividade para além de computadores e *smartphones* para diversos objetos que usam tecnologias embarcadas para comunicarem-se com o ambiente externo, tudo através da Internet (BALAJI *et al.*, 2017). Assim, é necessário ir além dos cenários atuais de computação móvel que usam portáteis, expandido a conexão à rede aos objetos de uso diário e incorporando inteligência em nosso ambiente (GUBBI *et al.*, 2013).

Atualmente, há uma série de discussões abertas relacionadas ao assunto envolvendo temáticas críticas como privacidade e segurança. No tocante à computação, a privacidade é normalmente interpretada como a capacidade do usuário de “controlar se e como informações pessoais podem ser obtidas, armazenadas, processadas ou seletivamente disseminadas” (RASMUSSEN *et al.*, 2001, p. 116, tradução nossa)³. Já a segurança é um ingrediente frequentemente necessário para a privacidade, uma vez que ela garante que dados particulares só serão acessados pelas pessoas que tiverem permissão para tal.

O fluxo normal de um conjunto ubíquo, bem como de qualquer sistema de automação, normalmente inclui as seguintes etapas: 1) obter informações sobre o usuário e o contexto; 2) processar os dados transmitidos; 3) executar ações no contexto correspondente, e 4) oferecer informações a outros sistemas (LÓPEZ; MARÍN; CALDERÓN, 2017). Todos estes estágios oferecem brechas potenciais à segurança e à privacidade do usuário, uma vez que os dados podem guardar dados como, por exemplo, a posição geográfica precisa do usuário.

O fato é que esses e outros desafios precisam ser considerados durante o projeto de aplicações para a Internet das Coisas. Porambage *et al.* (2016) afirmam que é improvável que

³ “controlling whether and how personal data can be gathered, stored, processed or selectively disseminated”

apenas soluções técnicas sejam capazes por si só de prevenir completamente os problemas de privacidade nessas aplicações, pois deve-se considerar e balancear de forma apropriada uma combinação de meios técnicos e legais para chegar-se a soluções que a aperfeiçoem. Do mesmo modo, é necessário ater-se à segurança e buscar utilizar métodos que mantenham os dados pessoais protegidos contra riscos de acesso, uso, modificação ou remoção não autorizados. Atualmente, há uma série de bibliotecas *open-source* que podem ser usadas para esse fim.

2.3 *Smart city e smart campus*

Conforme aumenta a população urbana, surgem novos riscos, problemas e preocupações, como alimentação, transporte e poluição. No ano de 2014, a população mundial era composta por 7,2 bilhões de pessoas, número previsto para chegar a 9,6 bilhões em 2050 (GERLAND *et al.*, 2014). Com um aumento tão grande, faz-se necessário empregar novas abordagens de gerenciamento urbano que permitam resolver os problemas de maneira mais eficiente e flexível. No contexto em que vivemos atualmente, a *smart city* surge como uma possibilidade de solução para os diversos problemas urbanos.

Em seu sentido mais amplo, o conceito de *smart city* é uma visão de desenvolvimento urbano que integra múltiplas Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) para gerenciar recursos (KARADIMAS *et al.*, 2016) e se antever a problemas, utilizando dados provenientes de escolas, hospitais, polícia, tráfego, serviço de coleta de lixo e usinas elétricas, por exemplo. As iniciativas de tornar uma cidade *smart* surgiram como um modelo para mitigar e prevenir os problemas urbanos atuais e tornar as cidades lugares melhores através de soluções sistêmicas – por isso, muitos a veem como um ícone da sustentabilidade.

A *smart city* objetiva criar um ambiente propício ao compartilhamento de informação, colaboração, interoperabilidade e experiências integradas para todos os habitantes (NAM; PARDO, 2011), além de melhorar a eficiência dos serviços oferecidos através da tecnologia, atendendo melhor às necessidades dos habitantes através do constante *feedback*. Para que tal seja possível, são necessários sistemas e sensores que funcionem em tempo real, onde os dados são coletados dos cidadãos e dos objetos (coisas) e simultaneamente processados (KARADIMAS *et al.*, 2016), conectando o mundo físico ao eletrônico.

Existem diferentes conceituações para *smart city*, cada uma englobando diferentes aspectos. Para Kanter e Litow (2009), infundir inteligência em cada subsistema da cidade não é o suficiente para que ela se torne smart. A *smart city* deve ser vista como uma entidade orgânica, como uma rede ou um sistema interligado, onde a atenção é dada às conexões e não somente às partes. “[...] Isso significa que uma *smart city* entende que os conectores mais importantes

através dos subsistemas são as pessoas” (KANTER; LITOW, 2009, p. 2, tradução nossa)⁴. Portanto, é possível utilizar a tecnologia para melhorar tanto a infraestrutura física como a humana, pois as pessoas são a razão da existência de todos os complexos sistemas da cidade, e é na comunidade que esses sistemas se fundem.

Na visão de Harrison *et al.* (2010), a *smart city* possui três conceitos fundacionais: instrumentado, interconectado e inteligente. Instrumentado refere-se às fontes de dados do mundo real através de sensores físicos e virtuais, assim como de outros sistemas similares de aquisição de dados, como redes sociais. Interconectado relaciona-se às informações obtidas a partir da instrumentação, que devem ser interligadas através de múltiplos processos, reunindo dados que se encontram em um modo não estruturado ou que não se associam a um sistema em particular. A combinação de sistemas instrumentados e interconectados é responsável pela conexão do mundo físico ao eletrônico. O último conceito, inteligente, faz referência à análise das informações interconectadas, que deve produzir novos *insights* que guiem decisões e ações para melhorar os resultados das cadeias de valores dos processos, sistemas, organizações e indústrias. Para tanto, são utilizadas hoje técnicas de aprendizagem de máquina capazes de não somente analisar dados, mas aprender com eles.

Como visto, a *smart city* depende de diversos sistemas através dos quais obtém e cruza informações de modo a prevenir e superar problemas. Para que uma cidade chegue a esse nível, o mesmo deve ocorrer antes com suas instituições, que inicialmente devem se instrumentar e, em seu âmbito, tomar micro decisões que poderão impactar na eficiência dos serviços da cidade como um todo.

É assim que surge o *smart campus*, uma visão que usa a tecnologia a favor do bem-estar coletivo, valendo-se de serviços proativos que garantem que cada parte do campus funcione adequadamente. Ele possui os mesmos conceitos chave da *smart city*, integrando-se a ela. Embora cidades e universidades sejam ambientes distintos e com objetivos diferentes, eles frequentemente compartilham um contexto socioeconômico, ambiental e geográfico similar, além de serviços, infraestruturas, canais de comunicação, redes de transporte e até mesmo desafios e necessidades semelhantes (TORRES-SOSPEDRA, 2015).

Os primeiros estudos sobre o tema remontam ao ano de 1999, quando o MIT e a Microsoft Research iniciaram juntos o projeto de pesquisa iCampus. O projeto buscou criar e demonstrar tecnologias com potencial para modificar o currículo da universidade através de aplicações educacionais, fazendo uso de tecnologias emergentes como reconhecimento de voz,

⁴ “[...] *that means a smart city understands that the most important connectors across multiple subsystems are the people*”

além de transformar a própria sala de aula, substituindo as aulas passivas por experiências de aprendizado ativas suportadas por tecnologias da informação (MIT, 2018). Quando a pesquisa foi encerrada, em 2006, dezenas de projetos haviam sido concebidos e executados. A partir de então, muito se tem pesquisado acerca do tema.

Segundo Coccoli *et al.* (2014), a disponibilidade de novas tecnologias leva à adoção de uma variedade de soluções *smart* nos ambientes universitários de modo a melhorar a qualidade de vida e a performance tanto do aluno como do professor. Por isso, em um *smart campus* não ocorre apenas o monitoramento dos recursos através de meios informatizados, pois a instituição também deve buscar utilizar todas as tecnologias disponíveis para melhorar aspectos como sustentabilidade, segurança e mobilidade, além da própria educação. Para tanto, é necessária uma rede de sistemas e dispositivos que viabilizem o processo.

O modo de funcionamento de um *smart campus*, assim como o de uma *smart city*, é análogo ao cérebro biológico, no qual o sistema nervoso digital e central do *campus* é composto de várias inteligências funcionais interconectadas, determinadas a executarem suas funções de forma dinâmica e coerente, integradas com o próprio ambiente (NG *et al.*, 2010). Dessa forma, o *campus* torna-se capaz de responder e se adaptar às diferentes condições e contextos às quais for submetido, ao invés de ser um mero palco onde as situações diárias acontecem.

Para afirmar que uma universidade é *smart*, ela deve ser gerenciada de forma inteligente e, para tanto, os administradores devem considerá-la como um todo, como um único organismo, o que significa dizer que eles devem estar cientes que qualquer modificação feita em uma área influenciará direta ou indiretamente em outras (OWOK; MARCINIAK, 2013). Portanto, faz-se necessário utilizar todas as soluções de informação para cooperar com esse processo, afinal é através delas que será possível executar análises que contribuirão na escolha das melhores decisões para a organização.

Dados os avanços tecnológicos correntes, é possível afirmar que a transição dos espaços para *smart* é uma tendência que se tornará cada vez mais evidente com o passar dos anos. Harrison *et al.* (2010) indicam que essa mudança pode levar a reduções no consumo de energia e água, promovendo comportamentos que se aproximam mais do consumo sustentável dos recursos disponíveis. Apesar de sérios desafios, como segurança e privacidade dos usuários, ambientes *smart* prometem mudanças bastante positivas no que concerne às instituições, às pessoas e ao meio ambiente.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Atualmente, são desenvolvidas muitas pesquisas acerca do monitoramento informatizado de resíduos sólidos, focadas principalmente na coleta de informações no local de descarte do lixo. Com o objetivo de conhecer materiais, métodos e desafios comuns encontrados neste tema, foram analisadas soluções e propostas semelhantes, algumas delas apresentadas a seguir. A última subseção reúne informações sobre os componentes eletrônicos usados em cada proposta, que contribuirão na seleção dos componentes usados no protótipo.

3.1 Protótipo de lixeira inteligente para gerenciamento de lixo interno

Mware (2017) descreve o protótipo de uma lixeira inteligente planejada para funcionar no interior de residências, que se conecta à internet através de Wi-Fi. A lixeira é capaz de detectar o peso, a concentração de gases dos resíduos nela depositados e a porcentagem ocupada, e os dados obtidos podem ser visualizados através de uma aplicação *web* ou Android. Conforme o autor, através desses dados é possível otimizar recursos e reduzir casos de descuido com as lixeiras domésticas.

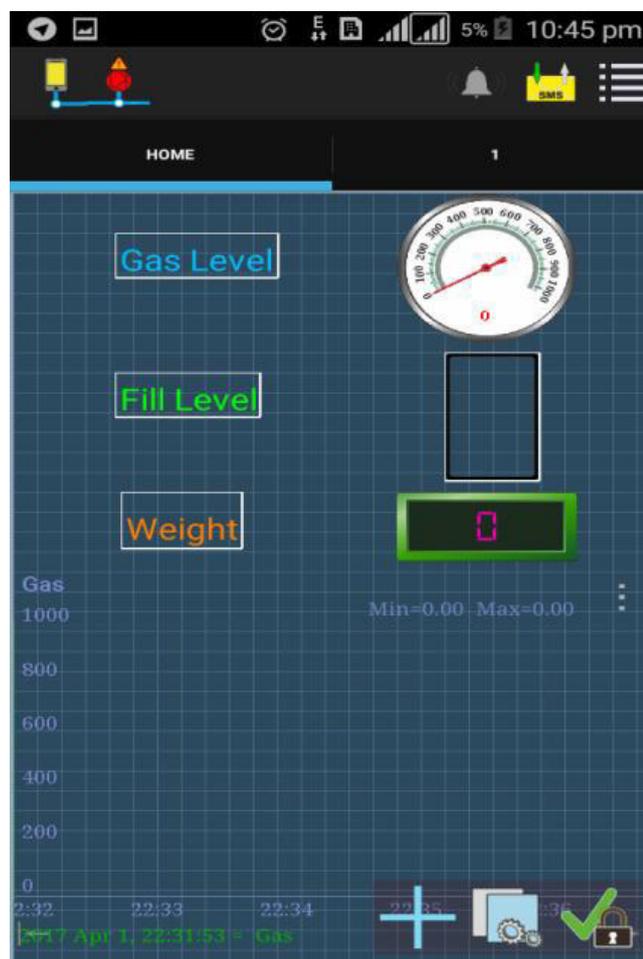
A lixeira utiliza a placa microcontroladora Arduino Uno⁵ e sensores de baixo custo. Os sensores utilizados são: um sensor ultrassônico (sonar) HC-SR04, que mede a distância dos resíduos em relação à tampa da lixeira, o que possibilita determinar a porcentagem ocupada; um sensor de gás MQ-2/MQ-4, capaz de detectar gás LPG, butano, propano, metano, álcool, hidrogênio e fumaça, o que permite indicar, por exemplo, se o lixo orgânico porventura presente na lixeira está em decomposição ou não; e um sensor de peso com capacidade máxima de 50kg. Todos são alimentados por uma bateria de 3V.

Através do módulo Wi-Fi ESP8266, é possível conectar a lixeira a uma rede *wireless*. A partir de então, ela envia os dados coletados para a plataforma ThingSpeak⁶, um serviço na nuvem que oferece armazenamento gratuito de dados provenientes de sensores e atua como uma interface entre a lixeira e os aplicativos utilizados para acessar os dados, que podem ser visualizados em tempo real. Os aplicativos, implementados em versões para *web* e Android, permitem configurar notificações para quando o valor do preenchimento e dos gases presentes no interior da lixeira atingir níveis determinados e gerar relatórios com base nos dados históricos armazenados na plataforma ThingSpeak. A Figura 2 mostra a tela principal do aplicativo Android.

⁵ Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3/>> . Acesso em: 19 nov. 2018.

⁶ Disponível em: <<https://thingspeak.com/>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

Figura 2 - Tela principal do aplicativo Android desenvolvido por Mware (2017)



Fonte: Mware (2017).

Para funcionar, a lixeira precisa estar conectada a uma rede *wireless*. De acordo com o autor, as entrevistas realizadas com os usuários após os testes com a lixeira indicaram que a maior parcela não se sentiu confortável com o fato de a lixeira requerer uma conexão Wi-Fi. Em relação à alimentação, o público preferiu a possibilidade de escolher entre utilizar energia elétrica ou bateria ao invés ter uma única opção utilizando bateria disponível.

O autor menciona que através do monitoramento é possível planejar melhor as rotinas de verificação, o que se torna possível por meio da navegação pelos dados históricos. Porém, essa atividade precisa ser realizada pelo usuário, que deve observar os dados coletados em busca de padrões, como por exemplo os horários nos quais a lixeira costuma estar cheia. Isso ocorre porque os aplicativos funcionam na maior parte do tempo apenas como uma interface para visualização dos dados brutos, uma vez que eles não passam por nenhuma análise que permita obter essas e outras informações de modo automático.

3.2 Sistema de alerta e predição de geração de lixo utilizando lixeiras inteligentes e aprendizado de máquina

Baby *et al.* (2017) descrevem um sistema capaz de monitorar os padrões de geração de lixo em tempo real, aplicável a contextos urbanos. Para tanto, a lixeira detecta seu nível de preenchimento e o informa para a Microsoft Azure⁷, uma plataforma de computação em nuvem que fornece o armazenamento e monitoramento de dados. Eles são analisados pelo Azure Machine Learning Studio⁸, um serviço da mesma plataforma que permite a criação, teste e implantação rápida de soluções de análise preditiva de dados.

A lixeira usa o computador de placa única Raspberry Pi⁹ e a placa microcontroladora Arduino Uno, que executam diferentes tarefas. Através de um sensor infravermelho e dois sonares, a lixeira detecta seu nível de preenchimento e, usando o Arduino, realiza o envio dos dados obtidos através de uma conexão Ethernet para a plataforma Microsoft Azure. Quando a lixeira está cheia, o Raspberry Pi envia mensagens SMS e *e-mails* com a identificação da lixeira, informando que ela deve ser esvaziada.

Por meio do Microsoft Azure Machine Learning Studio, foi possível realizar predições de geração de lixo em áreas específicas e determinar a quantidade esperada de lixo em alguma data no futuro. Segundo os autores, os dados fornecidos por SMS, *e-mails* e pelo próprio Microsoft Azure podem ajudar as autoridades responsáveis pelo gerenciamento de resíduos sólidos a se manterem atualizadas sobre os padrões de geração de lixo de regiões específicas, o que os permite realizar a coleta somente onde for necessário. Além disso, é possível detectar as sazonalidades da produção de resíduos e antever-se a determinadas situações.

Um detalhe importante a ser destacado é que a lixeira fornece informações apenas sobre seu nível de preenchimento. O peso dos resíduos, que é desconsiderado, é um dado muito importante para a melhoria da eficiência do processo, pois a partir dele é possível planejar melhor a coleta. No contexto de uma cidade, por exemplo, informações como o peso, volume total dos resíduos a serem recolhidos e a capacidade dos veículos coletores podem ser combinadas de modo a melhorar a estratégia de coleta (FACCIO; PERSONA; ZANIN, 2011) e o uso de recursos. Apesar dos autores não fornecerem informações detalhadas sobre os componentes utilizados no protótipo, como seus modelos e fabricantes, a proposta se torna importante para este trabalho por apontar uma possibilidade para realizar análises rápidas sobre os dados coletados pelas lixeiras.

⁷ Disponível em: <<https://azure.microsoft.com/>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

⁸ Disponível em: <<https://studio.azureml.net/>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

⁹ Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

3.3 Nó integrado baseado em *tags* RFID para aplicações voltadas à *smart city* – caso de uso de lixeiras

Karadimas *et al.* (2016) propõem um sistema versátil e escalável no qual as lixeiras são capazes de medir e transmitir informações acuradas sobre seu preenchimento, com baixo consumo elétrico e componentes de baixo custo. Apesar de que o foco do trabalho sejam lixeiras inteligentes, a estrutura do sistema torna-o capaz de funcionar com quaisquer objetos inteligentes que estejam dispostos remotamente no contexto de uma *smart city*.

O sistema usa duas unidades. A primeira delas, chamada Mobile Sink, é responsável por capturar os dados dos sensores e transmiti-los para a segunda unidade, chamada Field Unit, que recebe os dados coletados pelas lixeiras e os prepara para a transmissão ao servidor.

A unidade Mobile Sink deve ser acoplada na tampa da lixeira, local escolhido por estar menos sujeito às condições severas causadas pelos resíduos sólidos na parte interna. Ela consiste basicamente de dois sonares MB1040 LV-MAXSonar-EZ4 e uma *tag* RFID ativa ZT-50-mini, responsável tanto por oferecer energia elétrica ao sistema como por agregar e propagar os dados coletados em intervalos de alguns segundos por distâncias de até 100 metros.

Uma vez que a proposta foi planejada para lixeiras grandes (os testes foram realizados em lixeiras de 110x90x90cm), foram necessários dois sonares para obterem-se estimativas de preenchimento mais precisas. As experimentações realizadas pelos autores indicaram que um único sonar colocado no centro da tampa oferecia boas aferições de preenchimento, mas em algumas situações os valores eram superestimados devido ao fato de os resíduos serem depositados muitas vezes no centro da lixeira. Por isso, usaram-se dois sonares colocados um lado do outro, separados por uma curta distância. Segundo os autores, eles se mostraram precisos mesmo nas difíceis condições de umidade, temperatura e poeira comuns no interior da lixeira. O fato de esse tipo de sensor não precisar entrar em contato com o lixo para realizar suas medições e possuir uma ampla área de alcance foram fatores importantes para sua escolha.

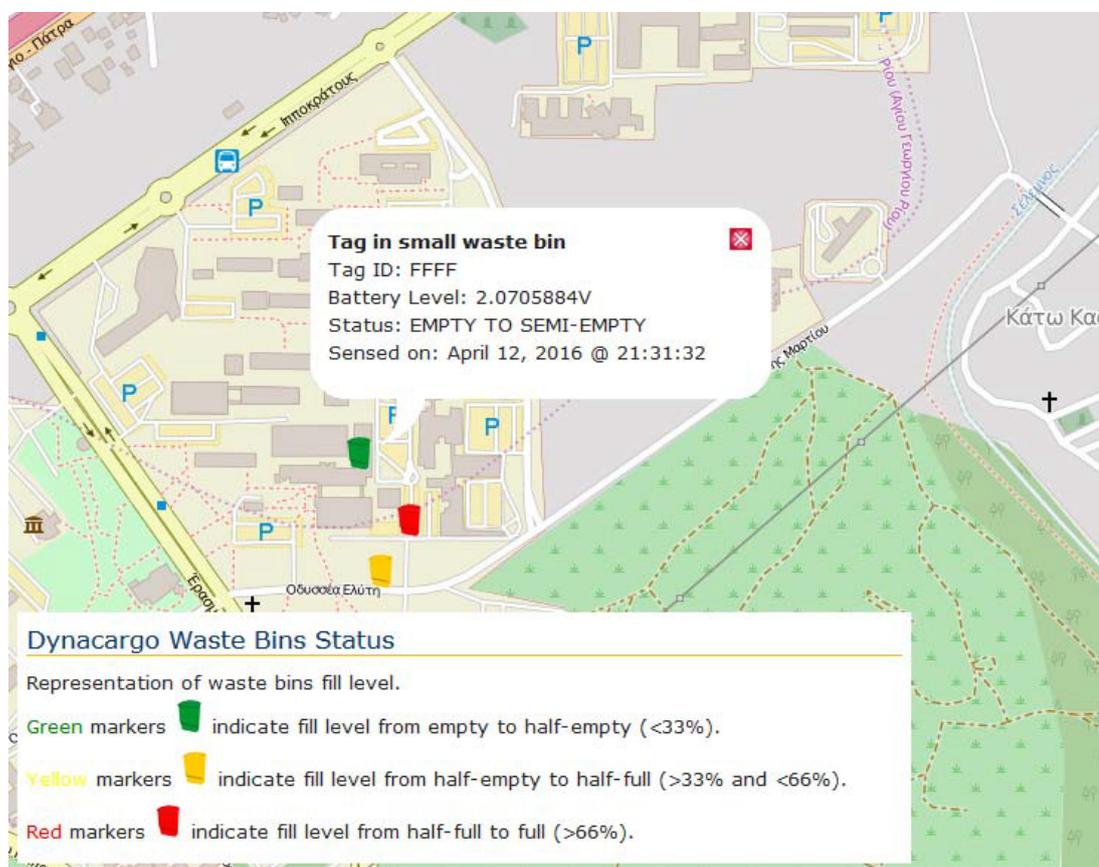
A coleta dos dados obtidos pela lixeira é realizada através da Field Unit, uma caixa que contém um leitor RFID idêntico ao utilizado na lixeira, controlado por um Raspberry Pi. Essa unidade deve ser instalada em veículos que circulam pela cidade, como ônibus, táxis, polícia, etc., que normalmente são conectados à Internet. O uso da tecnologia RFID permite que múltiplas *tags* sejam lidas ao mesmo tempo sem colisões ou retransmissões, o que economiza energia e torna o processo de comunicação mais eficiente. Porém, a dependência de outros meios para realizar a transmissão faz com que os dados coletados nem sempre possam ser transmitidos em tempo real. Os testes indicaram que a lixeira seria capaz de funcionar ininterruptamente por até 200 dias, quando a bateria da *tag* RFID deveria ser recarregada.

