

Plataforma Inteligente de Coleta de Resíduos Baseada em Internet das Coisas e LPWAN

Lahis G. de Almeida¹, Juliana F. Borin¹

¹Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
Campinas – SP – Brasil

l228213@dac.unicamp.br, juliana@ic.unicamp.br

Resumo. *A gestão de resíduos impacta de forma significativa o meio ambiente e a qualidade de vida dos cidadãos. No modelo tradicional de gestão, os caminhões de coleta seguem rotas previamente planejadas, sem garantir que os containers de destino estejam cheios. A presente pesquisa propõe o desenvolvimento de plataforma inteligente de coleta de resíduos, baseada em IoT e LPWAN, possibilitando rotas otimizadas e economia de recursos (e.g., combustível, mão de obra). Esta plataforma otimiza e estende, com a disponibilização de indicadores de sustentabilidade, o projeto da Coleta Diferenciada do Smart Campus Unicamp. Espera-se que, quando a arquitetura for validada, novos tipos de resíduos possam ser coletados por meio da infraestrutura desenvolvida.*

1. Introdução

Smart Cities (Cidades Inteligentes) podem ser definidas como sistemas nos quais seus cidadãos, por meio de tecnologias de informação e comunicação (ICT), interajam e utilizem seus ativos, estimulando o desenvolvimento econômico e melhora na qualidade de vida [Shyam et al. 2017]. Os ativos de uma cidade inteligente constituem, de forma geral, seus sistemas de informação e comunicação, bibliotecas, escolas, hospitais e sistemas de transporte. Cidades que seguem o modelo *desmart cities* utilizam, estrategicamente, sua infraestrutura e serviços no planejamento da gestão urbana, suprindo suas necessidades socioeconômicas [Pardini et al. 2019].

Nas discussões internacionais sobre sustentabilidade, o conceito de *Smart Cities* (SC) acompanha as pautas de desenvolvimento sustentável e econômico [Pardini et al. 2019]. Entre a diversas aplicações existentes para SC, a gestão inteligente de resíduos possui impacto significativo no meio ambiente e qualidade de vida dos cidadãos. O descarte inadequado desses resíduos está diretamente relacionado com a proliferação de insetos e mosquitos, aumentando a ocorrência de doenças e prejuízos ao meio ambiente. Com o crescimento acelerado da população urbana, a geração de resíduos vem se tornando um questão crítica para países com crescimento populacional elevado.

A geração de resíduos urbanos deve aumentar 2.2 bilhões até 2025 indicando que os resíduos sólidos urbanos (RSU), principal subproduto das cidades, estão crescendo de forma mais acentuada que a taxa de urbanização (população urbana no mundo deve chegar a 66% até 2050). Este aumento na geração de resíduos, regulações mais rígidas para o fim do descarte ilegal, iniciativas pública destinadas a criar ambientes sustentáveis e seguros e à redução das emissões de gases de efeito estufa provocados pelos mesmos, estimulam o crescimento de aplicações que melhorem a gestão de resíduos. Outros fatores

que impulsionam este tipo de aplicação são as técnicas avançadas de coleta e a utilização de tecnologias baseadas em IoT e *Big Data*.

De forma geral, a gestão de resíduos nas cidades compreende o sistema de coleta de resíduos, incluindo o transporte, descarte e reciclagem dos mesmos. Os métodos de gerenciamento de resíduos diferem entre ambientes urbano, rural e industrial. Em áreas metropolitanas e rurais a responsabilidade de gestão fica ao encargo dos grupos municipais e/ou estaduais, enquanto as industriais de responsabilidade das respectivas empresas.

No modelo tradicional de gestão, as rotas de coleta são estáticas, ou seja, os caminhões de coleta seguem rotas previamente planejadas, desconsiderando o fato dos containers de lixo se encontrarem realmente cheios ou não. Entretanto, em determinadas regiões, viagens de um local a outro podem requerer um deslocamento considerável e saber previamente se os containers do local de destino estão cheios pode significar economia expressiva de tempo e combustível. Dessa forma, a gestão eficiente das rotas e do número de caminhões de coleta é essencial para a economia de combustível, mão de obra e manutenção dos veículos.