Essa proposta, assim como a proposta mostrada anteriormente, não mede o peso do lixo. Como já foi exposto, esse dado é muito importante para a melhoria da eficiência do processo de coleta e também para a análise de dados sobre os resíduos sólidos coletados, seja em uma cidade ou em um ambiente menor, como uma residência.

A interface de gerenciamento desenvolvida (Figura 3) se limita apenas a indicar a localização das lixeiras no espaço físico, bem como os dados coletados. São utilizadas três cores para indicar o nível de preenchimento da lixeira: verde, amarelo e vermelho. Outras informações exibidas são o identificador da *tag* RFID, o nível da bateria e a data e hora da última mensagem recebida.

A proposta aponta uma possibilidade para a comunicação entre dispositivos remotos e a Internet, e tira proveito de recursos já disponíveis. Um ponto positivo relevante é o fato de que a lixeira é capaz de operar mesmo sem estar diretamente conectada a uma rede externa, o que é uma enorme vantagem em relação às outras propostas apresentadas. Em uma cidade, por exemplo, pode ser necessário que algumas lixeiras sejam posicionadas em locais onde o acesso direto à Internet é inviável, mas isso não seria um problema para a proposta apresentada

Figura 3 - Exibição das lixeiras na interface desenvolvida por Karadimas *et al.* (2016)



Fonte: Karadimas *et al.* (2016).

3.4 Comparação de tecnologias utilizadas

Com o intuito de analisar de forma mais clara as placas microcontroladoras e os sensores utilizados nas propostas, foi elaborada uma tabela que os agrupa em categorias, a partir de sua função principal (Tabela 1).

Para o controle dos sensores e demais funções, foram utilizados tanto a placa microcontroladora Arduino Uno como o computador de placa única Raspberry Pi. Na proposta descrita por Baby *et al.* (2017) a função do Raspberry é apenas enviar *e-mails* e mensagens SMS, atividade que poderia ser executada na nuvem. Na proposta descrita por Mware (2017), o Arduino é responsável tanto por coletar os dados dos sensores como por transmiti-los para a Internet, através da placa Wi-Fi ESP8266.

Tabela 1 - Comparação de sensores usados nas propostas apresentadas

Categoria de componente	Proposta		
	Mware (2017)	Baby <i>et al.</i> (2017)	Karadimas <i>et al.</i> (2016)
Controle	Arduino Uno	Arduino Uno, Raspberry Pi	Raspberry Pi
Preenchimento	Sonar HC-SR04	Sonar, infravermelho	MB1040 LV-MaxSonar-EZ4
Peso	Med. de tensão AB381	Não é medido	Não é medido
Conectividade	Módulo Wi-Fi ESP8266	Ethernet	Módulo RFID ZT-50-mini
Alimentação	Bateria 3V	Informação não disponível	Módulo RFID ZT-50-mini (3V)
Localização	Não é informada	Não é informada	Módulo RFID ZT-50-mini
Comp. gasosa	Sensor MQ-2/MQ-4	Não é medida	Não é medida

Fonte: o autor.

Em relação à medição do preenchimento da lixeira, todas as propostas apresentadas usaram sensores ultrassônicos. Apenas uma delas usou um sensor infravermelho para tal função, mas ainda assim em conjunto com dois sonares. Esse tipo de sensor é mais preciso, capaz de fazer leituras em nível milimétrico, porém seu preço bem é mais elevado. Alguns autores mencionaram que o sonar apresenta leituras uniformes mesmo nas duras condições do interior da lixeira, e, assim como o sensor infravermelho, possui a vantagem de não necessitar entrar em contato com os resíduos para realizar as medições. Isso mostra que ele é uma boa opção para a medir a porcentagem ocupada, tanto por suas características como por seu baixo preço.

As propostas apresentadas utilizam diferentes métodos de conectividade e alimentação elétrica, o que ocorre provavelmente devido aos inúmeros métodos existentes para esse fim. Apenas uma proposta utiliza sensores para medir o peso e a concentração gasosa dos resíduos. Como já exposto, o peso é um dado importante, e deve ser considerado quando se trata da gerência de resíduos sólidos.

Nenhuma das propostas faz uso de sensores para geolocalização acurada, o que torna impossível determinar o local exato da lixeira através de meios digitais. Ainda assim, na proposta descrita por Karadimas *et al.* (2016), é possível identificar a região onde a lixeira se encontra a partir da leitura das *tags* RFID, pois uma vez que sinais deste tipo de radiofrequência são transmitidos a curtas distâncias, viabiliza-se registrar o local de captura e ter ideia aproximada de onde a lixeira está.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Como detalha o Quadro 3, a execução do projeto dividiu-se em três fases. Inicialmente, o problema foi estruturado e estudado, em seguida, elaborada a proposta, que a seguir foi prototipada, experimentada e avaliada.

Quadro 3 - Fases do projeto

Fase	Atividades
Fase 1	Definição do problema; Análise bibliográfica e documental; Entrevista e observação.
Fase 2	Elaboração da proposta; Prototipação.
Fase 3	Experimentação e avaliação da proposta.

Fonte: o autor.

A primeira fase caracterizou-se pela definição do problema a ser atacado e, a partir dele, do tema principal do trabalho. Assim, foi possível estruturar os demais temas pertinentes à pesquisa. A partir dos temas, foi executada uma abordagem bibliográfica e documental, de caráter exploratório, que permitiu compreender melhor o problema. Realizou-se também uma análise de propostas similares, o que elencou meios e tecnologias possíveis para a solução e evidenciou pontos de melhoria que foram considerados durante o desenvolvimento da proposta.

Em seguida, realizou-se uma entrevista semiestruturada com um dos administradores da UFC Quixadá, objetivando compreender como se dá o processo de gerenciamento de resíduos sólidos no *campus*, como a coleta é organizada, como é realizada a destinação final, bem como obter dados sobre o volume de resíduos produzidos. Foi realizada também uma observação participante com os funcionários responsáveis pela coleta, o que permitiu entender como organizam suas rotas e rotinas de coleta e perceber os problemas e dificuldades encontrados por eles durante a prática.

A segunda fase do projeto consistiu na elaboração da proposta, onde considerou-se o que foi estudado e visto na fase anterior. Para validar a proposta, foram produzidos protótipos virtuais através de uma aplicação de simulação que replica o comportamento real dos componentes, o que assegurou que a montagem fosse realizada corretamente.

A proposta do sistema teve como base uma boa usabilidade aliada a uma experiência de uso agradável. Inicialmente, foram esboçados *wireframes*, representações de baixa fidelidade que sugerem a estrutura básica da aplicação, seus recursos, como funcionam e onde se localizam,

além de ajudar a identificar falhas na arquitetura e recursos. A partir deles foram elaborados *mockups*, representações mais fiéis da aplicação, mas não funcionais, onde foram adicionadas cores, tipografia e demais elementos visuais. Foram realizadas experimentações de disposição dos itens no *layout*, tons e tamanhos diferentes, de modo a se chegar à melhor combinação.

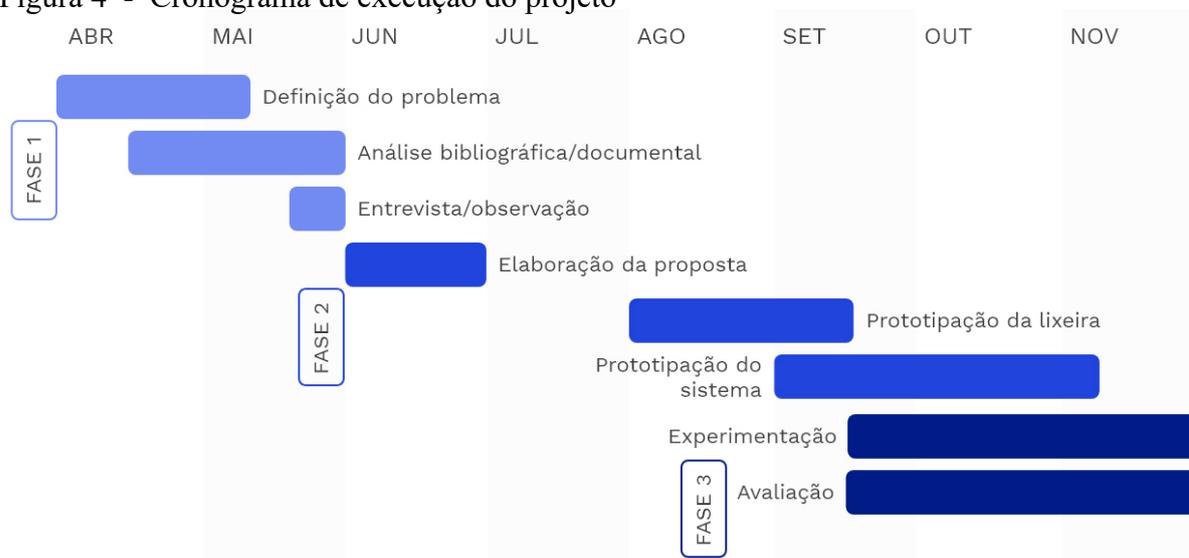
Concluídas estas etapas, deu-se início à prototipação, onde foi montado o circuito desenvolvido na etapa anterior e implementada uma versão funcional do aplicativo *web*. Ao final desta etapa, ambos os protótipos funcionavam adequadamente e foram documentados através de diagramas de arquitetura e fluxo de execução.

A terceira e última fase compreendeu a experimentação e avaliação da proposta. Como o protótipo da lixeira exigiu menos esforço para ser construído, ficou pronto antes da aplicação, e a partir de então começou a ser testado na UFC Quixadá, enviando os dados coletados para um servidor provisório enquanto o *back-end* do sistema era desenvolvido. As falhas encontradas foram enumeradas e corrigidas através de atualizações no código-fonte e foram apontadas sugestões de melhoria no *hardware* da lixeira. Foi realizado um teste de usabilidade da aplicação, e as inconsistências encontradas foram elencadas e corrigidas. Ao final, a lixeira e a aplicação foram capazes de comunicar-se adequadamente.

4.1 Cronograma de execução

O projeto foi desenvolvido no período de abril a novembro de 2018. As atividades descritas anteriormente necessárias à realização do projeto, bem como o período que cada uma delas levou para ser executada estão representados na Figura 4.

Figura 4 - Cronograma de execução do projeto



Fonte: o autor.

5 DESENVOLVIMENTO

A partir da revisão da literatura e da estruturação das etapas descritas na seção "PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS", esta seção apresenta o desdobramento prático do projeto. A subseção "Entrevista e observação" traz os procedimentos para a realização das atividades mencionadas em seu título e seus resultados. Em seguida, a subseção "Elaboração da proposta" descreve o processo de desenvolvimento dos protótipos da lixeira e da aplicação *web*.

5.1 Entrevista e observação

Uma das etapas iniciais do projeto foi a realização de uma entrevista semiestruturada com um dos administradores da UFC Quixadá, e também da observação participante da rotina laboral de alguns membros da equipe de limpeza. Dessa forma, buscou-se compreender de que modo se dá o gerenciamento de resíduos sólidos na instituição, obter alguns números acerca da produção de resíduos e também conhecer de perto como os funcionários realizam a atividade.

A entrevista semiestruturada foi selecionada como método de investigação por permitir sondagens em pontos de interesse e aprofundamento de respostas, e seguiu um roteiro básico de orientação (Apêndice A). Sua transcrição se encontra no Apêndice C. Nela, constatou-se que a equipe responsável pelo serviço de limpeza realiza todo o seu trabalho manualmente. É dela que partem as decisões sobre rotas e horários para a coleta. Todos os resíduos coletados são armazenados em sacos plásticos e dispostos em um compartimento fechado e coberto, onde são recolhidos por um veículo da prefeitura todas as semanas.

Não há nenhuma informação sobre a produção de resíduos sólidos na instituição, como volume ou peso, o que é natural quando a atividade é realizada manualmente. O principal problema gerado por tal fato é uma maior dificuldade de realizar melhorias no serviço, uma vez que não há como comparar informações de diferentes períodos. Tais informações permitem ainda compreender melhor o fluxo de produção de resíduos no espaço físico da instituição, o que reduz a quantidade de problemas e permite se antever a eles. Em ambientes movimentados, com grandes áreas e muitas lixeiras, ter acesso a informações como essas pode representar ganhos substanciais em relação ao tempo gasto com a atividade e ao modo como é executada, o que influi positivamente na qualidade do serviço oferecido.

Durante três dias diferentes, alguns membros da equipe responsável pela limpeza foram acompanhados enquanto realizavam suas rotinas de coleta. Dessa forma, buscou-se entender as rotas de coleta e os parâmetros utilizados para decidir sobre a retirada dos resíduos, além dos problemas encontrados no processo e os tipos de resíduos mais presentes.

A coleta é realizada três vezes ao dia, por diferentes membros ou grupos, que possuem rotas pré-definidas, entre as 7h e 9h, entre as 14h e as 14h30, e às 20h. As observações, detalhadas na Tabela 2, indicaram que muitas das lixeiras no percurso não precisaram ser esvaziadas. Não foram observados problemas ou dificuldades na execução da coleta.

Tabela 2 - Detalhes das observações participantes

Data	Início	Fim	Duração	Distância	Lixeiras no percurso	Lixeiras esvaziadas
09/05	14:12	14:21	9 minutos	148m	18	8
11/05	14:08	14:14	8 minutos	129m	18	6
15/05	9:00	9:20	20 minutos	190m	24	13

Fonte: o autor.

Uma vez que não há nenhuma fonte prévia de informação, é necessário verificar todas as lixeiras do percurso para decidir se os resíduos nelas descartados devem ser coletados ou não. A coleta é realizada se a lixeira estiver ocupada além da metade ou possuir material orgânico em decomposição em seu conteúdo. A necessidade de verificar as lixeiras uma a uma implica no aumento do tempo necessário para a realização da coleta, que poderia ser menor caso se soubesse com antecedência quais lixeiras precisam ser coletadas.

Os principais tipos de resíduos descartados são papéis e plásticos provenientes de produtos descartáveis, como copos, pratos e garrafas de água. Esses resíduos são leves, e geram grandes volumes se não forem compactados, de modo que enchem as lixeiras rapidamente.

5.2 Elaboração da proposta

A seguir, será apresentado o desenvolvimento dos protótipos da lixeira e da aplicação *web*, desde as primeiras concepções ao resultado final. É necessário esclarecer que, neste trabalho, o olhar é primordialmente lançado sobre o funcionamento geral das partes que o constituem. O intuito é torná-las funcionais, capazes de comunicarem-se entre si, de modo que se chegue a um conjunto onde seja possível coletar dados, armazená-los, processá-los e exibi-los de maneira adequada. Assim, nas seguintes subseções, será dada maior atenção à dimensão de funcionamento do sistema como um todo e não ao aspecto gráfico do trabalho.

5.2.1 Protótipo da lixeira

O protótipo da lixeira foi planejado a partir dos dados que se mostraram necessários e importantes para o gerenciamento da coleta de resíduos sólidos, através da revisão da literatura e dos trabalhos relacionados: peso, volume e nível de preenchimento, inicialmente. Partindo do

ponto que a maior dificuldade existente no método manual de coleta é a ausência de informações preliminares, foram estabelecidas condições para o envio dos dados coletados. Assim, definiu-se que os dados deveriam ser enviados:

- a) a cada um minuto;
- b) quando a tampa for fechada.

Escolheu-se um intervalo de tempo curto para que fosse possível acompanhar as variações tão logo elas ocorressem. Para obter mais dados sobre a coleta, como sua duração, determinou-se que sempre tão logo a tampa da lixeira fosse fechada, ela deveria comunicar para o servidor o tempo que havia permanecido aberta bem como os demais dados de peso, volume e nível de preenchimento.

Como a UFC Quixadá possui Internet sem fio em quase toda a área da instituição, decidiu-se aproveitar esse recurso para realizar a comunicação da lixeira com a Internet.

5.2.1.1 Escolha dos componentes eletrônicos e montagem do circuito

O Arduino Uno foi selecionado como placa microcontroladora devido à facilidade de prototipação oferecida, à vasta documentação disponível na Internet e também por ser um projeto *open-source*. Existente desde 2005, “o Arduino foi planejado para prover uma forma fácil e barata para amadores, estudantes e profissionais para criar dispositivos que interajam com o ambiente utilizando sensores e atuadores” (LOUIS, 2016, tradução nossa)¹⁰. Com ele, é possível montar projetos simples e também complexos, como automação residencial.

A seleção dos sensores foi feita com base no que se observou nos trabalhos relacionados. Alguns autores relataram a ótima eficiência do sensor ultrassônico HC-SR04 na leitura da altura dos resíduos, razão pela qual optou-se por utilizá-lo também. Para a medição do peso dos resíduos, utilizaram-se dois sensores de carga de capacidade máxima de 50kg. Esse tipo de sensor necessita de um módulo conversor para funcionar adequadamente, e por isso foi utilizado também um módulo HX711.

As células de carga utilizadas no projeto são do tipo *strain gauges* (medidores de tensão), que respondem à força aplicada nelas através de alterações em sua resistência elétrica. O módulo HX711 amplifica essas alterações na resistência e as converte em sinais digitais que são lidos pelo Arduino.

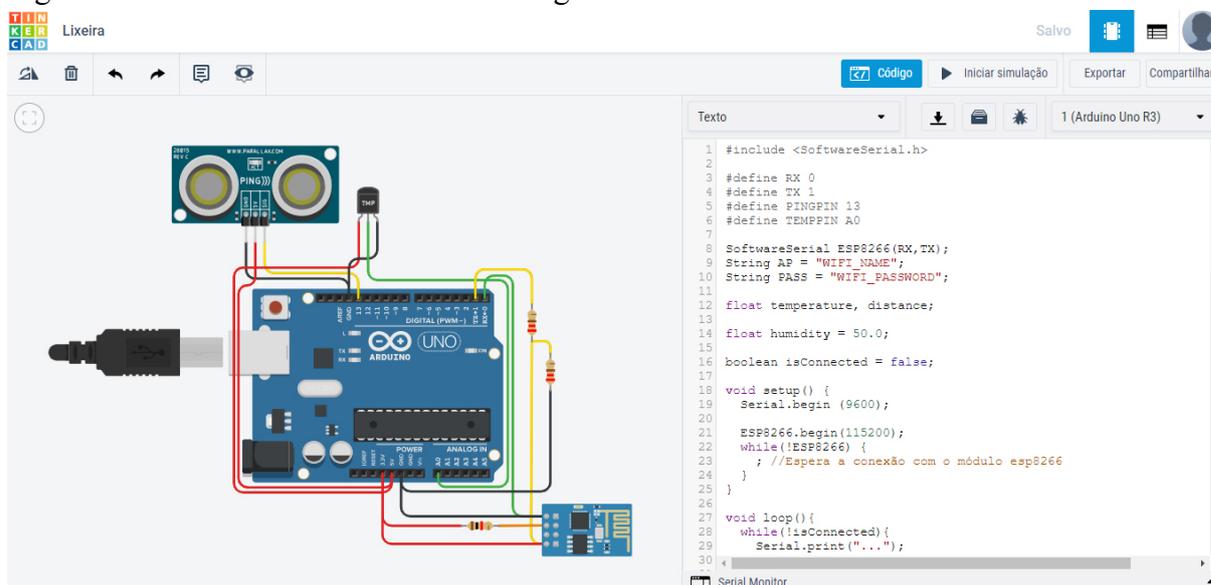
Para realizar a comunicação da lixeira com a Internet, foi utilizada uma placa ESP8266, capaz de conectar-se a pontos de acesso Wi-Fi de 2.4GHz. Como essa placa não

¹⁰ “the Arduino platform was designed to provide an inexpensive and easy way for hobbyists, students and professionals to create devices that interact with their environment using sensors and actuators”

opera na mesma tensão fornecida pelo Arduino, que é de 5V, foi utilizado também um módulo regulador de tensão LM1117, que reduz 5V para 3.3V, exatamente a tensão necessária para o funcionamento da ESP8266. O Arduino possui uma porta identificada por 3V3 que, apesar de entregar a tensão necessária, fornece baixa corrente. Isso pode tornar o comportamento da ESP8266 instável, diferente do que se almeja.