Em relação ao consumo de combustível, a cidade de São Petersburgo, Rússia, evidencia a importância de gestão eficiente de resíduos. Esta cidade possui uma população de 5 milhões de habitantes, área total de 1.439km² e densidade de 3.391 cidadãos/km². Em média, seus resíduos sólidos produzidos são de 1,7 milhão toneladas/ano. A quantidade diária de resíduos sólidos urbanos gerados é de 0,93 kg/cidadão. Diariamente, o município de utiliza 476 caminhões de coleta de lixo com capacidade de 5 toneladas por caminhão. O combustível consumido em um ano é, em média, 1,8 milhão de litros. Os custos médios gastos com combustível em um ano para coleta de lixo são de mais de 1 milhão de dólares.

Outra fator a ser otimizado, é o congestionamento de tráfego gerado pela frota de caminhões de coleta em zonas urbanas. Estradas estreitas e o deslocamento em vias urbanas em horários de pico, geram transtornos as atividades dos cidadãos. Administrar de forma inteligente o nível de resíduos dispostos nos containers em todas as localidades de um cidade, evitaria esse tipo de cenário.

Para tornar as cidades mais ecológicas, seguras e eficientes, a Internet das coisas (IoT) pode desempenhar papel importante, possibilitando a melhoria na segurança e na qualidade de vida por meio de dispositivos conectados com veículos e infraestruturas de cidades. As melhores soluções tecnológicas podem ser alcançadas em cidades inteligentes, fazendo com que diferentes componentes trabalhem em conjunto. Cada vez mais cidades estão implementando novos sistemas baseados em IoT para otimizar aplicações já existentes e criar novos serviços, contemplando áreas como segurança, gestão do consumo de energia de residências, iluminação pública, gestão da água, gestão de resíduos, serviços de saúde, entre outras.

Diferente do cenário de gestão tradicional, a Gestão Inteligente de Resíduos (*Smart Waste Management* - SWM) abrange o monitoramento de recipientes (lixeiros) e planejamento da rota de coleta dos mesmos. Por meio de tecnologias de Internet das Coisas, esses sistemas inteligentes, proveem a interação entre os diferentes componentes dessa gestão, desde as lixeiras, sensores, caminhões de coleta e infraestrutura em nuvem até o destino final (fábricas de reciclagem e lixões). As lixeiras desse tipo de sistema,

conhecidas como lixeiras inteligentes (*Smart Garbage Container* - SGB), comumente contém sensores que informam o estado do recipiente (e.g., cheio, vazio, temperatura) e, até mesmo, possuem atuadores que garantem a segurança, travando e destravando-as quando necessário.

A gestão de resíduos baseada nas cidades inteligentes pode ser segmentada em 3 etapas: (i) planejamento e implementação da coleta de resíduos, que compreende soluções dinâmicas para rotas a serem feitas pelos veículos da frota de coleta e melhor distribuição dos veículos para as rotas de destino; (ii) transporte dos resíduos para regiões específicas (planejamento de rotas de acordo com os tipos de resíduos); e (iii) processo de reciclagem e preparação para reuso dos produtos. Este estudo focará na primeira etapa da gestão de resíduos, propondo soluções para o planejamento e implementação otimizados da gestão de coleta.

Na gestão de coleta inteligente, em uma infraestrutura IoT, os modelos estáticos de planejamento de rota são transformados em serviços. A Coleta de Resíduos como um Serviço (*Waste Collection as a Service* - WCaaS) permite o agendamento dinâmico e o roteamento dos veículos da frota de coleta. A coleta dinâmica de resíduos consiste em um processo de decisão online que determina o agendamento da coleta, ou seja, quando a coleta de resíduos do recipiente (e.g., lixeira, container) deve ser feita; e o roteamento, ou seja, quais rotas os caminhões de coleta seguirão. Essa gestão dinâmica possibilita que o sistema mude, em tempo real, os planos de agendamento durante as atividades de coleta, resultando em novas direções fornecidas aos veículos, que devem possuir, por sua vez, infraestrutura para a recepção e visualização dos novos agendamentos e rotas de acesso.