Iniciaram-se então os testes com protótipos virtuais, de modo a minimizar os possíveis problemas na montagem real e antecipar a escrita do código para o Arduino. Para esse fim, foi utilizada a plataforma Tinkercad¹¹, um serviço online da Autodesk¹² que permite a montagem de circuitos eletrônicos através de modelos virtuais, dentre outras funções. Com o serviço, foi possível escrever o primeiro código básico em C/C++ e realizar alguns experimentos com os componentes disponíveis, como mostra a Figura 5. Foi possível simular o Arduino, o sensor ultrassônico e a placa Wi-Fi ESP8266, além de experimentar outros sensores, como o TMP36, que mede variações na temperatura. A principal vantagem percebida na utilização de um simulador ainda na etapa inicial foi a liberdade de experimentação, uma vez que os componentes não “queimam” e é mais fácil identificar as causas dos problemas, quando existentes, o que permitiu desenvolver o protótipo real com mais segurança.

Figura 5 - Primeiro modelo virtual e código montados no Tinkercad



Fonte: *print* screen do Tinkercad.

Em seguida, o circuito foi montado utilizando componentes reais. Essa foi uma etapa simples, uma vez que os esquemas para as interfaces entre os componentes já haviam sido realizados, bem como boa parte do código necessário. Nos primeiros testes com o sensor

¹¹ Disponível em: <<https://www.tinkercad.com/>>. Acesso em: 21 nov. 2018.

¹² Disponível em: <<https://www.autodesk.com/>>. Acesso em: 21 nov. 2018.

ultrassônico, notou-se variações de alguns centímetros entre as leituras, mesmo que o sensor e o objeto não tivessem se movido. Essas variações para mais ou para menos se devem principalmente à precisão do sensor, que não é tão alta. Porém, além dessas variações inerentes ao sensor, há fatores externos que interferem nas leituras, principalmente a umidade e a temperatura do ar. Considerar essas variáveis no cálculo da distância retorna valores mais precisos.

Como explicam Panda *et al.* (2016), o sensor ultrassônico envia pulsos sonoros e recebe os sinais de eco que são refletidos para si e, através de um cálculo que envolve o tempo de resposta dos pulsos e a velocidade do som, é capaz de determinar a distância do que está diretamente à sua frente. Mudanças em fatores como a temperatura e umidade do ar alteram o modo como os pulsos sonoros se comportam, e conseqüentemente, interferem nas aferições. Para minimizar os efeitos dessas perturbações, foi utilizada no cálculo da distância realizado pelo Arduino a fórmula desenvolvida por Panda *et al.* (2016), que relaciona os fatores anteriormente mencionados e compensa seus valores de modo a reduzir as variações no resultado final da leitura. Dessa forma, as leituras serão mais uniformes independentemente das condições de umidade e temperatura, o que leva a dados mais precisos.

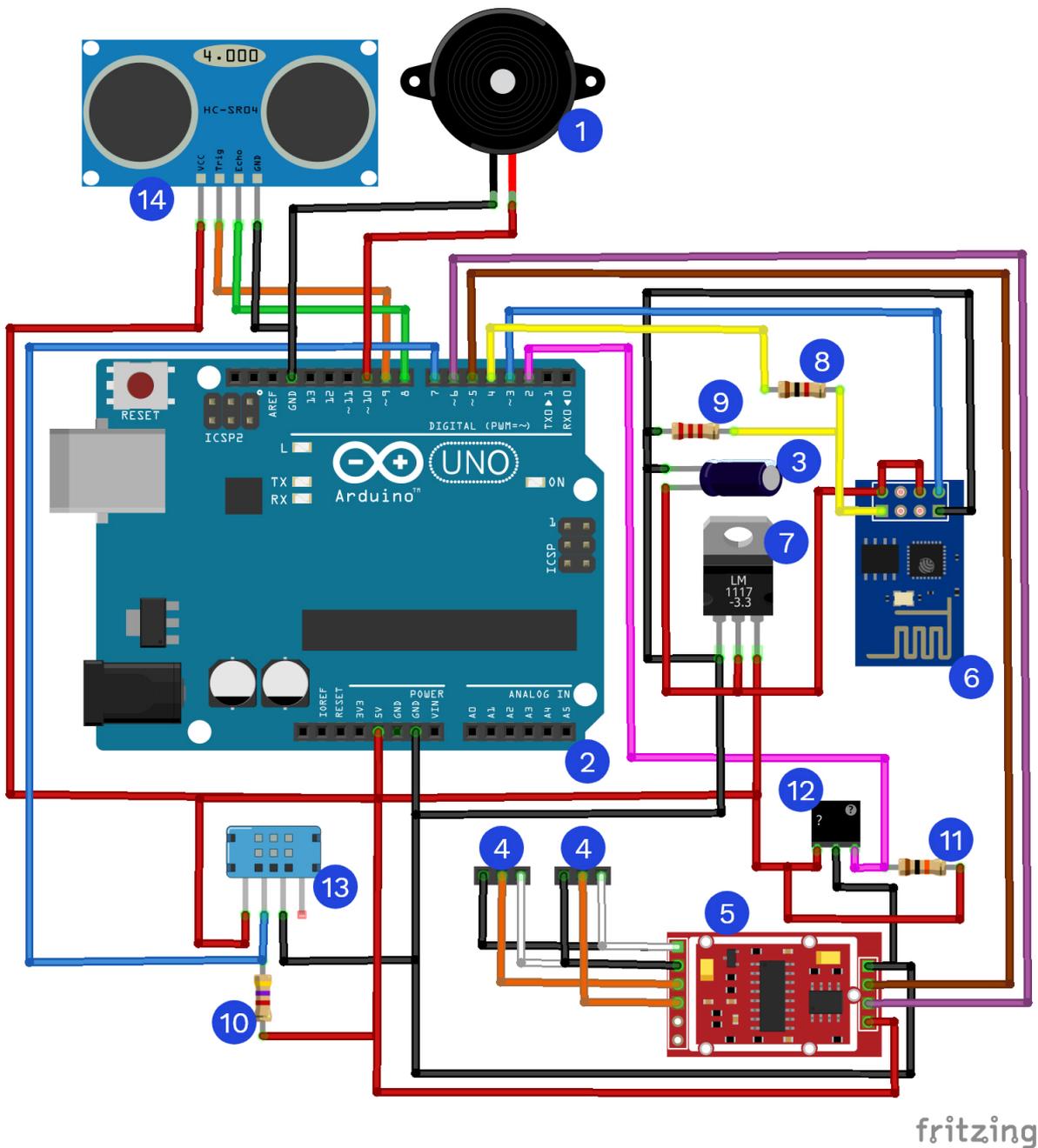
Isso exigiu a inclusão de um novo sensor para realizar as medições de temperatura e umidade do ar, algo não planejado. Para esse fim, utilizou-se o sensor DHT22, capaz de ler variações de temperatura entre -40°C e 80°C e umidade entre 0% e 100%, com boa precisão. Sua interface com o Arduino e o uso geral são bastante simples.

O cálculo do volume foi realizado com base na leitura da altura dos resíduos e na forma da lixeira, que corresponde a um tronco de pirâmide retangular.

Para realizar a detecção da tampa e identificar os momentos em que fosse retirada e colocada, foi utilizado um sensor de efeito *hall* U18524. Esse tipo de sensor detecta variações no campo magnético, respondendo com alterações na corrente quando é exposto a campos magnéticos. Ele é ativado, por exemplo, quando um ímã passa à sua frente. Para obter o funcionamento desejado no protótipo, um ímã foi fixado na tampa, de modo que quando está fechada, o sensor, preso na lixeira, fica exatamente de frente para o ímã. Assim, o sensor é ativado quando a tampa é retirada e colocada, o que é o bastante para obterem-se os dados desejados, descritos anteriormente.

Após montado, o conjunto foi capaz de fornecer todos os dados requeridos no início da etapa: peso, nível de preenchimento (a partir da altura dos resíduos), volume (uma estimativa, com base no preenchimento e no formato da lixeira), se está ou estava aberta, o tempo que permaneceu aberta e, ainda, umidade e temperatura do ar. A Figura 6 mostra como

Figura 6 - Esquema de montagem do circuito da lixeira e lista de componentes elétricos



- | | | | |
|---|-----------------------------------|----|---------------------------------------|
| 1 | Alto-falante | 8 | Resistor 1kΩ |
| 2 | Arduino Uno R3 | 9 | Resistor 2.2kΩ |
| 3 | Capacitor eletrolítico 10μF | 10 | Resistor 4.7kΩ |
| 4 | Célula de carga (máx. 50kg) | 11 | Resistor 10kΩ |
| 5 | Conversor analógico-digital HX711 | 12 | Sensor de efeito hall U18524 |
| 6 | Placa Wi-Fi ESP8266 | 13 | Sensor de umidade e temperatura DHT22 |
| 7 | Regulador de tensão LM1117 | 14 | Sensor ultrassônico HC-SR04 |

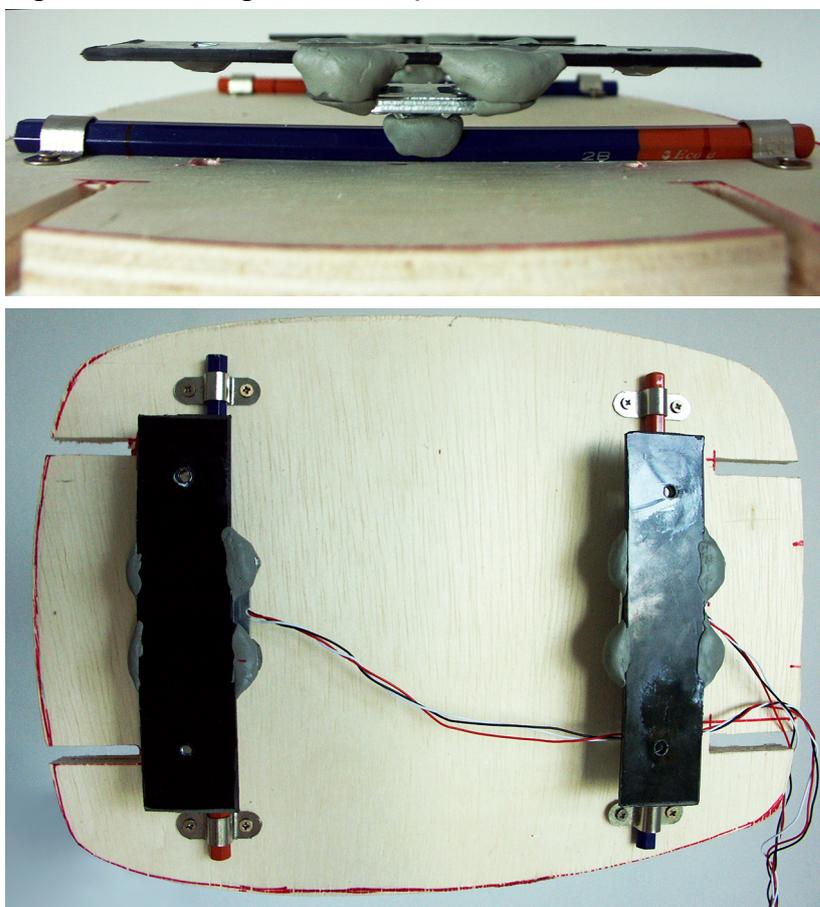
foi montado o circuito final. O desenho foi feito no Fritzing¹³, um software livre destinado ao desenho de esquemáticos e prototipação. O apêndice D traz um desenho com mais detalhes sobre as conexões, feito no Fritzing de modo automático a partir do modelo mostrado na Figura 6. Nele, é possível ver com mais clareza as portas usadas e as conexões feitas entre os componentes utilizados no projeto. Componentes porventura ainda não mencionados serão descritos nas próximas seções.

5.2.1.2 Montagem do protótipo

Para a montagem do protótipo, foi utilizada uma lixeira basculante na cor preta e capacidade de 50 litros, semelhante às que são utilizadas atualmente na UFC Quixadá. Decidiu-se pela escolha de uma lixeira que não fosse muito diferente das demais para evitar uma possível subutilização ou o oposto.

A balança (Figura 7) foi a primeira parte a ser montada. As células de carga foram fixadas com massa epóxi em hastes de madeira que foram presas com abraçadeiras a uma placa de MDF de mesmo formato do fundo da lixeira. Na base de cada uma das células, foi fixada

Figura 7 - Montagem da balança



Fonte: o autor.

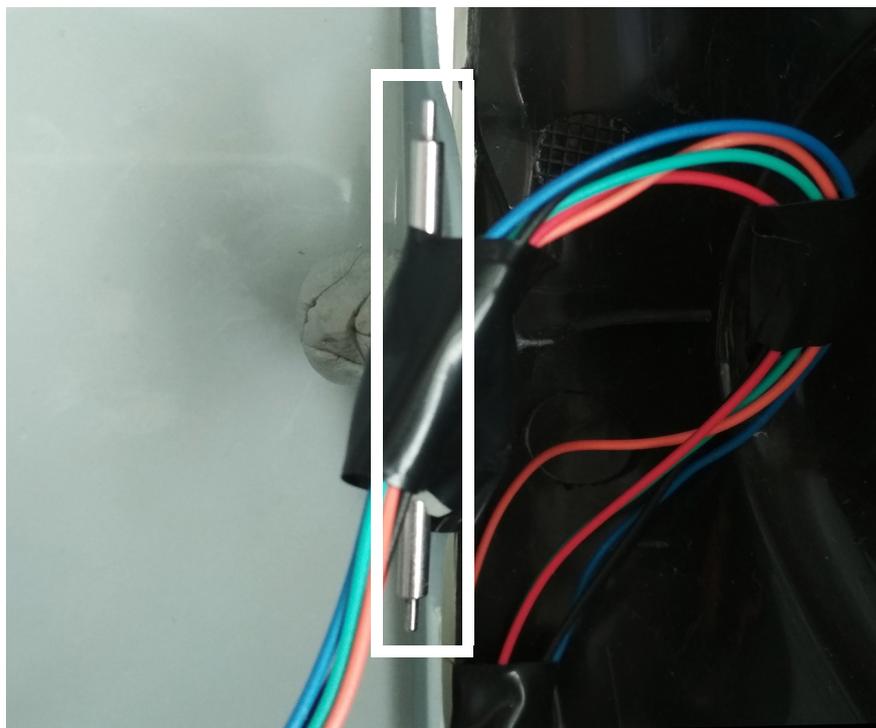
¹³ Disponível em <<http://fritzing.org/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

uma tira de plástico rígido retirado da carcaça de um *notebook*.

A tira foi furada próximo às extremidades e porcas foram fixadas sob as aberturas, permitindo enroscar parafusos. Todo o conjunto da balança foi parafusado no fundo da lixeira. Para não deixar a madeira visível no fundo da lixeira, a parte superior da placa de MDF foi coberta com EVA preto.

A parte interna da tampa é o lugar ideal para serem colocados o sensor ultrassônico e o de umidade e temperatura, por ficar razoavelmente protegida dos resíduos e oferecer uma posição adequada para a medição de sua altura. A tampa basculante é capaz de dar voltas de 360°, o que se mostrou um problema, já que os sensores, que ficariam embaixo do basculante, possuem fios elétricos que precisam chegar até o Arduino. Girar completamente a tampa poderia romper os fios, e para evitar que isso acontecesse, foram fixadas hastes de metal de cerca de 4cm de comprimento nos dois suportes da tampa basculante, o bastante para permitir que ela só abra até certo ponto, sem girar completamente, como mostra a Figura 8.

Figura 8 - Haste de metal usada para impedir movimento completo da tampa basculante



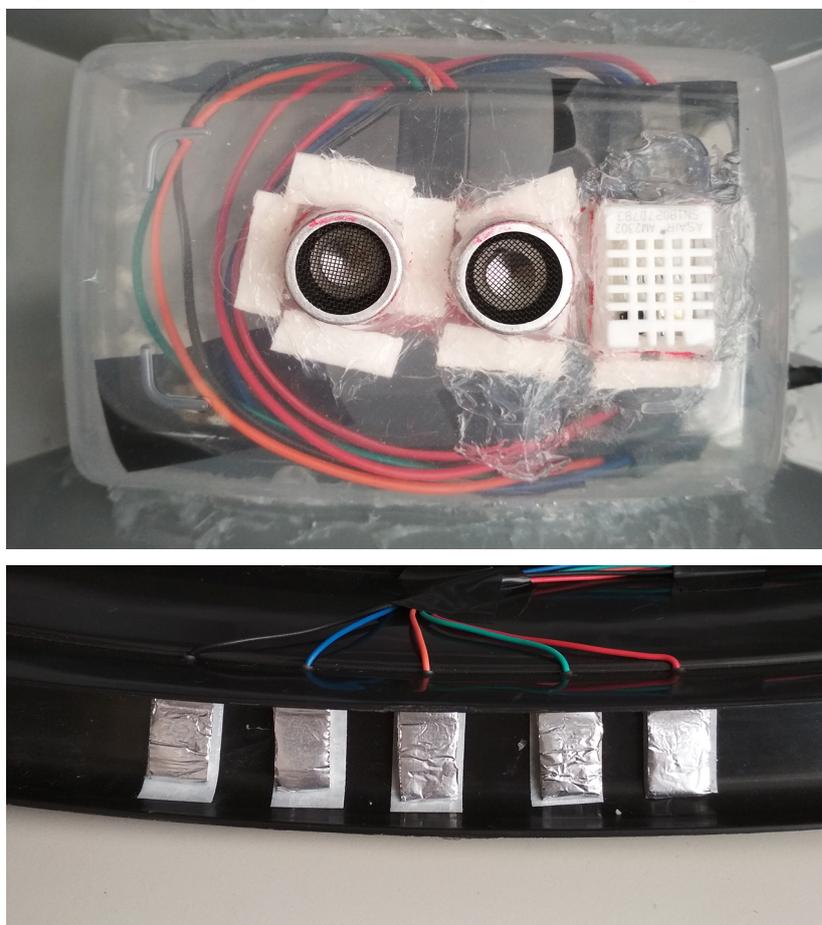
Fonte: o autor.

Na parte interna central do basculante foi preso um recipiente plástico contendo o sensor ultrassônico HC-SR04 e o sensor de umidade e temperatura DHT22. O fundo do recipiente foi recortado no formato do DHT22 e das protuberâncias circulares do HC-SR04, de maneira que puderam ser encaixados por dentro. Para ajudar na fixação, foi utilizada fita dupla

face de 0.3mm. A vedação final foi realizada com silicone acético, que também foi utilizado para fixar o recipiente plástico à superfície do basculante. Após alguns dias de uso, o recipiente descolou, e para fixá-lo mais firmemente foi utilizada dessa vez cola para artesanato, que mostrou ser eficaz o bastante. A Figura 9 mostra na área central o recipiente fixado no basculante.

Visando não atrapalhar os funcionários no momento da coleta, preferiu-se evitar a existência de fios entre a tampa e a lixeira. Assim, para realizar a comunicação dos sensores nela instalados com o Arduino, foram colocados cinco conectores de alumínio tanto na tampa como na lixeira, que realizam o contato elétrico quando a tampa é encaixada. Esses conectores fecham as conexões mostradas anteriormente na Figura 6, e são compostos por retângulos de fita dupla face de 0.3mm envoltos com papel alumínio, na área inferior (Figura 9).

Figura 9 - Montagem final dos componentes na tampa da lixeira



Fonte: o autor.

Para indicar se os contatos estão de fato unidos ao encaixar a tampa, um alto-falante emite um *beep* quando ela é fechada. Uma vez que ela é igual vista tanto de frente como de trás, foram colocados indicadores nela e na lixeira para sugerir o lado frontal e evitar confusão no momento de fechá-la, como mostra a Figura 10, na área superior. A área inferior da figura

mostra uma caixa de óculos onde foram acomodados o Arduino Uno, a placa ESP8266 e os demais componentes necessários para o funcionamento correto de todas as partes. Ela foi furada para evitar superaquecimento das partes eletrônicas e presa com cola para artesanato na parte traseira superior da lixeira. Um furo atravessando-as foi feito para a passagem dos fios.

Figura 10 - Indicadores da parte frontal da tampa e recipiente dos demais componentes



Fonte: o autor.

Normalmente, quando o saco é colocado na lixeira, ele cobre todas as bordas superiores, e a tampa, encaixada por cima, ajuda a prendê-lo. Para evitar que ele fique sobre os conectores de alumínio e os obstrua, foram colocados dois ganchos de metal abaixo dos conectores, para que o saco de lixo seja colocado por baixo deles e não os impeça de se tocarem, como pode ser visto na Figura 11. De qualquer modo, caso haja algum problema na conexão da tampa com a lixeira, ela continuará a enviar os dados de peso, assim como uma indicação de que a tampa não está encaixada corretamente. Da mesma maneira, se algum dos sensores deixar de funcionar, o restante dos dados obtidos continuará a ser enviado. Se a leitura do DHT22 falhar, por exemplo, será utilizada outra para calcular a altura dos resíduos com base nos dados fornecidos pelo HC-SR04, que não considera a umidade e a temperatura.

Figura 11 - Vista superior da lixeira, sem a tampa



Fonte: o autor.