Neste contexto de cidades inteligentes, a Prefeitura Universitária da Unicamp desenvolveu a iniciativa *Smart Campus* Unicamp, com o objetivo de tornar a Cidade Universitária da Unicamp inteligente. A iniciativa explora o conceito de IoT na gestão mais eficiente do campus por meio da coleta de informações provindas de objetos inteligentes. Diversos projetos em prol da comunidade universitária estão sendo implementados em áreas como segurança, transporte e meio ambiente. O projeto da Coleta Diferenciada é um deles.

O projeto da Coleta Diferenciada tem como objetivo o planejamento de rotas otimizadas para a coleta dos resíduos do tipo pilhas e baterias na universidade. Para isto, uma infraestrutura IoT foi desenvolvida, na qual um sistema de sensoriamento remoto coleta informações de coletores (lixeiras), enviando-as a um sistema web que possibilita a visualização da rota de coleta otimizada. Entretanto, em sua fase atual, o projeto apresenta desafios como eficiência energética, sensoriamento e tecnologias de comunicação.

Desta forma o objetivo desta pesquisa é desenvolver uma plataforma inteligente de coleta de resíduos baseada em Internet das Coisas e LPWAN, melhorando os protótipos já desenvolvidos pelo *Smart Campus* Unicamp e acrescentando novas funcionalidades ao mesmo para melhor gerência e transparência dos dados referentes a coleta de resíduos da Unicamp, fornecendo indicadores importantes que contribuirão para tornar a universidade mais sustentável.

O restante do trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados com a gestão de resíduos e cases de lixeiras inteligentes, a Seção 3 descreve o projeto de coleta de pilhas e baterias do *Smart Campus* Unicamp, a Seção

4 descreve a abordagem proposta e, por fim, a Seção 5 apresenta o planejamento das atividades de desenvolvimento da pesquisa.

2. Trabalhos Relacionados

Diversos artigos abrangem diferentes aspectos da tecnologia de IoT aplicada em soluções de gestão da coleta de resíduos [Pardini et al. 2019]. Na pesquisa de Cerchecci et al. [2018], por exemplo, é proposta uma arquitetura IoT para otimizar o gerenciamento de resíduos no contexto de *Smart Cities*. A solução consiste de um sistema encarregado de medir a capacidade da lixeiras e transmitir, em tempo real, os dados coletados para um centro remoto de coleta de dados. A arquitetura é baseada em *gateway Lora* e o nó sensor, que utiliza componentes de baixo custo e consumo de energia, é composto por microcontrolador, sensor ultrassônico e um módulo Lora para transmissão. Os resultados dos experimentos em laboratório mostraram a viabilidade efetiva da arquitetura proposta. Em um único *gateway Lora* a faixa de transmissão de alcance ficou em torno de 1,1-3 km em áreas urbanas. Com relação à otimização de energia, o nó IoT será capaz de operar por um período de 502 dias, sendo este período confirmado quando o sistema for testado em campo.

O trabalho desenvolvido por Bakhshi and Ahmed [2018] propõe uma solução, baseada em IoT e análise de dados, para que a coleta de resíduos seja feita de forma eficiente. Em seu trabalho Bakhshi and Ahmed, utilizam a placa *Raspberry Pi* e sensores ultrassônicos acoplados em recipientes de lixo. A comunicação entre as lixeiras inteligentes e *back-end* é feita por meio da tecnologia IoT *WIFI*. O status em tempo real da lixeira e técnicas de análise dados são utilizados para determinar o planejamento de coleta de resíduos e as rotas de coleta dinâmica são mapeadas para guiar os veículos de coleta até seus destinos. Durante uma semana de validação, foi observado que o projeto proposto aumenta a eficiência de combustível em até 46% e reduz o tempo de coleta em até 18%. Dessa forma, o esquema proposto poderá ajudar a otimizar políticas de resíduos a longo prazo em ambientes de cidades inteligentes.

Lozano et al. [2018] introduz uma plataforma de gerenciamento de resíduos para a região rural de Salamanca, baseada em rotas dinâmicas e na tecnologia IoT LPWAN *Lora*. Um protótipo de um nó sem fio *low power* foi desenvolvido para obter medidas do peso, volume e temperatura dos containers de resíduos, permitindo que os dados de preenchimento progressivo de cada um deles fossem recolhidos e analisados. A plataforma possui um módulo que gera rotas dinâmicas a partir dos dados obtidos por meio dos nós (containers). Além de um aplicativo móvel para a frota de coleta, que guia cada condutor por meio da melhor rota calculada para cada viagem. Os testes feitos com o protótipo de nó desenvolvido mostrou boa vida útil de operação (≈ 1 ano). Os resultados de simulações mostraram grande cobertura alcançada com implantações mínimas de antenas na região (9 *gateways Lora*) e o sistema de otimização de rotas, garantiu economia de 28% nas distâncias percorridas, proporcionando economias no custo, tempo e força de trabalho em comparação com a abordagem antiga de rota de coleta estática.

Shyam et al. [2017] apresenta uma solução de gerenciamento de coleta de resíduos baseada no fornecimento de inteligência para lixeiras, por meio de protótipo IoT com sensor ultrassônico. As lixeiras inteligentes tem a capacidade de coletar e transmitir grande volume de dados por meio de Wifi. Quando enviados e processados por algoritmos otimi-

zados, os dados podem ser utilizados para gerenciar dinamicamente a logística da coleta de resíduos, possibilitando que os trabalhadores recebam rotas otimizadas atualizadas em seus dispositivos de navegação. Por meio de simulações, foram investigados os benefícios de tal solução em relação ao sistema tradicional. Foram utilizados dados reais das ruas da cidade de Pune, Índia. Um total de 5000 lixeiras são consideradas em 10 locais da cidade. Os parâmetros de desempenho utilizados nas simulações foram comprimento da rota, tempo para cobrir a rota e custo para coletar e descartar resíduos; e como resultados, para os três parâmetros, a solução proposta mostrou melhor desempenho na abordagem tradicional de coleta, mostrando que oportunidades criadas por este tipo de iniciativas podem contribuir para o desenvolvimento de soluções de gestão de resíduos inteligentes.

Medvedev et al. [2015] propõe o sistema de coleta de resíduos baseado em serviços de IoT. O sistema incorpora um modelo para compartilhamento de dados entre condutores em tempo real a fim de realizar a coleta de resíduos por meio de rotas dinâmicas; além de possuir um sistema de vigilância a bordo dos veículos de coleta para capturar imagens de áreas problemáticas, fornecendo evidências às autoridades. O foco do trabalho é minimizar o custo total da rota, avaliando os algoritmos de roteamento por meio de dados reais e sintéticos da cidade de São Petersburgo para validação. Nas simulações, seis caminhões para a coleta de resíduos e vinte e quatro containers foram utilizados. O tempo e custo utilizados pelo sistema inteligente é significativamente menor em comparação com a abordagem tradicional de coleta.

Neste contexto de soluções inteligentes para a coleta de resíduos, o presente trabalho propõe desenvolver uma plataforma inteligente de coleta baseada em IoT e LPWAN, aperfeiçoando os protótipos desenvolvidos pelo projeto *Smart Campus* Unicamp. Diferentemente dos trabalhos apresentados nesta seção, ao sistema de coleta serão acrescentadas novas funcionalidades referentes a sustentabilidade. O sistema fornecerá indicadores de sustentabilidade importantes que contribuirão para a adoção de hábitos mais sustentáveis por parte da comunidade da universidade.

3. Coleta Inteligente no *Smart Campus* Unicamp

Nesta seção, o projeto de Coleta Diferenciado é apresentado. As motivações que o levaram a ser criado, componentes de sua arquitetura IoT e desafios atuais enfrentados serão descritos detalhadamente.