Para reduzir as possíveis interferências eletromagnéticas vindas do ambiente externo que possam interferir nos dados ao serem transmitidos pelos fios elétricos, foram colocadas ferrites nos locais onde os fios foram soldados. A ferrite é um material amplamente utilizado na eletrônica para esse fim, pois é capaz de suprimir interferências eletromagnéticas e de rádio frequência. É necessário realizar testes para avaliar se realmente há necessidade de seu uso.

Para alimentar o Arduino foi utilizado o *plug* DC, onde foi conectada uma fonte AC/DC de 9V e 1A. É importante que a fonte seja de boa qualidade, pois se houverem flutuações na tensão as leituras dos sensores também serão afetadas.

A Figura 12 contém um desenho esquemático simplificado do conjunto da lixeira, de maneira a deixar mais claro onde os diferentes componentes se posicionam no protótipo.

5.2.1.3 Programação

Para a implementação do código, foi utilizada a Arduino IDE¹⁴, um ambiente de desenvolvimento usado para escrever e enviar programas para o Arduino que suporta as linguagens de programação C e C++. Para facilitar a implementação, foram usadas algumas bibliotecas responsáveis por manipular com os componentes, descritas a seguir.

¹⁴ Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

Figura 12 - Localização dos componentes no protótipo da lixeira (vista traseira)



Fonte: o autor.

A comunicação da lixeira com a nuvem utiliza o MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*), um protocolo de comunicação leve e flexível inventado e desenvolvido inicialmente pela IBM no final dos anos 90, com fins de telemetria (IBM, 2018). Ele define duas entidades na rede: clientes e um *message broker*. “O *broker* é um servidor que recebe todas as mensagens dos clientes e, em seguida, roteia essas mensagens para os clientes de destino relevantes. Um cliente é qualquer coisa que possa interagir com o *broker* e receber mensagens” (IBM, 2018). Quando um cliente se conecta, ele pode se inscrever em qualquer tópico de mensagem disponível no *broker*, ler e publicar mensagens naquele (s) tópico (s). Desse modo, em um cenário com muitos objetos diferentes conectados, é possível manter a estrutura da rede organizada mais facilmente.

Para realizar a conexão MQTT, foi utilizada a biblioteca PubSubClient¹⁵, que provém um cliente que permite assinar tópicos e publicar mensagens. Quando o cliente se conecta, ele envia um identificador da lixeira – uma sequência alfanumérica de 24 caracteres única na rede que permite ao *broker* associar os dados a um cliente específico.

A conexão Wi-Fi é gerenciada pela biblioteca WiFiEsp¹⁶, que comunica-se com a ESP8266 através de uma conexão serial e executa ações para realizar o vínculo com a rede *wireless* e manter a conexão ativa. A biblioteca HX711¹⁷ foi utilizada para realizar a comunicação com a placa de mesmo nome e obter os dados de peso. Por fim, a biblioteca DHT¹⁸ foi utilizada no gerenciamento do DHT22, por permitir obter facilmente os dados de temperatura e umidade em escalas conhecidas.

O sensor de efeito *hall* U18524 utiliza a função de *interrupt* do Arduino, que permite executar métodos quando o sensor é ativado. Dessa forma, no momento em que o ímã na tampa da lixeira passa na frente do sensor e o ativa, o *interrupt* é executado. Se for um evento de abertura da tampa, um *timer* será disparado e só irá parar quando ela for fechada. Quando isso acontecer, será publicada uma mensagem contendo os dados coletados pelos sensores e o tempo que a lixeira permaneceu aberta.

A Figura 13 mostra o fluxograma processual básico de execução do código. Após a inicialização do Wi-Fi ser concluída, o Arduino entra em um *loop* onde publica mensagens MQTT a cada 60 segundos ou após a tampa ser fechada. Inicialmente, os dados são coletados pelos sensores e, em seguida, uma mensagem contendo os dados necessários é preparada. Após checar se os clientes Wi-Fi e MQTT estão conectados, a mensagem é publicada. Caso a leitura de algum sensor falhe, o restante dos dados obtidos é enviado da mesma maneira.

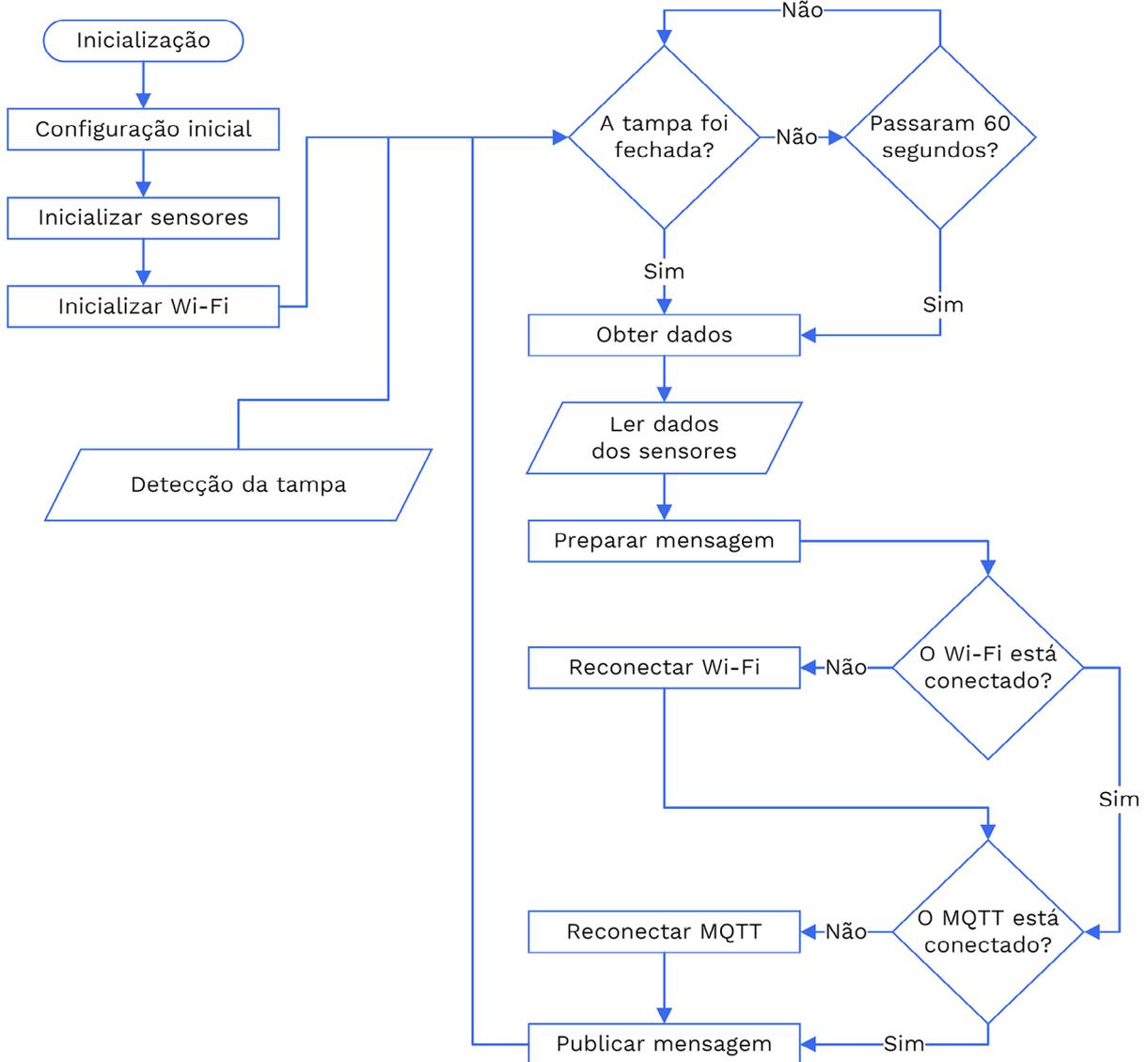
¹⁵ Disponível em: <<https://pubsubclient.knolleary.net/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

¹⁶ Disponível em: <<https://github.com/bportaluri/WiFiEsp/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

¹⁷ Disponível em: <<https://github.com/bogde/HX711/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

¹⁸ Disponível em: <<https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

Figura 13 - Fluxograma processual de execução do código gerado para o Arduino



Fonte: o autor.

5.2.2 Protótipo do sistema

A proposta do sistema teve como base a uma boa usabilidade aliada a uma experiência de uso agradável, de modo a tornar a interface mais efetiva. Segundo Shneiderman e Plaisant (2005, p. 12, tradução nossa), “interfaces efetivas geram sentimentos positivos de sucesso, competência, domínio e clareza [...]. Os usuários não são atrapalhados pela interface e podem prever o que acontecerá em resposta a cada uma de suas ações”¹⁹. Para tanto, foi necessário considerar uma série de guias durante o desenvolvimento da interface. Shneiderman e Plaisant (2005) descrevem oito princípios que são aplicáveis à maioria dos sistemas interativos, que foram levados em consideração no desenvolvimento da proposta:

¹⁹ “effective interfaces generate positive feelings of success, competence, mastery, and clarity [...]. The users are not encumbered by the interface and can predict what will happen in response to each of their actions”

- 1) manter a consistência em todos os aspectos visuais;
- 2) atender a todas as funcionalidades;
- 3) oferecer *feedback* informativo;
- 4) organizar sequências de ações em grupos com começo, meio e fim;
- 5) prevenir erros e oferecer instruções simples para se recuperar;
- 6) permitir desfazer as ações facilmente;
- 7) permitir que os usuários sejam capazes de iniciar ações, não apenas de responder a elas;
- 8) reduzir a carga da memória de curto prazo.

5.2.2.1 Wireframes

O projeto do aplicativo iniciou-se com a criação de *wireframes*, representações em baixo nível que sugerem a estrutura básica dos elementos fundamentais da interface e os relacionamentos entre as páginas. Como são bastante simples, permitem experimentar variações nos *layouts* facilmente, de modo a garantir a consistência. Para esse propósito, foi utilizado o software proprietário Balsamiq Mockups²⁰, que oferece apenas componentes estruturais básicos e permite a criação de *links* entre as páginas a partir dos elementos usados, como botões, itens de menu e imagens. Desse modo, é possível montar rapidamente um *layout* e definir os elementos que comporão as principais páginas da interface. Configurações visuais envolvendo elementos como cores ou tipografia não são consideradas neste momento.

As referências visuais utilizadas foram de painéis de controle, ou *dashboards*, de serviços de monitoramento e análise de dados das mais diversas categorias de mercado, como o Google Analytics²¹, PRTG Network Monitor²², Grafana²³ e Cisco Meraki²⁴, mostradas na Figura 14. Elas foram importantes na definição da estrutura das páginas e exibição do conteúdo, como a estrutura de *grid* e uso de cartões, como será visto a seguir.

A Figura 15 mostra alguns dos primeiros *wireframes* desenvolvidos no Balsamiq Mockups. Estabeleceu-se uma estrutura básica para a organização da informação, que foi feita a partir de uma análise dos tipos de dados enviados pela lixeira e dos objetivos que se deseja atingir. Assim, chegou-se à estrutura vista no menu lateral das telas mostradas na Figura 15, que serviu de base para o desenvolvimento do restante da interface:

²⁰ Disponível em: <<https://balsamiq.com/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

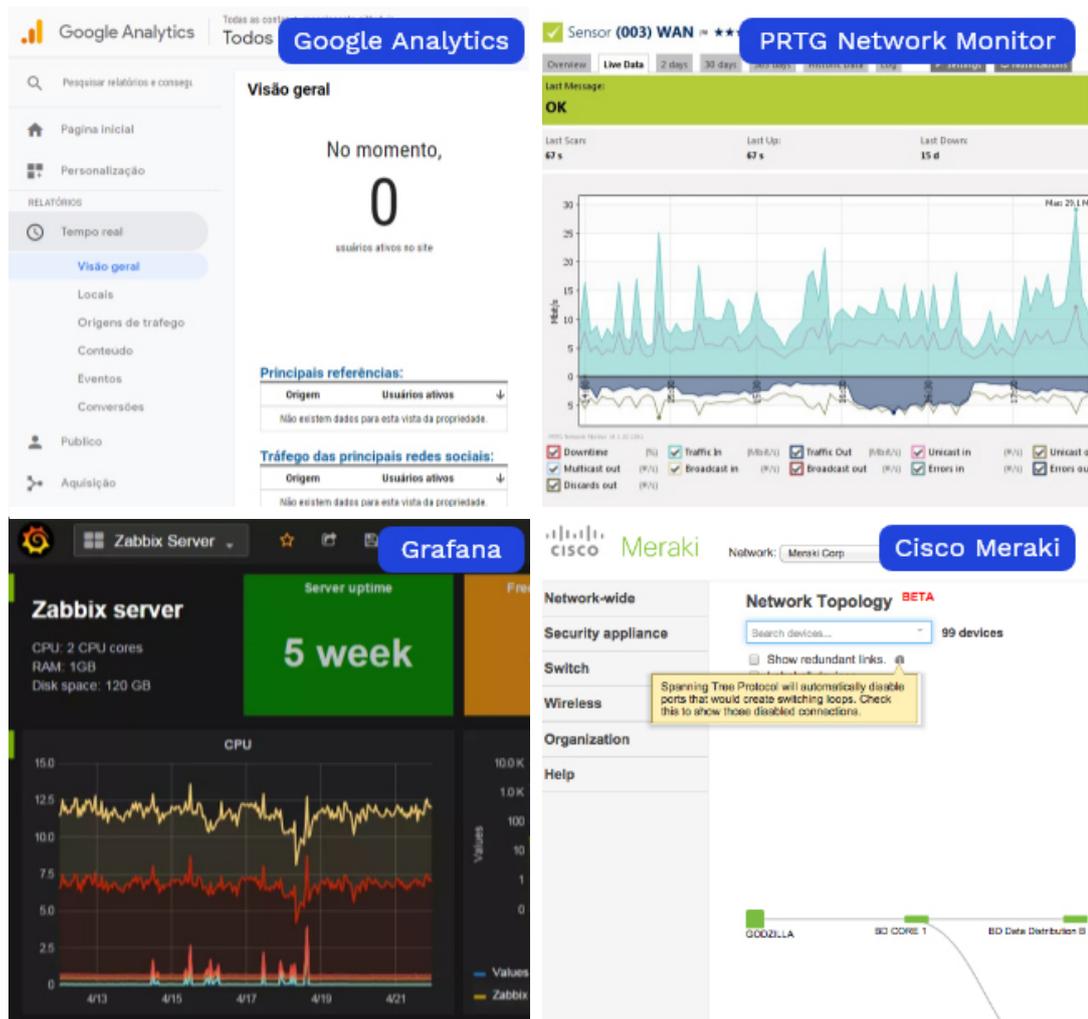
²¹ Disponível em: <<https://analytics.google.com/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

²² Disponível em: <<https://www.br.paessler.com/prtg/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

²³ Disponível em: <<https://grafana.com/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

²⁴ Disponível em: <<https://meraki.cisco.com/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

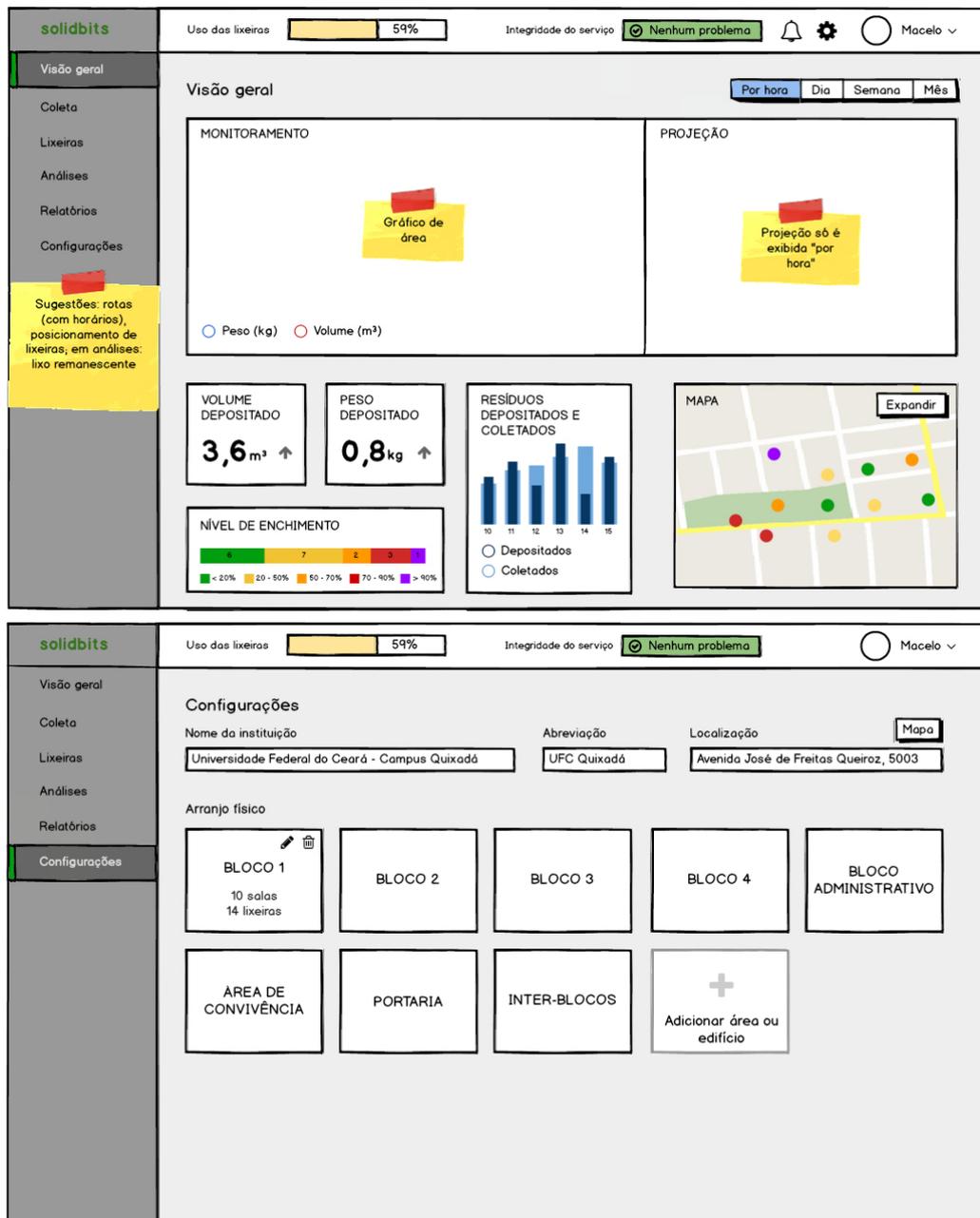
Figura 14 - Referências visuais



Fonte: *print screen* do Google Analytics, PRTG Network Monitor, Grafana e Cisco Meraki.

- visão geral: agrupa as informações mais relevantes sobre todo o sistema, como a utilização geral das lixeiras, total de volume e peso depositados, acumulado de resíduos depositados e coletados, etc.;
- coleta: agrupa informações sobre as rotinas, horários e responsáveis pela coleta;
- lixeiras (substituído posteriormente por “rede”): reúne informações sobre a rede formada pelas lixeiras distribuídas espaço físico e seu estado de funcionamento, integridade dos sensores, etc.;
- análises: permite a realização de análises nos dados coletados, oferecendo apresentações visuais dos resultados;
- relatórios: possibilita gerar relatórios sobre os dados coletados e informações obtidas, a partir de condições preestabelecidas ou criadas pelo usuário;
- configurações: permite editar informações sobre a empresa e o usuário, como arranjo físico da instituição, funcionários, distribuição de lixeiras, dentre outros.

Figura 15 - Wireframes das telas de visão geral e configurações



Fonte: *print screen* do Balsamiq Mockups/o autor.

De modo a facilitar a navegação e manter as informações mais importantes sempre à mostra, o menu superior e a barra lateral são fixos, e estão sempre visíveis. Através deles, é possível alternar rapidamente entre as páginas do aplicativo, ver notificações e ver um panorama acerca do estado geral de carga das lixeiras e da integridade dos diferentes subsistemas necessários para o funcionamento do todo.

As informações exibidas nas páginas são agrupadas em cartões, ou *cards*, que reúnem conteúdos relacionados a um tema específico. O uso de cartões facilita a organização da informação sem o uso de muitos recursos gráficos, pois são estruturas simples, o que resulta em

uma interface mais limpa. Dessa forma, torna-se mais fácil compreender a informação exibida, lendo o título do cartão ou observando o que é mais proeminente, como um gráfico ou alguns números. O seletor de período foi posicionado no topo da página, padrão que se mantém em outras páginas onde ele aparece.

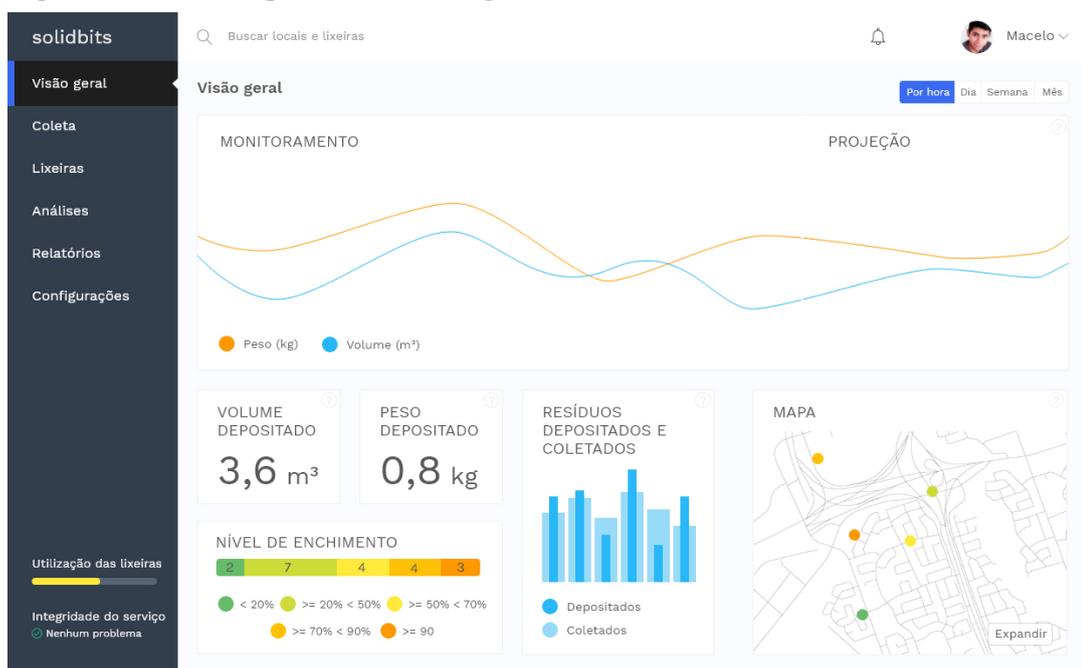
5.2.2.2 Mockups

Concomitante ao desenvolvimento dos *wireframes*, foram realizados os primeiros estudos cromáticos. Na elaboração dos *mockups*, eles foram aprimorados, e junto com os estudos tipográficos que se fizeram, as configurações visuais da interface se tornaram mais palpáveis. Algumas alterações estruturais no *layout* foram realizadas.

A elaboração de *mockups* é importante porque são capazes de dar uma ideia mais concisa sobre o produto final e como ele funcionará. Além disso, é possível perceber possíveis problemas relacionados a cor, estrutura e tipografia, e resolvê-los antes de partir para a implementação. O *mockup* da tela de visão geral é mostrado na Figura 16.

Os indicadores que antes ocupavam toda a barra superior foram movidos para a área inferior da barra lateral, e em seu lugar foi adicionada uma barra de busca, onde podem ser pesquisadas lixeiras e áreas da instituição. Os cartões ganharam um botão de dica, localizado em seu canto superior direito. Ao passar o mouse sobre o botão, deverá surgir um *tooltip* com uma mensagem explicativa sobre o conteúdo do cartão. Assim, o usuário tem um atalho que pode ajudá-lo caso tenha dúvidas ou deseje saber melhor sobre o que é exibido num cartão.

Figura 16 - *Mockup* da tela "Visão geral"



Fonte: o autor.

Com a movimentação dos indicadores que antes ocupavam espaço na barra superior para a área inferior da barra lateral, a barra superior ficou mais simples, contendo apenas as áreas de busca, notificações e acesso ao menu do usuário.

5.2.2.3 Prototipação do aplicativo

Para a prototipação do aplicativo, foi utilizado o editor de código-fonte Visual Studio Code²⁵. Sua principal vantagem é a possibilidade do uso de centenas de extensões que adicionam funcionalidades extras ao editor, como a verificação de erros de sintaxe nos mais diversos tipos de arquivo.

A prototipação do aplicativo foi realizada em Angular 6²⁶, um *framework open-source* para desenvolvimento de aplicações *web* baseado em TypeScript, cujos suporte e manutenção são liderados por uma equipe do Google. O *framework* oferece diversas vantagens no desenvolvimento de aplicações *web* se comparado aos métodos tradicionais utilizando apenas HTML, CSS e JavaScript, como a possibilidade de uso de componentes e módulos, que facilitam o processo de implementação e evitam repetição de código, e a oferta de uma CLI (interface de linha de comando), através da qual é possível com facilidade criar novos componentes, iniciar um servidor local que recarrega a página automaticamente quando há alterações no código ou gerar versões para entrega, para citar algumas funções. Esses e outros recursos tornam a implementação mais rápida e permitem criar páginas com conteúdo dinâmico sem muitos problemas.

Uma vez que algumas funcionalidades requerem maior tempo para serem desenvolvidas, definiu-se um escopo para implementação, onde foram selecionados os componentes de visão geral, lixeiras, coleta e configurações. Esses componentes oferecem a funcionalidade básica necessária para realizar o monitoramento e gerenciamento da coleta de resíduos sólidos.

A aplicação foi dividida em três módulos, cada um com uma funcionalidade diferente: *core*, *main* e *shared*. O módulo *core* (núcleo) dirige a aplicação: ele gerencia o serviço de autenticação e contém componentes globais, como a página de início, *login* e barra superior. O módulo *main* (principal) representa a aplicação em si, e só pode ser acessado privativamente através de uma conta de usuário. Ele só é carregado quando a autenticação é realizada com sucesso no módulo *core*. O módulo *shared* (compartilhado), por sua vez, contém componentes que são utilizados em diferentes locais da aplicação.

²⁵ Disponível em: <<https://code.visualstudio.com/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

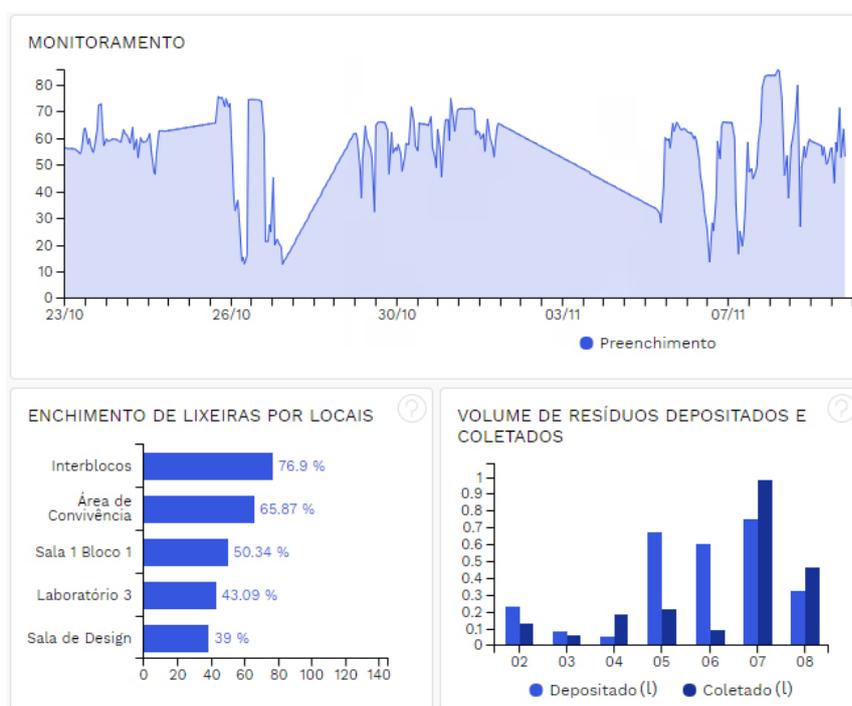
²⁶ Disponível em: <<https://angular.io/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

Na aplicação, as páginas representam componentes que são formados por um conjunto de subcomponentes, principalmente cartões. Cada subcomponente guarda um conjunto de informações necessárias à exibição de um tipo específico de dado, como gráficos de linha ou indicadores numéricos e textuais.

Os dados dos cartões são trafegados entre o servidor e a aplicação através de *sockets*, um protocolo de comunicação que permite ao servidor enviar mensagens a qualquer momento para um cliente conectado. Dessa forma, quando há novos dados, ele os envia para a aplicação, que atualiza as visualizações. Por conta dessa capacidade, os *sockets* são amplamente utilizados em serviços que requerem atualização constante dos dados, como bate-papos ou *streamings* de mídia. A biblioteca Socket.io²⁷ foi utilizada para realizar sua implementação.

Para a criação dos gráficos, foi utilizada a biblioteca C3.js²⁸, que utiliza SVG (gráficos vetoriais escaláveis) para realizar o desenho na interface. Ela é implementada no topo da D3.js²⁹, uma biblioteca altamente flexível usada na construção de visualizações de dados dos mais diversos tipos. A C3.js facilita o processo de implementação por possuir modelos pré-definidos de diversos gráficos, como os de linha, barra, área, e ainda funções avançadas como a definição de agrupamento de dados e criação de gráficos personalizados. A Figura 17 mostra alguns exemplos de gráficos na aplicação que foram gerados utilizando a C3.js.

Figura 17 - Gráficos gerados através da biblioteca C3.js



Fonte: o autor.

²⁷ Disponível em: <<https://socket.io/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

²⁸ Disponível em: <<https://c3js.org/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

²⁹ Disponível em: <<https://d3js.org/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

Na construção do *layout* da aplicação, foi utilizada a biblioteca Flexbox Grid³⁰, que divide o espaço disponível no *browser* em um *grid* de 12 colunas, onde cada elemento ocupa uma determinada quantidade de colunas estabelecida pelo usuário. Esse valor pode ser configurado para variar a depender do tamanho da tela, o que permite criar *layouts* responsivos com mais facilidade e também manter um padrão no tamanho de itens, espaçamento e distribuição, já que as colunas podem se reorganizar.

Na página “rede” foi utilizada a biblioteca D3.js, mencionada anteriormente, para o desenho do gráfico que exibe toda a rede de lixeiras conectadas, como mostra a Figura 18. A rede é gerada dinamicamente a partir de uma lista de objetos, que correspondem às áreas da instituição e às lixeiras. O gráfico desenhado corresponde a um dendrograma, um tipo de diagrama onde os dados são representados como nós que se agrupam de modo hierárquico, transmitindo uma ideia de relação entre as partes.

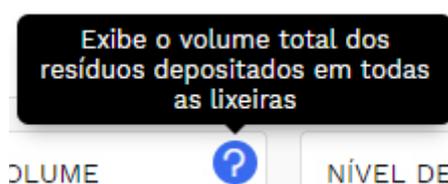
Figura 18 - Visualização da rede



Fonte: o autor.

Nos botões de dica presentes em todos os cartões, foi utilizada a biblioteca Tooltip for Angular 2³¹. Seu uso é bastante simples, bastando apenas informar o conteúdo da mensagem e de que lado o *tooltip* surgirá. A Figura 19 mostra um *tooltip* gerado utilizando a biblioteca.

Figura 19 - *Tooltip* gerado com a biblioteca Tooltip for Angular



Fonte: o autor.

³⁰ Disponível em: <<http://flexboxgrid.com/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

³¹ Disponível em: <<http://crystalui.org/components/tooltip/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

5.2.2.4 Teste de usabilidade

Após a construção da versão inicial do protótipo, foi realizado um teste de usabilidade com três participantes, servidores técnico-administrativos da UFC Quixadá. Durante a condução do teste, que foi realizado individualmente com cada um dos participantes, a proposta do sistema foi rapidamente apresentada, e em seguida foi pedido que realizassem algumas tarefas, listadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Tarefas do teste de usabilidade

Tarefa
Alterar o período das visualizações para um dia
Verificar quando será realizada a próxima coleta
Visualizar todas as lixeiras
Ver as informações de uma lixeira específica
Checar se há algum problema com o serviço

Fonte: o autor.

Através do *feedback* dos participantes, foram notadas algumas inconsistências:

- os ícones de dica dos cartões são muito claros e demoram a ser notados ou simplesmente passas despercebidos;
- as cores são usadas para identificar tanto o estado de funcionamento das lixeiras como o nível de preenchimento, o que causa confusão;
- a informação de estado do serviço na barra lateral não deixa claro se faz referência ao serviço de coleta ou ao aparato tecnológico necessário ao funcionamento do SolidBits.

A partir dessas observações, foram realizadas algumas alterações na interface. Nos botões de dica presentes nos cartões, foi usado um tom de cinza mais escuro a fim de torná-los mais visíveis, como mostra a Figura 20.

Figura 20 - Alterações no botão de dica

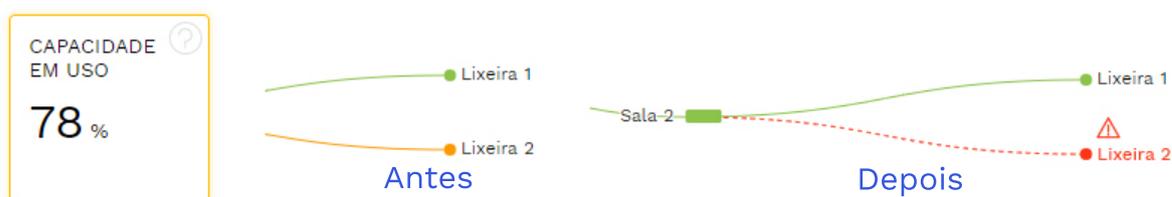


Fonte: o autor.

Na visualização de rede, uma lixeira que está *off-line* ou que apresenta algum problema aparece de cor diferente das demais. A intenção é indicar uma falha, mas os participantes entenderam que ela estava cheia. Isso ocorreu porque a cor utilizada é a mesma que indica uma

capacidade média-alta de uso da lixeira, como mostra a Figura 21. Para solucionar o problema, a cor vermelha foi usada ao invés de laranja tanto nos gráficos como no título, a linha contínua foi mudada para um tracejado e acrescentou-se um ícone de aviso acima do título. A Figura 21 mostra o antes e depois das alterações.

Figura 21 - Alterações no indicador de erro na visualização de rede



Fonte: o autor.

O indicador de estado localizado na barra lateral destina-se a informar de modo breve a carga em uso das lixeiras e a integridade do serviço do SolidBits (banco de dados, servidor HTTP, *broker* MQTT, etc.), porém os participantes entenderam que o serviço em questão é o serviço de coleta realizado pelos funcionários. Por isso, o texto e o indicador da integridade foram removidos, ficando apenas a barra de uso da carga das lixeiras. Foi acrescentado o valor da carga em uso, expressa em porcentagem acima da barra. Caso haja algum problema com a integridade do serviço, será utilizada a área de notificações para informar ao usuário acerca do problema. Além de deixar a informação mais clara, essa mudança agrupa tudo o que se trata de notificação em um só lugar. A Figura 22 mostra o antes e depois das alterações.

Figura 22 - Alterações no indicador de estado



Fonte: o autor.

5.2.3 Servidor

O servidor foi completamente implementado em um ambiente Node.js³², um interpretador *open-source* de código JavaScript focado na criação de aplicações de rede altamente escaláveis, capazes de lidar com dezenas de milhares de conexões simultâneas sem usar muita memória. Por conta disso, ele é ideal para aplicações em tempo real, onde há intensa

³² Disponível em: <<https://nodejs.org/en/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

troca de dados entre os dispositivos conectados. Há uma enorme comunidade global em torno do Node.js, razão pela qual existem diversos módulos, bibliotecas e pacotes disponíveis para serem utilizadas em aplicações construídas no ambiente.

A biblioteca Express.js³³ foi utilizada para a criação do servidor HTTP e da API REST, um estilo de arquitetura de transferência de dados que consiste de princípios e regras que permitem que aplicações se comuniquem. Em conjunto com os *sockets*, a API REST funciona como uma interface que conecta a aplicação com os serviços do *back-end*, de maneira a permitir que se comuniquem. Assim como no *front-end*, a biblioteca Socket.io foi utilizada para a implementação dos *sockets*.

No tocante à autenticação, foi utilizado o Passport.js³⁴, um pacote Node.js que pode ser utilizado em qualquer aplicação Express.js que provê uma série de estratégias para autenticação. A estratégia utilizada foi a JWT (*JSON Web Token*)³⁵, um padrão aberto para criar *tokens* de acesso que são transferidos junto com as solicitações realizadas pela aplicação. Quando o usuário faz *logout* ou depois de 12h de ativação do *token*, ele é invalidado.

Além de fornecer os dados para a aplicação *web*, o servidor também é responsável por gerenciar as lixeiras conectadas e as mensagens publicadas por elas. Para esse propósito, foi utilizada a biblioteca Mosca³⁶, que implementa um *broker* MQTT capaz de funcionar tanto de modo independente como embutido em outra aplicação Node.js, o que foi o caso. Assim, um único servidor é o bastante para gerenciar tanto a aplicação *web* como as lixeiras.

Na escolha do banco de dados, considerou-se um cenário de uso com centenas de lixeiras conectadas, como se daria em uma cidade. Isso exige que o banco seja capaz de lidar com grandes quantidades de requisições, geradas tanto no armazenamento dos dados vindos das lixeiras como nas solicitações realizadas pelos serviços do *back-end* e pela aplicação *web*.

A escolha do banco foi baseada ainda na natureza dos dados os quais a aplicação gira em torno, que são essencialmente do tipo *time series* (séries de tempo), sequências de dados coletados em intervalos regulares, como os que são enviados a cada minuto pelas lixeiras. De modo a gerar algum valor, esses dados necessitam ser agregados e analisados e, como são produzidos em curtos intervalos de tempo, sua quantidade cresce rapidamente. Assim, o banco precisa ser escalável, tolerante a falhas, e deve ainda oferecer ótima performance e disponibilidade, de maneira a ser capaz de gerenciar as quantidades massivas de dados provenientes dos muitos dispositivos conectados.

³³ Disponível em: <<https://expressjs.com/pt-br/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

³⁴ Disponível em: <<http://www.passportjs.org/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

³⁵ Disponível em: <<https://jwt.io/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

³⁶ Disponível em: <<http://www.mosca.io/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

Considerando esses requisitos, chegou-se ao InfluxData³⁷, uma plataforma de núcleo *open-source* planejada para métricas e eventos que provê uma série de aplicações capazes de instrumentar, observar, aprender e automatizar qualquer sistema. As aplicações disponibilizadas são o Telegraf, um agente responsável pela coleta de dados e geração de relatórios; o InfluxDB, um banco de dados NoSQL³⁸ planejado para dados de séries de tempo; o Chronograf, que provê uma interface completa para o gerenciamento da plataforma, e o Kapacitor, um motor de processamento de dados em tempo real capaz de disparar alertas e executar ações baseadas nesses alertas. A InfluxData oferece esses produtos como um serviço pago, mas uma vez que seu núcleo é *open-source*, ela também os disponibiliza como aplicações que podem ser baixadas e executadas em diferentes sistemas operacionais.

Segundo a InfluxData (2018), o InfluxDB é capaz de ingerir milhões de pontos de dados por segundo, executar pesquisas complexas através de grandes conjuntos de dados, realizar *downsampling* e otimizar o armazenamento de dados para reduzir os custos de instalação e manutenção. *Downsampling* se refere ao processo de reduzir a taxa de amostragem de um sinal, “compactando” vários blocos de dados em apenas um. O processo é importantíssimo em uma aplicação *web* que faça uso de gráficos, pois contribui na redução do volume de dados trafegados entre a aplicação e o servidor.

No SolidBits, por exemplo, a cada minuto é registrado no banco um novo ponto contendo os dados provenientes do protótipo da lixeira. Considerando que o protótipo funcione ininterruptamente, são registrados 1.440 pontos em um dia, cada um com um conjunto de dados sobre peso, temperatura, etc. Em 30 dias, são registrados 43.200 pontos e, em um ano, 518.400 pontos. Não faz sentido, por exemplo, quando a aplicação requisita o gráfico de produção de resíduos dos últimos 30 dias, enviar 43.200 pontos, pois isso exigiria uma grande carga da rede e de processamento do *browser* para realizar o desenho do gráfico. Assim, quando dados como esses são requisitados, o InfluxDB realiza um processo de *downsampling* antes de enviá-los, condensando os milhares de pontos em algumas centenas. O banco pode ser configurado para realizar esse processo automaticamente nos dados armazenados, de maneira a reduzir o espaço utilizado por eles, mas manter a informação que importa.

No InfluxDB, a pesquisa é realizada através de uma linguagem de consulta bastante semelhante ao SQL. Usou-se o pacote *node-influx*³⁹ para realizar a comunicação com o banco, já que o Telegraf, agente especializado na coleta de dados disponibilizado pela InfluxDB, não é

³⁷ Disponível em: <<https://www.influxdata.com/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

³⁸ Termo utilizado para definir um tipo de banco de dados cujo mecanismo de armazenamento e recuperação é diferente das formas tabulares utilizada nos bancos SQL convencionais.