3.1. Projeto Coleta Diferenciada

As pilhas e baterias são resíduos expressivamente consumidos em zonas urbanas [ref]. De acordo com o Relatório de Pesquisa Industrial Mensal do IBGE (Abril/2018), a produção de resíduos deste tipo teve crescimento de 18.4%. Esses produtos podem conter em sua composição metais pesados (e.g., mercúrio, cádmio e chumbo), extremamente prejudiciais ao meio ambiente. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) definiu, os limites máximos destes metais na fabricação de pilhas e baterias comercializadas no Brasil (resolução 401/20083), além de estipular normas para o gerenciamento ambientalmente adequado destes produtos. A Instrução Normativa Ibama nº 8 (Setembro/2012), por sua vez, estabelece para fabricantes nacionais e importadores normas sobre o controle do recebimento/destinação dos componentes elétricos e de produtos que os utilizem [Hatta and Borin 2018].

Tendo em vista estas regulamentações, a Unicamp possui coletores diferenciados para as pilhas e baterias (Figura 1) espalhados pelo campus de Barão Geraldo, para que, quando a coleta for feita nos mesmos, os resíduos sejam adequadamente levados aos centros de reciclagem [Hatta and Borin 2018]. Entretanto, atualmente, a cada coleta, os motoristas dos caminhões trafegam pelo campus inteiro, seguindo uma rota estática que demanda tempo, combustível e mão de obra que poderiam ser economizados ou utilizados em outras atividades da universidade, já que muitos recipientes podem se encontrar vazios ou com nível de preenchimento baixo, tornando a coleta dessas lixeiras desnecessária.



Figura 1. Coletor de pilhas e baterias.

Como alternativa para reverter este cenário, o projeto de Coleta Diferenciada do *Smart Campus* foi criado pela Prefeitura Universitária da Unicamp juntamente com docentes e discentes da instituição. O projeto tem como objetivo a coleta eficiente dos resíduos do tipo pilhas e baterias na universidade. Para isto, um sistema de sensoria-mento foi desenvolvido e as informações coletadas pelos mesmos são processadas, possibilitando agendamentos dinâmicos e rota de coletas otimizadas. As subseções seguintes apresentam a arquitetura do projeto Coleta Diferenciada (e.g., *hardware*, protocolos de comunicação, *back-end*) e desafios enfrentados.

3.2. Arquitetura do Projeto da Coleta Diferenciada

Para definição dos componentes da arquitetura do projeto da Coleta Diferenciada, foram levantados fatores como preço, disponibilidade no mercado, eficiência energética, portabilidade, facilidade de instalação e acessibilidade de informações. A arquitetura do projeto apresentada na Figura 2.

De forma geral, as lixeiras inteligentes (I), por meio de sensores, medem seu respectivo nível de enchimento, em intervalos previamente definidos, e enviam os dados coletados, via *wifi*, para uma plataforma de IoT na nuvem (plataforma *Konker*¹)(II), utilizando o protocolo de comunicação MQTT. Em seguida, cada vez que o sistema *web* (III) for acessado, é requisitado dos respectivos coletores seus dados de identificação contidos na nuvem. Esta solicitação é feita via protocolo HTTP (solicitação GET). Dessa forma, os usuários do sistema, ou seja, funcionários responsáveis pela coleta de pilhas e baterias, podem consultar o nível de enchimento das lixeiras (%), definir pontos de partida e chegada do caminhão de coleta e, com essas informações, gerar a rota otimizada para que