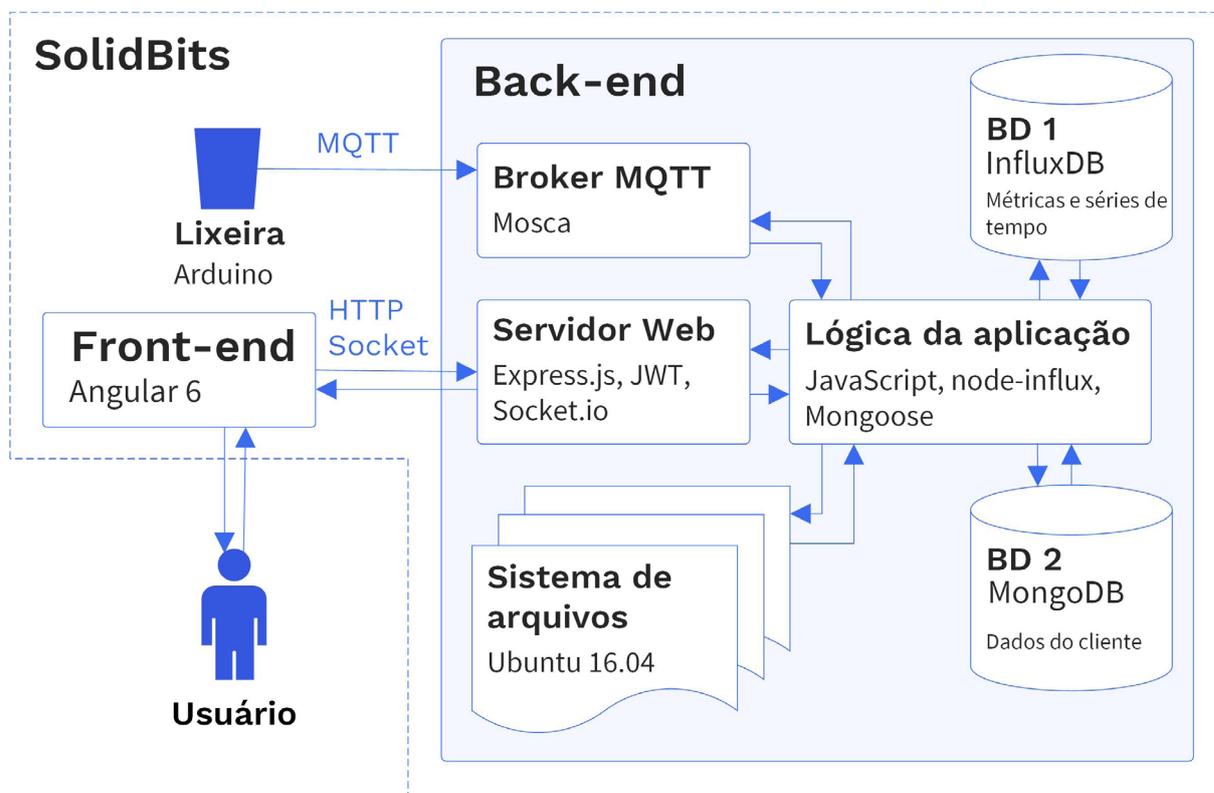
³⁹ Disponível em: <<https://github.com/node-influx/node-influx/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

capaz de integrar-se a uma aplicação Node.js, apesar de que ainda possa ser usado em conjunto. Com a utilização do node-influx, os comandos de pesquisa são escritos junto com o restante da lógica da aplicação, de modo que a estrutura e a configuração do servidor se tornam mais facilmente organizáveis.

Uma vez que o InfluxDB é direcionado apenas para o registro de informações de séries de tempo, fez-se necessário utilizar outro banco para registrar os dados dos usuários e metadados das lixeiras, como sua posição geográfica. Para esse propósito, foi utilizado o MongoDB⁴⁰, um banco NoSQL *open-source* que oferece um modelo de armazenamento baseado em documentos, simples de configurar, utilizar e realizar consultas. Para facilitar o gerenciamento do MongoDB, utilizou-se a biblioteca Mongoose.js⁴¹, que permite facilmente criar modelos de entidades, realizar validação de solicitações e pesquisas no banco, além de gerenciar as regras de negócio necessárias.

A Figura 23 mostra um diagrama de arquitetura que ilustra o modo como se estrutura o SolidBits. Além das relações entre as partes, estão as principais tecnologias utilizadas no desenvolvimento bem como os protocolos de comunicação em uso.

Figura 23 - Diagrama de arquitetura do SolidBits



Fonte: o autor.

⁴⁰ Disponível em: <<https://www.mongodb.com/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

⁴¹ Disponível em: <<https://mongoosejs.com/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

5.2.4 Definição de diretrizes visuais

Com o objetivo de estabelecer fundamentos para a construção da identidade visual do SolidBits e definir os elementos formais que o representarão visualmente, como cor, tipografia e *layout*, foram definidas diretrizes relacionadas aos aspectos visuais da interface.

A Figura 24 mostra as cores usadas no projeto. Foi selecionada uma cor principal, um tom de azul profundo. O azul é associado a ideais de limpeza, calma e segurança, e sua estabilidade e contraste o tornam conveniente para ser utilizado em componentes interativos, como botões. A partir de alterações no brilho da cor principal, foram selecionados outros seis tons, compondo uma graduação usada nas ilustrações.

Para ressaltar as informações exibidas, foram selecionadas seis cores de suporte para os indicadores da interface. Para sugerir estado, são usadas cinco cores, que vão do verde ao laranja. A sexta cor, vermelha, é reservada para uso em alarmes e notificações críticas que requerem atenção. Ao verde, amarelo e vermelho foi também acrescentado mais brilho, e assim foram selecionados outros três tons que dão suporte às ilustrações, e podem ser usados para evidenciar elementos importantes.

Figura 24 - Cores usadas no projeto

Cor principal



#3556DE

Gradações da cor principal



#183195



#1F3FC1



#88A0FF



#B7CAFF



#DCE6FF



#EEF2FC

Cores de suporte para os indicadores da interface



#8CC34B



#CDDC39



#FFE93B



#FEC107



#FE9900



#FE3517

Cores de suporte para ilustrações



#B9D97F



#FFE578



#FBAB87

Fonte: o autor.

O logotipo do projeto (Figura 25) utiliza uma tipografia sem serifa, de traços simples e curvas suaves. O símbolo é um quadrado que possui cortes que fazem menção a uma placa de circuito e fazem surgir o S de SolidBits. A partir da estabilidade das formas, o logotipo busca inspirar sentimentos de confiança e solidez.

Figura 25 - Logotipo do SolidBits



Fonte: o autor.

De maneira a reforçar os ideais de simplicidade, as ilustrações usadas possuem traços mínimos e poucas cores e detalhes (Figura 26). Os tons de azul são priorizados e as diferentes gradações podem ser usadas para compor luz e sombra. As cores verde, amarela e vermelha são usadas para chamar a atenção para algum elemento. Para que não as ilustrações não se tornem muito monótonas, as curvas são bastante exploradas.

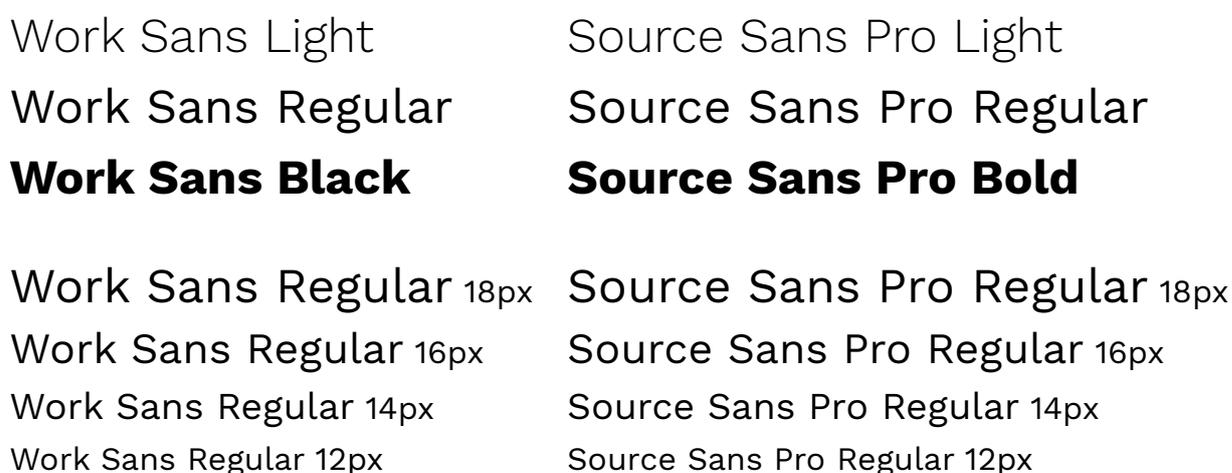
Figura 26 - Exemplo de ilustração



Fonte: o autor.

Foram selecionadas duas fontes tipográficas (Figura 27). A Work Sans possui um traço retangular, sem serifa, e foi escolhida para os títulos, textos em destaque e botões. Seus tamanhos médios (entre 14px e 48px) são otimizados para leitura em tela. A Source Sans Pro, que possui um *kerning* menor que a Work Sans, foi selecionada para o corpo de texto. Assim como a Work Sans, é uma tipografia otimizada para leitura em tela. Ambas são *open-source*, e estão disponíveis para uso e *download* gratuitos no Google Fonts⁴², um site que reúne centenas de tipografias feitas principalmente para a *web*.

Figura 27 - Fontes tipográficas selecionadas



Fonte: o autor.

Os ícones usados (Figura 28) são parte do Linearicons⁴³, um pacote que oferece 170 ícones para uso gratuito. Seus traços finos e o não uso de preenchimentos os tornam simples e adequados à interface, que também propõe simplicidade.

Figura 28 - Ícones usados



Fonte: o autor.

Na construção do *layout*, utilizou-se como base a unidade tipográfica de medida relativa (*rem*), onde as unidades são dadas com base no tamanho da fonte na raiz do HTML. No SolidBits, esse tamanho foi configurado para 16px. A partir desse valor, que é o equivalente a 1rem, foram criados os espaçamentos usados nos *padding*s e margens dos componentes na interface (Figura 29). A principal vantagem no uso da unidade *rem* nas medidas é a facilidade para alterná-las todas proporcionalmente apenas alterando o tamanho da fonte base.

⁴² Disponível em: <<https://fonts.google.com/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

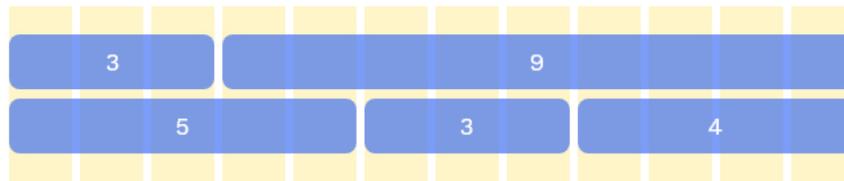
⁴³ Disponível em: <<https://linearicons.com/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

Figura 29 - Espaços usados

1.25rem  20px1rem  16px0.75rem  12px0.5rem  8px

Fonte: o autor.

O *layout* utilizado em todas as páginas consiste da utilização de um sistema de *grid*, através de colunas e linhas. Cada linha possui 12 colunas, e dentro dela são aninhados componentes que ocupam cada um determinada quantidade de colunas (Figura 30). Os espaçamentos entre as colunas são constantes, de 1rem. Como os espaçamentos e a quantidade de colunas são fixos, os *layouts* ficam mais consistentes.

Figura 30 - Componentes aninhados em uma estrutura de *grid*

Fonte: o autor.

6 RESULTADOS

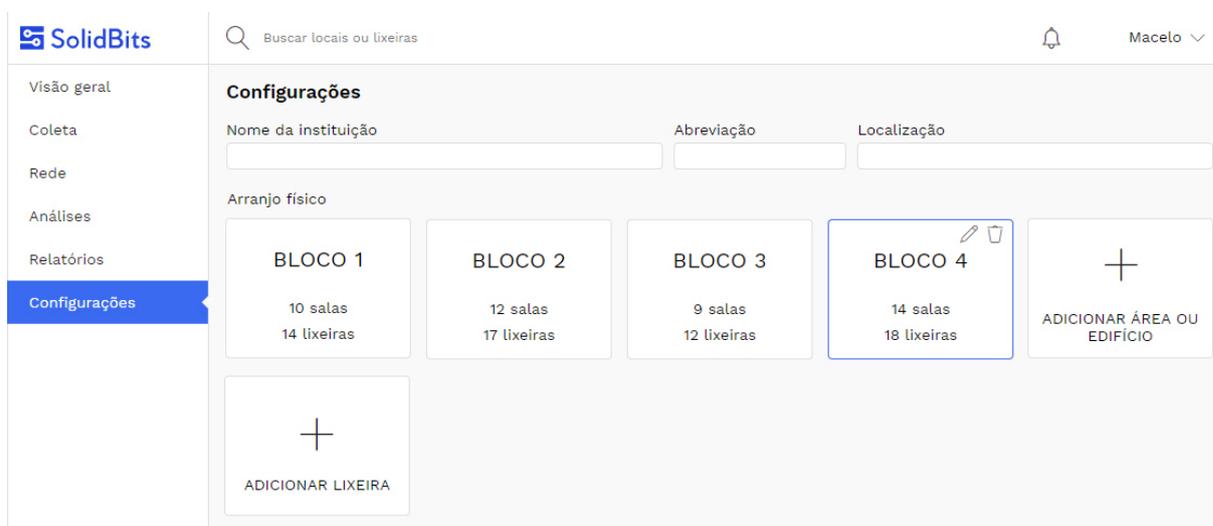
Ao final do percurso descrito na seção anterior, chegou-se ao conjunto desejado: protótipos da lixeira e da aplicação *web*. A seguir, serão apresentados os principais pontos da estrutura atingida, bem como as falhas encontradas nos protótipos, as correções tomadas e possíveis soluções para problemas que não puderam ser resolvidos.

A base de funcionamento da proposta é a lixeira, que coleta periodicamente dados sobre os resíduos nela contidos e os envia através da Internet para um servidor. Este, por sua vez, integra os serviços necessários para o funcionamento do SolidBits, recebendo os dados coletados pelas lixeiras e enviando-os ao banco, ao mesmo tempo em que serve a aplicação *web* e responde às solicitações realizadas por ela.

A proposta foi planejada e implementada de maneira que pudesse ser experimentada em qualquer espaço interno. Por isso, nas configurações é oferecida uma estrutura flexível onde é possível adicionar, remover e editar áreas do espaço físico da instituição, como salas, prédios e corredores, bem como lixeiras (Figura 31). É possível ainda carregar imagens da estrutura física da instituição, o que permite associar uma lixeira a um ponto no espaço.

Para adicionar uma lixeira nova, é necessário informar um nome para identificação e definir sua posição no mapa. Será gerado um identificador único, uma sequência de caracteres que é usada para identificá-la na rede MQTT e nos bancos de dados. Esse identificador precisa ser inserido manualmente no código do Arduino, bem como o endereço IP do servidor e o nome e senha da rede Wi-Fi à qual a lixeira se conectará. Em seguida, o código deve ser carregado para o Arduino e, se tudo estiver correto, os dados coletados começarão a ser exibidos na aplicação.

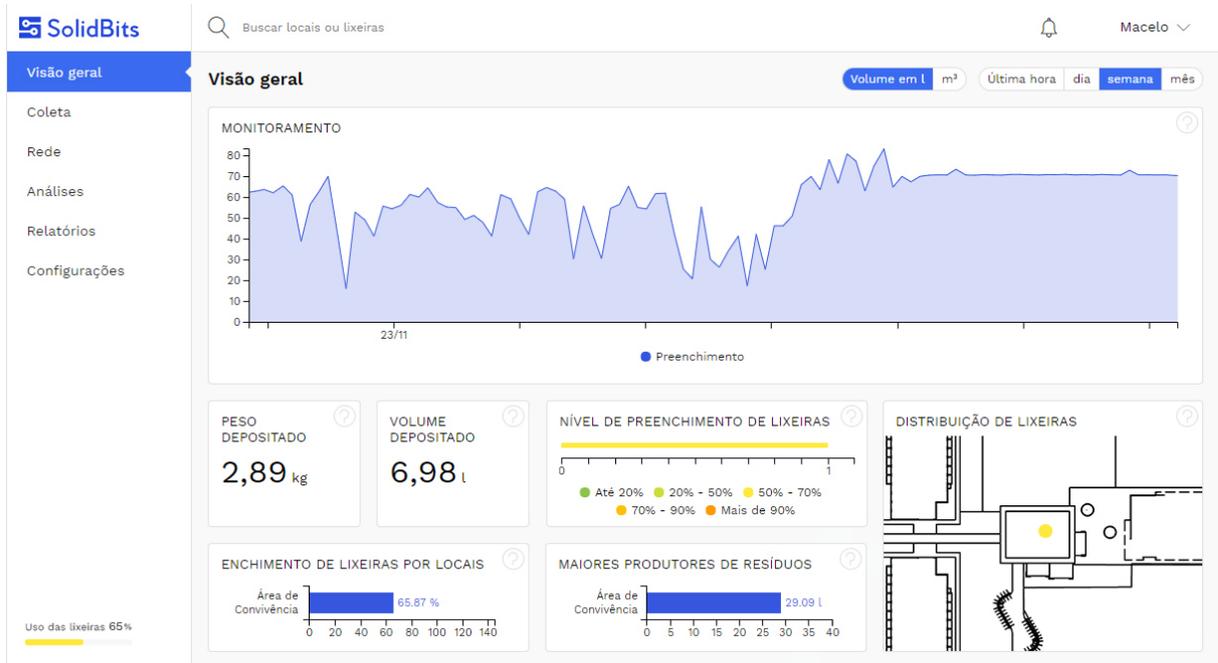
Figura 31 - Recorte da página "Configurações"



Fonte: o autor.

Na página "Visão geral" (Figura 32), é possível ter acesso a um conjunto de informações relacionadas a todo o sistema. A ideia é oferecer um panorama que possibilite perceber como anda a produção de resíduos e sua coleta. As informações exibidas são fruto de relações estabelecidas entre os dados de lixeiras diferentes.

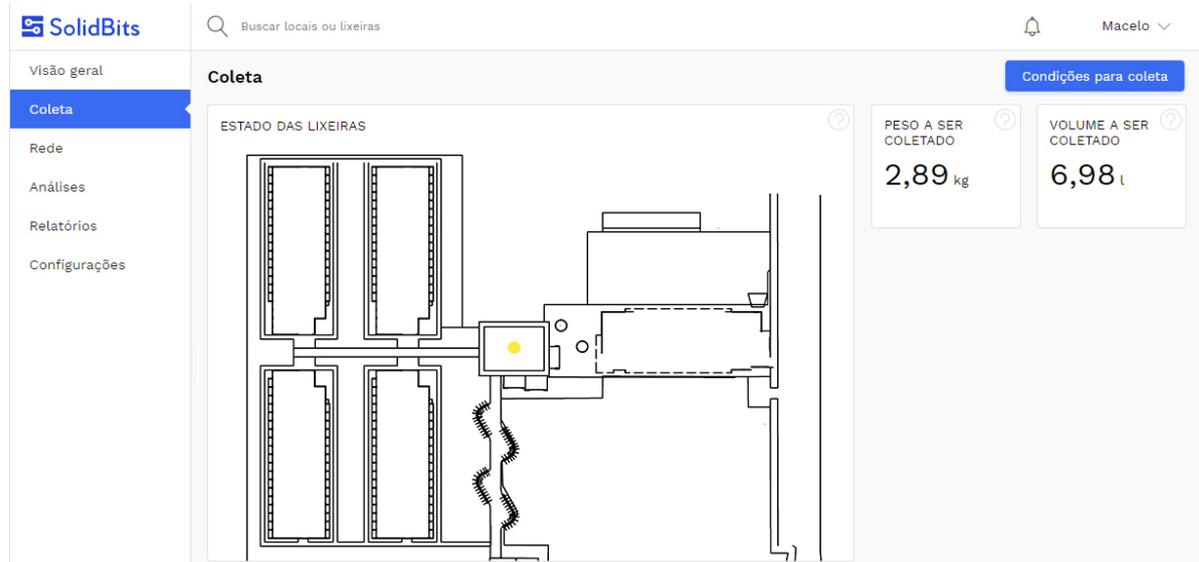
Figura 32 - Recorte da página "Visão geral"



Fonte: o autor.

A página "coleta" (Figura 33) mostra em um mapa a localização de cada lixeira e uma sugestão de rota para recolha, caso haja. São disponibilizadas informações sobre os resíduos a ser recolhidos, como o peso total e o volume, permitindo planejar melhor sua execução.

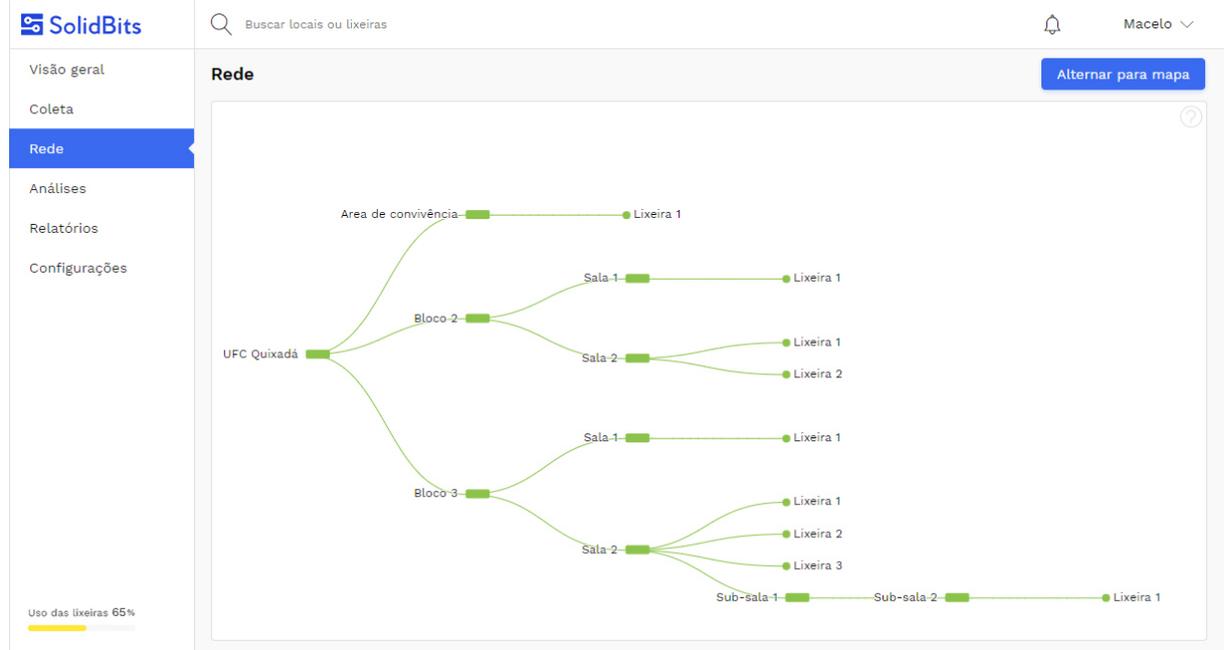
Figura 33 - Recorte da página "Coleta"



Fonte: o autor.