¹www.konkerlabs.com

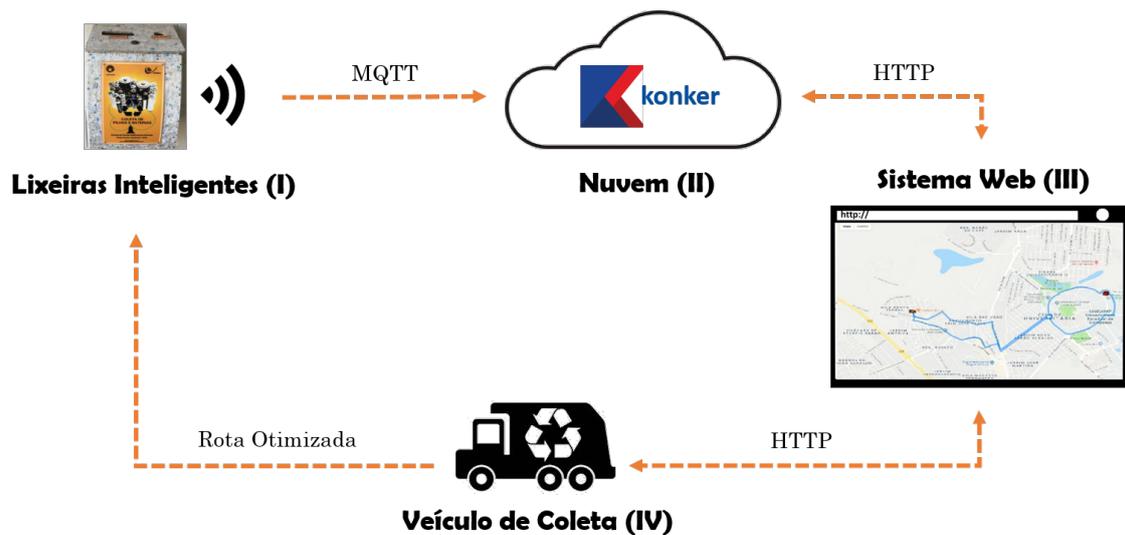


Figura 2. Arquitetura da Coleta Diferenciada.

os veículos realizem a coleta desses resíduos (IV), economizando tempo, mão de obra e combustível comumente gastos no processo de coleta de resíduos.

3.2.1. Lixeira inteligente

O *hardware* escolhido para o protótipo da lixeira inteligente consistiu de um sensor ultrassônico (HC-SR04), para a medida da capacidade da lixeira, a placa microcontrolada NodeMCU, que possui antena *wifi*, permitindo o envio dos dados coletados para a nuvem; e, por fim, para alimentar o circuito (sensor e placa) um *power bank* de 5V foi adotado.

Do ponto de vista do consumo energético do *hardware* do protótipo, para economia de energia, a placa NodeMCU foi utilizada em modo *deep sleep* (corrente em torno de micro *ampères*). Neste modo, o rádio *WiFi*, CPU e CLOCK da placa permanecem desligados e somente o componente RTC (*Real Clock Time*) permanece ativo. A placa foi programada para acordar a cada 60 minutos, medir a capacidade da lixeira e enviar o valor médio das leituras para a plataforma de nuvem.

3.2.2. Comunicação e Armazenamento em Nuvem

A plataforma de armazenamento em nuvem escolhida para protótipo foi a *Konker*, pois é parceira da Prefeitura Universitária em outros projetos do *Smart Campus*. Esta plataforma suporta os protocolos de comunicação HTTP e MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). Para a troca de mensagens entre lixeira e nuvem, o protocolo MQTT foi escolhido. A placa NodeMCU do protótipo se conecta através de autenticação à nuvem e seus dados são enviados à nuvem em formato *Json*, incluindo um identificador do coletor e distância lida pelo sensor (valor médio entre leituras). Neste processo apenas a lixeira envia dados para a nuvem, o contrário não ocorre. Na troca de informações entre a plataforma *Konker* e o sistema web, por sua vez, cada acesso ao sistema requisita dados das lixeiras, via HTTP (requisição GET), da plataforma da *Konker*, possibilitando a consulta

da porcentagem do nível de enchimento da lixeira, definição de pontos de partida/chegada do veículo de coleta pelos funcionários responsáveis, resultando na rota otimizada.

3.2.3. Sistema Web

Com os dados em rede, torna-se necessário manuseá-los para determinar a melhor rota de coleta. Dessa forma, foi desenvolvido um sistema *web* com uso de HTML, CSS, *Javascript* e o *framework Django*, baseado em *Python*. Para mostrar os coletores e definir as melhores rotas, foi utilizada a API do *Google Maps*. Para persistência dos dados, foi utilizado o banco de dados *SQLite*, no qual somente pessoas autorizadas tem acesso e seus campos devem ser preenchidos com informações básicas dos coletores (e.g., coordenadas de localização e dimensões). Dessa forma, o sistema *web* possibilita a consulta da porcentagem do nível de enchimento da lixeira e definição de pontos de partida/chegada do veículo de coleta pelos funcionários responsáveis, resultando, assim, em rotas otimizadas, conforme a Figura 3.

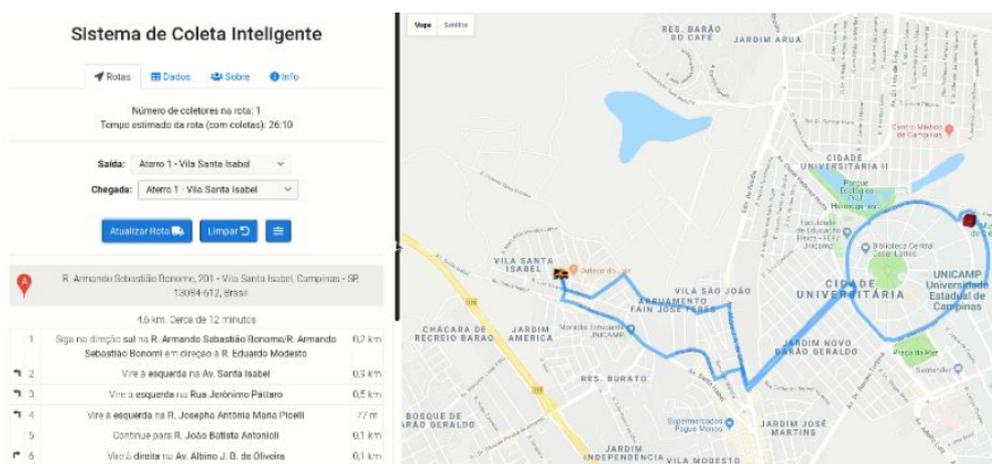


Figura 3. Sistema Web.

3.3. Desafios do Projeto da Coleta Diferenciada

A arquitetura da Coleta Diferenciada foi validada por meio de um protótipo da lixeira inteligente, instalado na Prefeitura Universitária, apresentando bom funcionamento. Os pacotes trocados entre lixeira e nuvem fluem de forma eficiente. O sistema de roteamento, por sua vez, recebe os dados da nuvem e as rotas são exibidas de maneira simples e intuitiva para os funcionários responsáveis. Entretanto, foram encontrados problemas e desafios referentes, à medição do sensor, eficiência energética e a comunicação entre lixeira e nuvem.

No monitoramento feito pela Prefeitura Universitária, foi notado que o sensor ultrassônico apresenta problemas em realizar as leituras da capacidade de enchimento dos coletores. Foram feitos 3 testes com o sensor: sensor posicionado no canto superior da tampa da lixeira e areia no fundo da mesma (A), sensor posicionado no centro da tampa da lixeira e areia no fundo (B) e sensor posicionado no centro da tampa da lixeira, areia no fundo e pilhas na superfície (acima da areia) (C). O gráfico da Figura 4 apresenta as

leituras feitas pelo sensor ultrassônico, no período de uma semana, em cada um desses testes.

Nos três testes, é possível perceber que o sensor apresentou medidas diferentes das esperadas. No teste A, as medidas ficaram em torno de 24-26 cm aproximadamente e o esperado era de 17-19 cm; no teste B, as medidas ficaram em torno de 29-32 cm aproximadamente e o esperado era de 17-19 cm; e, por fim, no teste C, as medidas ficaram em torno de 20-40 cm aproximadamente e o esperado era de 15-17 cm. Desta forma, o sensor ultrassônico da lixeira inteligente apresentou problemas para medir com precisão o nível de enchimento de pilhas e baterias, devido a fatores como posicionamento do mesmo e de seu próprio funcionamento, baseado em propagação/recepção de onda, que podem estar colidindo nas paredes da caixa ao invés de se concentrar em seu fundo.

Em relação à eficiência energética, mesmo com a placa NodeMCU em modo *deep sleep*, a corrente média consumida é de cerca de 18mA. Dessa forma, o *power bank* utilizado para alimentar o protótipo tem de ser carregado a cada 10 dias, demandando mão de obra extra para essa troca. Já no envio dos dados para à nuvem, a tecnologia *wifi* não é a ideal pois os pacotes trocados são pequenos, não necessitando da quantidade elevada de banda proporcionada por essa tecnologia. Além disso, as conexões *WiFi* possuem limites de alcance, o que requer que vários pontos da universidade possuam sinal de internet que permitam que a comunicação funcione adequadamente.