Na página "rede" é possível ver através de uma representação compacta como se encontra a malha de lixeiras conectadas, cuja hierarquia é formada a partir da estrutura definida nas configurações (Figura 34). A associação das lixeiras às áreas do espaço físico facilita a identificação do ponto em que elas se encontram. No topo da página, um botão permite alternar a visualização para um mapa.

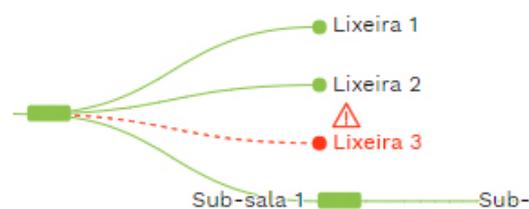
Figura 34 - Recorte da página "Rede"



Fonte: o autor.

Uma grande parte das informações exibidas é atualizada em tempo real, de modo que se ocorrer algum problema em uma parte da rede, ela se reflete na visualização logo em seguida, e uma notificação é enviada ao usuário. Se uma lixeira para de enviar dados ou se algum de seus sensores não funciona, ou ainda se a tampa não está encaixada direito, a visualização indica o erro dinamicamente, como mostra o recorte na Figura 35. Não há necessidade de recarregar a página para ter acesso a informações mais recentes.

Figura 35 - Indicação de falha na página "Rede"



Fonte: o autor.

A ideia é que cada ponto é um nó, que contém dados como peso depositado, volume coletado e capacidade em uso, dentre outros. Assim, é possível clicar em qualquer um dos nós e ter acesso a um conjunto de informações referentes a ele (Figura 36). Se o nó for um bloco, as informações agregam dados de todas as lixeiras que fazem parte dele. Essa abordagem traz algumas possibilidades, como comparar rapidamente informações de diferentes áreas ou diminuir o escopo até chegar a uma lixeira específica.

Figura 36 - Recorte da página "Nó"



Fonte: o autor.

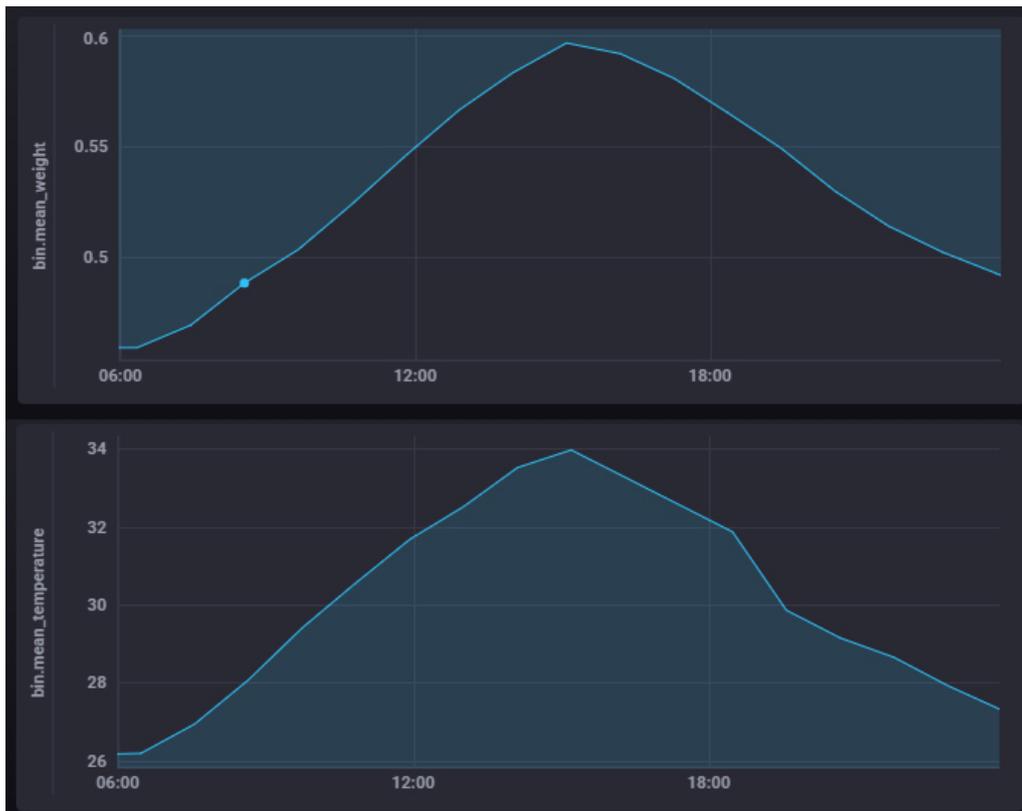
6.1 Problemas encontrados e pontos de melhoria observados

Durante a implementação e execução dos testes, foram notados alguns problemas. O primeiro deles foi em relação ao sensor de efeito *hall*, usado para detectar eventos de colocar e retirar a tampa da lixeira, que algumas vezes não detecta a passagem do ímã. Descobriu-se que isso acontecia em grande parte por conta de uma folga existente na tampa da lixeira, o que fazia com que em alguns momentos o ímã não passasse pelo sensor. Foi colocado um ímã mais comprido, com o qual se obteve um funcionamento mais adequado. De qualquer modo, outros tipos de sensores ou detectores podem apresentar resultados melhores.

Principalmente nos primeiros dias de teste, as leituras do peso passavam algumas vezes por quedas rápidas, e não retornavam à média de leituras anterior, chegando até mesmo a valores negativos. Não se descobriu a razão de tal comportamento. A solução é realizar novamente a calibragem da HX711 ou considerar o valor da leitura após a coleta como zero e compensar as leituras restantes, o que pode ser feito automaticamente.

Após acompanhar os dados coletados pelas células de carga durante alguns dias, percebeu-se que as leituras eram afetadas pelas variações na temperatura. O mais provável é que as células, que não são de alta qualidade, distorcem os valores quando o metal que as compõe se contrai ou se dilata com as variações térmicas. A Figura 37 mostra as alterações em um período de 24h, onde uma variação de 8°C (26°C a 34°C) levou a uma variação de cerca de 150g nas leituras do peso, mostrado no gráfico superior.

Figura 37 - Influência da temperatura nas células de carga



Fonte: *print screen* do Chronograf.

A ESP8266 funciona muito bem na maior parte do tempo, mas é altamente suscetível a flutuações no fornecimento elétrico. Algumas vezes, por exemplo, ela para de responder completamente, e precisa ser reiniciada para funcionar como deve. Não se chegou a encontrar uma solução para tal, pois o processo envolve a interrupção do fornecimento elétrico.

Não foram encontrados problemas diretos com os sensores colocados na tampa da lixeira. As conexões de papel alumínio funcionaram bem e os ganchos colocados abaixo delas foram o bastante para evitar que fossem obstruídas pelo saco de lixo. Por conta do formato irregular dos resíduos, as leituras apresentam valores com picos muito altos ou baixos em relação à média. Essas extrapolações poderiam ser corrigidas com o uso de técnicas estatísticas como regressão linear, por exemplo.

Muitas vezes, durante a troca do saco de lixo, o ar existente no interior da lixeira impede que ele se estenda totalmente, de modo que somente com o peso dos resíduos que vão sendo descartados, ele cede e se adequa ao formato da lixeira. Esse fator, aliado ao formato irregular dos resíduos, ocasiona algumas vezes leituras errôneas do nível de preenchimento, e ocorre principalmente após a troca do saco, quando ainda há pouco ou nenhum lixo (Figura 38).

Figura 38 - Leituras errôneas do nível de preenchimento



Fonte: *print screen* do Chronograf.

No que se refere ao *back-end* e à aplicação *web*, não foram encontradas grandes dificuldades na implementação ou problemas decorrentes de escolhas de arquitetura. O InfluxDB se mostrou uma ótima escolha, tanto pela integração com o Chronograf, que facilita bastante a construção de pesquisas, como pelo curto tempo de resposta mesmo quando são requisitados dados de períodos muito longos. Sem dúvidas, suas características e as funcionalidades facilitaram bastante o processo de implementação. A possibilidade de realizar *downsampling* com facilidade, por exemplo, não é oferecida na maioria dos bancos de dados, nem mesmo naqueles cujos focos são séries de tempo.

De modo geral, a integração do InfluxDB ao Node.js e deste à aplicação *web*, implementada em Angular 6, se deu sem muitos problemas. Como utilizou-se basicamente JavaScript tanto no *back-end* como no *front-end*, não houve necessidade de aprender novas linguagens de programação. O uso de métodos e estruturas semelhantes nas duas partes foi um fator que facilitou muito a implementação.

Durante a experimentação, perceberam-se algumas melhorias a serem feitas no processo de configuração inicial do sistema. A configuração da lixeira, por exemplo, envolve utilizar uma IDE para atualizar alguns valores e carregar o código para o Arduino. Esse processo poderia ser simplificado com a automatização da escrita e do carregamento do código, através de um software destinado a isso.

Para se experimentar o SolidBits em um cenário com muitas lixeiras distribuídas, seria necessário dar suporte ao cadastro da equipe responsável pela coleta e gerenciá-la automaticamente, organizando horários e rotas. Do mesmo modo, as funcionalidades de análise e relatórios também deveriam ser implementadas.

6.2 Especificações do sistema de design

A partir das diretrizes visuais, reuniram-se os elementos visuais em um documento de fácil acesso para desenvolvedores, sistematizando as especificações para futuros desenvolvimentos ou atualizações na interface (Quadro 5, Quadro 6 e Quadro 7).

Quadro 5 - Especificações de cor

Variável	Utilização	Valor	Amostra
\$color-primary	Links Hover em item interativo Marca Fundo do botão	#3556de	
\$color-primary-lighter	Hover em botão	#88a0ff	
\$color-primary-darker	Botão ativo	#183195	
\$color-status-1	Indicadores (valores <= 20%)	#8cc34b	
\$color-status-2	Indicadores (valores > 20% <= 50%)	#cddc39	
\$color-status-3	Indicadores (valores > 50% <= 70%)	#ffe93b	
\$color-status-4	Indicadores (valores > 70% <= 90%)	#fec107	
\$color-status-5	Indicadores (valores > 90%)	#fe9900	
\$color-warning	Indicadores de erro ou atenção Avisos Notificações	#fe3517	
\$color-gray-lighter	Fundo da aplicação	#f9f9f9	
\$color-gray-medium	Bordas	#e0e0e0	
\$color-black	Textos	#1e1e1e	

Fonte: o autor.

Quadro 6 - Especificações de *layout*

Variável	Utilização	Valor
\$spacing-xs	Micro ajustes de espaçamento <i>Padding</i> superior e inferior do seletor de período e opções	0.25rem
\$spacing-sm	<i>Padding</i> no menu do usuário <i>Padding</i> lateral do seletor de período e opções Margem inferior dos <i>cards</i>	0.5rem
\$spacing-md	<i>Padding</i> lateral itens do menu <i>Padding</i> nas laterais da página <i>Padding</i> interno dos <i>cards</i>	0.75rem
\$spacing-lg	<i>Padding</i> e margens das caixas de <i>login</i> e recuperação de senha	1rem
\$spacing-xl	<i>Padding</i> superior e inferior nos itens do menu	1.25rem
\$icon-font-default-size	Ícones	1.4rem
\$border-radius-default	Raio da borda dos <i>cards</i>	0.25rem
\$placeholder-font-size	Tamanho da fonte dos <i>placeholders</i>	0.75rem
\$text-default-font-size	Tamanho padrão da fonte do corpo de texto	1rem
\$text-card-title-font-size	Tamanho da fonte do título dos <i>cards</i>	0.85rem
\$top-menu-height	Largura do menu superior	3rem

Fonte: o autor.

Quadro 7 - Especificações de tipografia

Amostra	Valores
Header 1	font-size: 2.5rem; line-height: 1.2; font-family: 'Work Sans'; font-weight: bold;
Header 2	font-size: 2rem; line-height: 1.2; font-family: 'Work Sans'; font-weight: bold;
Header 3	font-size: 1.75rem; line-height: 1.2; font-family: 'Work Sans'; font-weight: bold;
Header 4	font-size: 1.5rem; line-height: 1.2; font-family: 'Work Sans'; font-weight: bold;
Header 5	font-size: 1.25rem; line-height: 1.2; font-family: 'Work Sans'; font-weight: bold;

Amostra	Valores
Header 6	font-size: 1rem; line-height: 1.2; font-family: 'Work Sans'; font-weight: bold;
Parágrafo	font-size: 0.88rem; font-family: 'Source Sans Pro';

Fonte: o autor.

7 CONCLUSÃO

O intuito desse trabalho foi, com base em uma revisão bibliográfica e na análise de propostas semelhantes, desenvolver protótipos de uma lixeira inteligente e de uma aplicação *web* capazes de se comunicarem e fornecerem informações que possam contribuir na melhoria da eficiência do processo de coleta de resíduos sólidos. Apesar de que nem todos os recursos desejados inicialmente pelo autor tenham sido implementados, como o uso de algoritmos de aprendizado de máquina para realizar projeções, cronogramas e roteiros, obteve-se um conjunto digital capaz de demonstrar as potencialidades da coleta de dados na melhoria da eficiência do processo de gerenciamento da coleta de resíduos sólidos.

Para tanto, a interface da aplicação foi planejada desde o princípio para entregar rapidamente as informações obtidas a partir do processamento dos dados coletados, de modo compreensível para quem utiliza o sistema. Isso envolveu uma série de decisões sobre o *layout*, *feedbacks*, estudos tipográficos e cromáticos, além da busca por uma navegação simples e que faça sentido para o usuário.

Na seleção das tecnologias, optou-se pelo uso de soluções que possuem foco específico, como um banco de dados exclusivo para métricas e séries de tempo, um protocolo de comunicação com a lixeira que é leve e usa poucos recursos, uma biblioteca de gráficos flexível e capaz de lidar com eventos em tempo real, dentre outros. Apesar de que esse que não tenha sido o foco principal, tais escolhas garantem mais performance que se traduzem, por exemplo, em curtos tempos de resposta mesmo quando são solicitados dados de períodos muito longos.

A proposta reflete o cenário atual onde a revolução digital se dá a largos passos, e assim como anunciam a Internet das coisas e a computação ubíqua, usa de poder de processamento e conexão distribuídos para coletar dados através de objetos. A partir do processamento desses dados, podem ser gerados procedimentos que melhoram a eficiência do serviço de coleta, indicadores de desempenho que ajudam a medir e melhorar sua qualidade e otimizar o uso de recursos, através de uma fonte transparente de informação.

Muitas informações novas poderiam ser obtidas através do uso de técnicas avançadas de processamento e análise de dados, como aprendizado de máquina. Algumas possibilidades percebidas são a projeção de valores em algum tempo no futuro, sugestões de disposição das lixeiras no espaço físico de maneira a reduzir uma possível subutilização ou o oposto, e, ainda, compensar as alterações nas leituras das células de peso causadas pelas variações de temperatura. Dados mais precisos poderiam ser obtidos com o estudo dos problemas encontrados nos sensores e da experimentação de componentes diferentes. Há muitas opções para medição de

temperatura, peso e distância, por exemplo, e é possível que sejam obtidos resultados melhores com o uso de outros sensores.

De modo a ter sua usabilidade e facilidade de uso melhoradas, a interface da aplicação pode passar por uma avaliação para detectar incongruências e problemas, através da realização de novos testes de usabilidade e de uma avaliação heurística.

O conjunto aqui obtido foi capaz de atender a muitas das premissas que surgiram na revisão bibliográfica, como a obtenção de dados em tempo real sobre os resíduos depositados e a geração de rotas dinâmicas para recolha. Ainda que se tratem de protótipos, indicam possibilidades reais de melhoria no processo de gerenciamento da coleta e abrem espaço para uma série de aprofundamentos. Certamente, poderão contribuir ainda mais para uma gerência dos resíduos sólidos que seja condizente com o cenário tecnológico atual e que atenda às exigências ambientais hoje requeridas.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 10004**: classificação de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2016**. São Paulo: ABRELPE, 2016. 64 p.

ANDREOLI, Cleverson V.; ANDREOLI, Fabiana de Nadai; TRINDADE, Tamara Vigolo; HOPPEN, Cinthya. Resíduos sólidos: origem, classificação e soluções para destinação final adequada. In: ANDREOLI, Cleverson V.; TORRES, Patrícia Lupion (org). **Complexidade: Redes e Conexões do Ser Sustentável**. 1.ed. Curitiba: SENAR, 2014. p. 531-552. 832 p.

BABY, Cyril Joe; SINGH, Harvir; SRIVASTAVA, Archit; DHAWAN, Ritwik; MAHALAKSHMI, P. Smart bin: An intelligent waste alert and prediction system using machine learning approach. In: **Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), 2017 International Conference on**. IEEE, 2017. p. 771-774.

BALAJI, D.; MEERA, S.; BANU, F. Arshya; PRIYA, M.; SHINY SHERLYN, C.; SATHYAPRIYA, K. Smart trash can using internet of things. In: **International Journal of Advanced Research Methodology in Engineering & Technology**, v. 1, p. 85-90, 2017.

BASHIR, Adil Shoaib Amin Banday; KHAN, Ab. Rouf Mohammad Shafi. Concept, design and implementation of automatic waste management system. In: **International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication**, v. 1, p. 604-609, 2013.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre os Crimes Ambientais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 fev. 1998. Seção 1, p. 1.

_____. Resolução CONAMA nº 275, de 25 de abril de 2001. Estabelece o código de cores a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva de lixo. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 19 jun. 2001.

_____. Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

COCCOLI, Mauro; GUERCIO, Angela; MARESCA, Paolo; STANGANELLI, Lidia. Smarter universities: A vision for the fast changing digital era. **Journal of Visual Languages & Computing**, v. 25, n. 6, 2014. p. 1003-1011.

CUNHA, Valeriana; CAIXETA FILHO, José Vicente. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. **Gestão & Produção**, vol. 9, n. 2, p. 143-161, 2002.

DEMAJOROVIC, Jacques. Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão

de resíduos sólidos as novas prioridades. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 3, p. 88-93, 1995.

EIGENHEER, Emílio M. **A história do lixo** – a limpeza urbana através dos tempos. (1^a. ed). Porto Alegre: Pallotti, 2009.

FACCIO, Maurizio; PERSONA, Alessandro; ZANIN, Giorgia. Waste collection multi objective model with real time traceability data. **Waste Management**, v. 15, p. 2391-2405, 2011.

FERNANDES, Chrystinne Oliveira; DE LUCENA, Carlos José Pereira. An Internet of Things Application with an Accessible Interface for Remote Monitoring Patients. In: **International Conference of Design, User Experience, and Usability**. Springer, Cham, p. 651-661, 2015.

GERLAND, Patrick; RAFTERY, Adrian E.; ŠEVČÍKOVÁ, Hana; LI, Nan; GU, Danan; SPOORENBERG, Thomas; ALKEMA, Leontine; FOSDICK, Bailey K.; CHUNN, Jennifer; LALIC, Nevena; BAY, Guiomar; BUETTNER, Thomas; HEILIG, Gerhard K.; WILMOTH, John. World population stabilization unlikely this century. **Science**, v. 346, n. 6206, 2014. p. 234-237.

GUBBI, Jayavardhana; BUYYA, Rajkumar; MARUSIC, Slaven; PALANISWAMI, Marimuthu. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future generation computer systems**, v. 29, n. 7, p. 1645-1660, 2013.

HARRISON, C.; ECKMAN, B.; HAMILTON, R.; HARTSWICK, P.; KALAGNANAM, J.; PARASZCZAK, J.; WILLIAMS, P. Foundations for smarter cities. **IBM Journal of Research and Development**, v. 54, n. 4, p. 1-16, 2010.

HASSENZAHN, Marc. **Experience design**: Technology for all the right reasons. Synthesis Lectures on Human-Centered Informatics, v. 3, n. 1, 2010. 96p.

HICKMAN, H. Lanier Jr. Principles of Integrated Solid Waste Management. **American Academy of Environmental Engineers**. 1999.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. IBGE: Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>>. Acesso em: 7 maio 2018.

IBM – International Business Machines. **Conhecendo o MQTT**. Disponível em: <<https://www.ibm.com/developerworks/br/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

JOHANSSON, Ola M. The effect of dynamic scheduling and routing in a solid waste management system. **Waste management**, v. 26, n. 8, p. 875-885, 2006.

KANTER, Rosabeth Moss; LITOW, Stanley S. Informed and Interconnected: A Manifesto for Smarter Cities. **Harvard Business School General Management Unit Working Paper**, 2009. 28 p.

KARADIMAS, Dimitris; PAPALAMBROU, Andreas; GIALELIS, John; KOUBIAS, Stavros. An integrated node for Smart-City applications based on active RFID tags; Use case on waste-bins. In: **Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 2016 IEEE 21st International Conference on**. IEEE, p. 1-7, 2016.

KRUMM, John. **Ubiquitous Computing Fundamentals**. 1.ed. New York: Taylor and Francis Group, LLC, 2010. 394p.

LÓPEZ, Gustavo; MARÍN, Gabriela; CALDERÓN, Marta. Human aspects of ubiquitous computing: a study addressing willingness to use it and privacy issues. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 8, n. 4, 2017. p. 497-511.

LOUIS, Leo. Working Principle of Arduino and using it as a Tool for Study and Research. **International Journal of Control Automation Communication and Systems (IJCACS)**, v. 1, p. 21-29, 2016.

MAMUN, Md. Abdulla Al, HANNAN, Mahammad A, ISLAM, Md. Shafiqul; HUSSAIN, Aini. Integrated Sensing and Communication Technologies for Automated Solid Waste Bin Monitoring System. In: **Research and Development (SCOREd), 2013 IEEE Student Conference on**. IEEE, p. 480-484, 2013.

MAMUN, Md. Abdulla Al; HANNAN, Mahammad A; HUSSAIN, Aini. Real time bin status monitoring for solid waste collection route optimization. **IEEE international conference on electronic information and communication**, 2014.

MAMUN, Md. Abdulla Al; HANNAN, Mahammad A; HUSSAIN, Aini; BASRI, Hassan. Integrated sensing system and algorithms for solid waste bin state management automation. **IEEE Sensors Journal**, v. 15, n. 1, p. 561-567, 2015.

MCLEOD, Fraser; ERDOGAN, Gunes; CHERRETT, Tom; BEKTAS, Tolga; DAVIES, Nigel; SPEED, Chris; DICKINSON, Janet; NORGATE, Sarah. Dynamic collection scheduling using remote asset monitoring: Case study in the UK charity sector. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 2378, p. 65-72, 2013.

MIT - Massachusetts Institute of Technology. **iCampus - The MIT-Microsoft Alliance**. 2018. Disponível em: <<http://icampus.mit.edu>>. Acesso em: 15 maio 2018.

MONTEIRO, José Henrique Penido; FIGUEIREDO, Carlos Eugênio Moutinho; MAGALHÃES, Antônio Fernando; MELO, Marco Antônio França de; BRITO, João Carlos Xavier de; ALMEIDA, Tarquínio Prisco Fernandes de; MANSUR, Gilson Leite. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 193 p.

MWARE, Eric M. **A Smart-bin prototype for in-house waste management**. 2017. 75 p. Tese (doutorado) – Faculty of Information Technology, Strathmore University, Nairobi, 2017. Disponível em: <<http://su-plus.strathmore.edu/handle/11071/5659>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

NAM, Taewoo; PARDO, Theresa A. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In: **Proceedings of the 12th annual international**

digital government research conference: digital government innovation in challenging times. ACM, p. 282-291, 2011.

NASCIMENTO NETO, Paulo; MOREIRA, Tomás Antonio. Política Nacional de Resíduos Sólidos – reflexões acerca do novo marco regulatório nacional. **Revista brasileira de ciências ambientais**, n. 15, p. 10-19, 2010. Disponível em: <http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/rbciamb/PDFs/15-04_RBCIAMB-N15-Mar-2010-Materia02_artigos225.pdf>. Acesso em: 27 out. 2018.

NG, Jason WP; AZARMI, Nader; LEIDA, Marcello; SAFFRE, Fabrice; AFZAL, Ali; YOO, Paul D. The Intelligent Campus (iCampus): End-to-end learning lifecycle of a knowledge ecosystem. In: **Intelligent Environments (IE), 2010 Sixth International Conference on.** IEEE, p. 332-337, 2010.

OWOC, Mieczysław; MARCINIAK, Katarzyna. Knowledge management as foundation of smart university. In: **Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2013 Federated Conference on.** IEEE, p. 1267-1272, 2013.

PANDA, Kirtan Gopal; AGRAWAL, Deepak; NSHIMIYIMANA, Arcade; HOSSAIN, Ashraf. Effects of environment on accuracy of ultrasonic sensor operates in millimetre range. **Perspectives in Science**, v. 8, p. 574-576, 2016.

PINHEIRO, Taís Saraiva de Melo. **Proposta de Gestão Integrada Corporativa dos Resíduos Sólidos.** 2010. 109 p. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2010.

PIRES, Ana; MARTINHO, Graça; CHANG, Ni-Bin. Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. **Journal of environmental management**, v. 92, n. 4, p. 1033-1050, 2011.

PORAMBAGE, Pawani; YLIANTTILA, Mika; SCHMITT, Corinna, KUMAR, Pardeep; GURTOV, Andrei; VASILAKOS, Athanasios V. The quest for privacy in the internet of things. **IEEE Cloud Computing**, v. 3, n. 2, p. 36-45, 2016.

POSLAD, Stefan. **Ubiquitous Computing: Smart Devices, Environments and Interactions.** 1.ed. Great Britain: John Wiley & Sons Ltd., 2009. 473p.

RASMUSSEN, Leif Bloch; BEARDON, Colin; MUNARI, Silvio (Ed.). **Computers and Networks in the Age of Globalization: IFIP TC9 Fifth World Conference on Human Choice and Computers August 25–28, 1998, Geneva, Switzerland.** Genebra: Springer, 2013. 386 p.

SHNEIDERMAN, Ben; PLAISANT, Catherine. **Designing the user interface:** strategies for effective human-computer interaction. 4th ed. Maryland: Pearson / Addison Wesley, 2005. 651 p.

TCHOBANOGLIOUS, George. **Solid wastes:** engineering principles and management issues. Tokyo: McGraw-Hill, 1977.

TORRES-SOSPEDRA, Joaquín; AVARIENTO, Joan; RAMBLA, David; MONTOLIU, Raúl; CASTELEYN, Sven; BENEDITO-BORDONAU, Mauri; GOULD, Michael; HUERTA, Joaquín. Enhancing integrated indoor/outdoor mobility in a smart campus. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 29, n. 11, p. 1955-1968, 2015.

VÄÄNÄNEN-VAINIO-MATTILA, Kaisa; OLSSON, Thomas; HÄKKILÄ, Jonna. Towards deeper understanding of user experience with ubiquitous computing systems: systematic literature review and design framework. In: **Human-Computer Interaction**. Springer, p. 384-401, 2015.

APÊNDICE A - ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

1. Quais os procedimentos gerenciais do lixo realizados no *campus* Quixadá atualmente?
2. É realizada alguma ação que promova o reaproveitamento dos resíduos sólidos gerados?
3. Quais os principais problemas encontrados em relação ao método de gerenciamento do lixo utilizado no *campus* Quixadá?
4. Atualmente, há alguma informação sobre os resíduos produzidos no *campus* Quixadá? Como é obtida? Com que frequência é atualizada?
5. Quais os tipos de resíduos mais produzidos?
6. Como é realizado o transporte para a destinação final dos resíduos? Com que frequência os resíduos são recolhidos? Há uma data fixa para a coleta? Como esse processo é intermediado?
7. Há alguma ideia sua que acredita que possa melhorar o gerenciamento do serviço, aqui?

APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CURSO DE DESIGN DIGITAL TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Convidamos você para participar da Pesquisa “Geração de resíduos sólidos na Universidade Federal do Ceará - *Campus Quixadá*”, sob a responsabilidade do pesquisador Francisco Macelo da Costa Cavalcante e de seu orientador Paulo Victor Barbosa de Sousa, a qual pretende compreender melhor o processo de gerenciamento dos resíduos sólidos dentro da instituição mencionada. A participação se dará por meio de uma entrevista. O pesquisador é estudante do sétimo semestre do curso de Design Digital da Universidade Federal do Ceará, e objetiva criar uma proposta de lixeira inteligente e um sistema web que contribuirão no processo de gerenciamento dos resíduos sólidos na universidade. Não há riscos em participar da pesquisa.

Se depois de consentir na participação você mudar de ideia e desistir de continuar participando, tem o direito e a liberdade de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, seja antes ou depois da coleta dos dados, independente do motivo e sem nenhum prejuízo a sua pessoa (porém, ultrapassada a fase da pesquisa e concluído o trabalho, não poderemos remover os dados). Você não terá nenhuma despesa e também não receberá nenhuma remuneração. Os resultados da pesquisa serão analisados e publicados. Para qualquer outra informação, você poderá entrar em contato com o pesquisador através do e-mail macelocosta@hotmail.com ou do telefone (85) 99186-9483.

Consentimento Pós-Informação

Eu, _____,
que exerço o cargo de _____, no(a) _____
_____, fui informado sobre o que o pesquisador quer
fazer e porque precisa da minha colaboração, e entendi a explicação. Por isso, eu concordo em
participar do projeto, sabendo que não vou ganhar nada e que posso sair quando quiser (desde
que antes da conclusão do trabalho), e estou ciente da necessidade do uso de minha imagem e/
ou depoimento como contribuição para a pesquisa executada.

Assinatura do participante: _____

Assinatura do Pesquisador responsável: _____

Quixadá, ____ de _____ de 2018.

APÊNDICE C - TRANSCRIÇÃO DA ENTREVISTA COM FUNCIONÁRIO DA PREFEITURA DA UFC QUIXADÁ

Entrevistador: a primeira pergunta é sobre o gerenciamento de lixo na universidade. Como é que funciona hoje?

Entrevistado: hoje nós não temos propriamente dito um gerenciamento, não exercemos uma atividade de gerenciamento do lixo. Nós temos procedimentos pontuais, é, coisas informais que a gente criou de acordo, né, com agentes externos, tipo: o caminhão do lixo, exemplo. O caminhão do lixo, ele passa em determinados dias da semana, que os meninos da limpeza devem ter lido passado essas datas, eu não tenho aqui em mente mas eu tenho anotado... e em cima dessa passagem desse caminhão a gente age com um procedimento informal. A gente faz o recolhimento das salas naquele horário inicial das seis horas. Os meninos fazem todo um *modus operandi*, eles iniciam pela sala dos professores, pelos gabinetes, salas de aula, até remover tudo para a casa de lixo e daí ser emitido o lixo pro carro que passa, né, da prefeitura, recolher.

Entrevistador: certo. Sobre o lixo gerado aqui, existe alguma ação que promova o reaproveitamento dele?

Entrevistado: não, pela quantidade de lixo, o lixo orgânico que é gerado aqui, é, na sua totalidade, é gerado pelo refeitório. O refeitório tem um procedimento ímpar, um procedimento deles, em que eles fazem todo o descarte desse lixo. Isso aí seria bom você conversar com a A.C., pra ver com a empresa qual é a destinação desse lixo orgânico, gerado, né, no refeitório.

Entrevistador: então, eles têm um modo próprio, mesmo, de...

Entrevistado: é, um modo próprio, que você conversa com ela, podem agendar até um encontro desse, bem rapidamente... Eles têm uma unidade de produção, sabe, que fica dentro de Quixadá, de onde saem todas as refeições, aqui nós temos um refeitório, né, nada é preparado aqui, a gente recebe tudo pronto, servido, para os alunos, para os usuários do *campus* Quixadá, e as sobras, os restos de comida são recolhidos ali bem na saída, você vê que tem uma lixeira, dali eles dão o descarte por meio de um carro, que leva, eu acredito, mas é bom você ter, é, tirar essa certeza com a A.C., que bota para o [incompreensível] de produção e de lá dá a destinação correta.

Entrevistador: existe alguma informação hoje sobre a quantidade de lixo que é gerada aqui, como o peso ou volume?

Entrevistado: é, em razão de a gente não ter esse gerenciamento, né, esse tratamento de acordo, é, de acordo com o que é feito o lixo, a gente não contabiliza essa questão de, esses números, a gente não chega a ter esses números. Seria bom, né, que a partir de um estudo a gente pudesse melhorar, fazer tipo um trabalho, né, mais racional do uso do lixo, do tratamento do lixo, né, e contabilizar e gerar esses dados, né, pra poder, sei lá, futuramente se necessário ser transformado em uma informação com uma tomada de decisão.

Entrevistador: sim. Eu pergunto porque uma das ideias que há por trás desse sistema é que esses dados sejam gerados e que você tenha acesso a eles...

Entrevistado: é muito bom, a gente pode amadurecer essa ideia, né, lógico que nós temos

alguns limitadores, né, mas a gente pode amadurecer essa ideia, conscientizando os alunos, pra respeitar a coleta, o descarte seletivo nas lixeiras, mesmo, que isso, acho que você percebeu, no levantamento que você fez *in locu*, da limpeza, que muitas dessas lixeiras, que são pra plástico, o pessoal não respeita, né, joga outro tipo de material, né, e assim com as outras lixeiras. Aí se a gente conseguir conscientizar a comunidade pra poder respeitar o descarte, por mais... Muita gente, é... Abrindo um parêntese, né, nessa minha fala. Muita gente fala o seguinte: não, que é que adianta a gente respeitar o descarte, eu já peguei isso e já foi me reportado de próprios alunos, né. Que é que adianta a gente descartar aqui, respeitar as lixeiras, se ali, na casa de lixo, é tudo, tudo fica junto, porque não existe uma coleta da prefeitura seletiva, né.

Entrevistador: sim.

Entrevistado: ali junta tudo.

Entrevistador: sim.

Entrevistado: então a gente pode pensar inicialmente em conscientizá-los, mesmo que não exista uma coleta seletiva em Quixadá, a gente pode fazer esse trabalho, né, respeitando a questão do descarte seletivo pra poder a gente ponderar essa questão do volume de lixo gerado, plástico...

Entrevistador: sim.

Entrevistado: porque um dos limitadores hoje, nós temos uma associação, bem quem vem aqui pro *campus*, logo após a entrada do DETRAN, né, que eles trabalham com reciclagem, né... Então a associação é uma cooperativa, e a gente já entrou em contato com eles e eles não vem buscar por conta da quantidade de plástico gerado. Tem que ter uma quantidade mínima pra poder compensar o deslocamento deles, porque pra eles não é, assim, não é vantajoso, né, não é vantajoso de alguma forma eles tá se deslocando, né, é... como é que eu posso dizer... é... gastando recursos pra poder pegar uma quantidade mínima de plástico, né. Mobilizando pessoal e gastando recurso, né.

Entrevistador: bom... tinha uma pergunta que era sobre a destinação final do lixo, mas agora já sei, que é um caminhão da prefeitura que passa e recolhe...

Entrevistado: isso...

Entrevistador: e aí todo o resto é por conta deles, né.

Entrevistado: é, eu acredito que tem que ser um trabalho coletivo, o trabalho coletivo que eu digo, integral, né, integralizado, né, de que forma? De que os agentes externos também colaborem, né, não adianta a gente fazer todo um trabalho aqui, né, a gente pode fazer, né, mas quando chegar a partir da cerca aí da casa de lixo, tudo ser desfeito. Sugestão: a gente pode, é, futuramente, é... provocar a prefeitura pra reuniões periódicas pra poder desenvolver um trabalho, né, dizer que nós temos essa intenção, né, de fazer um trabalho melhor, um gerenciamento dos resíduos daqui da universidade, né, e precisa da colaboração da prefeitura também no descarte final, né, pra ver se a coisa acontece, né.

Entrevistador: infelizmente há um problema muito grande com o lixo. Engraçado, porque Quixadá, vi uma notícia de 2003 falando que Quixadá tinha a melhor, é... o melhor tratamento de lixo, né, do estado inteiro, era aqui que existia. Tanto é que tinha aquela coisa da reciclagem

e tudo mais...

Entrevistado: onde?

Entrevistador: era no lixão mesmo, antes tinha, ele foi... na verdade, ele foi todo refeito e aí eles fizeram umas esteiras pra separar o lixo e tinha um monte de gente que trabalhava lá e tudo o mais e isso se perdeu.

Entrevistado: se desconstruiu, né.

Entrevistador: se desconstruiu, sim.

Entrevistado: falta de gestão, falta de interesse, de recurso, de investimento...

Entrevistador: é, isso aconteceu, isso aconteceu, em 2003.

Entrevistado: pois é, cara, era pra ter mantido... inclusive, tem uma lei, né, uma lei ambiental, que ela é recente, que ela torna obrigatório, né, até que é recurso que vem, vem recurso federal, posso tá enganado em parte, mas vi algo, né, eu li algo sobre isso, que tem recurso que vem do governo federal exatamente pra locação nesse tipo de, de atividade, né.

Entrevistador: na verdade, até 2016, esses lixões todos já deveriam ter sido fechados.

Entrevistado: então já tem até prazo, né?

Entrevistador: sim. [incompreensível]

Entrevistado: agora, um pensamento meu, que a prefeitura usa esse recurso até pra locatar em outras coisas. Eles recebem, né? Enfim.

Entrevistador: você já falou de algumas coisas nesse sentido, mas tem alguma ideia sua que pudesse melhorar esse processo de gerenciamento de lixo aqui?

Entrevistado: era isso. A gente depende muito, não adianta a gente fazer um trabalho isolado, lógico, tem que ter uma atitude, né, tem que ter uma iniciativa, né, iniciativa que seria o quê, a gente entrar em contato com algumas entidades da prefeitura pra poder de forma integrada pensar numa ação de melhor utilização do lixo, né, gerenciamento interno, com participação externa, enfim, discutir, discutir, gerar o plano de ações pra poder melhorar. Porque hoje, né, não tem nem um trabalho em torno disso.

Entrevistador: entendo e agradeço pela sugestão. era isso.

Entrevistado: é isso?

Entrevistador: isso mesmo.

Entrevistado: desculpe-me aí se não tiver ajudado de alguma forma, porque geralmente é uma coisa que a gente precisa melhorar, essa questão do gerenciamento... na verdade é implementar gerenciamento de lixo, né, e melhorar essa questão do tratamento, né, mas, existem algumas

limitações que antes que isso aconteça a gente precisa resolver, a questão de abrir uma discussão com agentes da prefeitura, né, pra poder vir ações conjuntas, né, integradas, e a gente desenvolver um trabalho dessa natureza. Se não for, não adianta a gente fazer nossa parte aqui, não fazer lá, vai se desfazer exatamente a partir dessa cerca, onde fica a casa de lixo. Toda a coleta [incompreensível] e o caminhão vai botar tudo junto, misturar, e tchau.

Entrevistador: esse argumento dos alunos de não separar porque depois é tudo misturado, infelizmente...

Entrevistado: é, mas independente disso, é um argumento, e é válido, mas a gente pode fazer nossa parte também, né... Ó, pessoal, né, vamos fazer, vamos respeitar, né, essa questão do descarte, [incompreensível] pra isso, independente disso, porque isso aí já vai tá sendo até visto pra gente... A questão do plástico, foi até a professora T. que me passou isso, né, que... esse pessoal não vinha aqui por conta da quantidade de plástico gerada, né. Não era o suficiente pra justificar o deslocamento deles, né, tinha que ser uma quantidade maior, parece que eles tem até... eles recolhem esse material plástico daquela usina de biodiesel, parece, mas aí não vem por conta... Mas, porque não fazer um trabalho conjunto, eles pegarem tanto daqui como do IFCE... Seria outra coisa, já tem peso dois, né... a gente poderia juntar aqui, separar, o IFCE também, quando ele viessem, pra justificar não é só a questão do deslocamento? Eles pegavam os dois. Né? Gerar uma destinação. Já é alguma coisa, já, né?

Entrevistador: sim.

Entrevistado: a gente pode amadurecer essa ideia, criar uma agenda... na agenda da prefeitura, né, contatos e reuniões pra poder desenvolver esse trabalho, sabe? Mas eu preciso também de, de... agentes voluntários que possam me ajudar. Eu sou muito limitado, a prefeitura, né, onde eu trabalho com dois servidores na prefeitura, um engenheiro, que tem uma série de atividades, de atribuições aqui, tá altamente, assim, tá bem, bem, sobrecarregado... Uma assistente de administração, que chegou recentemente, mas logo, logo vai estar bem... bem sobrecarregado porque existe uma série de atividades que vão ser pertinentes à função dela. Então, aí eu tô, a prefeitura se resume a três servidores que, e muitas atividades, né. Aí seria uma atividade a mais, aí o *campus*, se tivesse a participação, sei lá, de bolsistas de alguma coisa pra poder nos ajudar de alguma forma, né... Você pode até passar essa ideia pra algum professor... Aí sim, a gente pode amadurecer, e vai estar partindo do zero. A gente fazia toda uma agenda, um plano de ações, inicialmente entrar em contato, pegar, é, as pessoas certas na prefeitura, que possam fazer reuniões com a gente, traça uma agenda, pra dali sair ações, né? Ser discutido assunto e sair ações. Parte tudo daí, né, momento de discussão, planejamento, depois ação.

Entrevistador: irei discutir isso com meu orientador.

Entrevistado: aí as ideias surgem, tá vendo? O pessoal do IFCE, né? Porque é só conhecendo os problemas que a gente pode pensar em soluções, né?

Entrevistador: exatamente, a partir disso.

Entrevistado: fique à vontade, o que precisar... nós temos interesse em desenvolver esse trabalho, sabe? Outra coisa que os meninos estão fazendo, também é uma coisa que a gente tem que desenvolver, é a questão dos animais, sabe, daqui... Questão dos animais, é... ver o que a gente pode fazer pra controlar a população, como vai fazer um controle, né, tipo... pessoal já tá se

reunindo aí, né, se mobilizando, pra poder, até tão fazendo umas campanhas aí, de venda, rifa, venda de camisa, pra conseguir recurso, pra arrecadar recurso pra poder fazer a operação de histerectomia da Pretinha, né? Aí a K. tá bem, bem envolvida, bem engajada nisso... Mas tudo começa assim, né? Aí... consegue a histerectomia, já é uma cadela que a cada três meses tem dez cachorros, já... aí vai pra outra, né, vem outras coisas, aí vamos na secretaria de saúde, já marca, vamos na secretaria de saúde pra ver se consegue a vacinação dos animais, né?

Entrevistador: me parece um bom momento pra começar isso, porque o número de animais não é tão grande, ainda...

Entrevistado: é, mas se ninguém não fizer nada [incompreensível]. Uma das coisas também, que tenho muito interesse, em fazer.

Entrevistador: entendo. Aqui nós encerramos, eu agradeço pela sua contribuição.

APÊNDICE D - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO CIRCUITO DA LIXEIRA