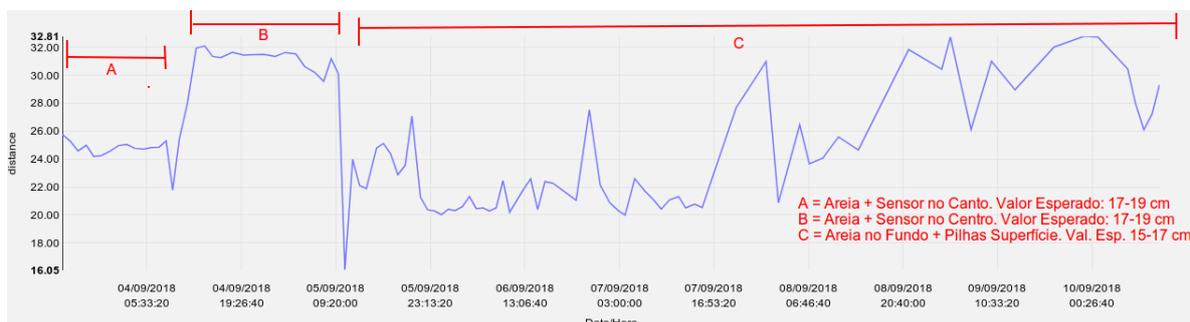


Figura 4. Problema nas medições

4. Abordagem Proposta

A abordagem proposta pela presente pesquisa é o desenvolvimento de plataforma inteligente de coleta de resíduos, baseada em IoT e LPWAN, que estende o projeto da Coleta Diferenciada, propondo e testando soluções para os desafios atuais (sensoriamento, consumo e comunicação *wifi*) enfrentados pelo *Smart Campus*, acrescentando novas funcionalidades e componentes na infraestrutura da arquitetura. O caso de estudo escolhido foi o de coleta dos resíduos pilhas e baterias. Quando a arquitetura for validada, novos tipos de resíduos poderão ser coletados utilizando a infraestrutura da plataforma, com adequações de *hardware* (e.g., tipo de sensor) e no conteúdo do pacote de dados, que depende do tipo de resíduo (e.g., sólido, líquido).

No *hardware* da lixeira, serão testados novos sensores medidores de nível, que forneçam leituras precisas para as pilhas e baterias; e placas *low power*, melhorando a eficiência energética e prolongando o período de recarga de bateria. Nessa nova abordagem, mais de um caminhão será considerado para o cálculo de rota otimizada, além de

análises prévias de funcionamento da arquitetura por meio de *softwares* simuladores, antes da validação pelo *campus*. Outro grande diferencial é a inserção da transparência dos dados coletados. Os dados de coleta de cada instituto serão levantados e será possível, por meio de consulta pública ao sistema *web* da plataforma, conhecer indicadores de coleta de pilhas e baterias da universidade como um todo, conscientizando e engajando o público universitário a tornar o *campus* mais sustentável.

A arquitetura proposta para a plataforma inteligente de coleta de resíduos é apresentada na figura 5. Nessa abordagem, *hardware low power* será utilizado e o sensor ultrassônico será substituído por sensores com precisão adequada para medir a capacidade de coletores de pilhas e baterias. Para a troca de dados, a lixeira inteligente utilizará a tecnologia LPWAN *Lora* com seu protocolo de comunicação *LoraWAN* será empregado na comunicação da lixeira e o *gateway loraWAN*, componente necessário na infraestrutura de comunicação *Lora*. Para que os dados sejam trocados com a plataforma de nuvem, o protocolo MQTT será utilizado. Após o dado ter chegado a nuvem, esta, por sua vez, o transmitirá para um sistema *web*, via HTTP. Esse sistema *web* fornecerá a rota otimizada aos funcionários responsáveis pela coleta. Outra funcionalidade do sistema *web* e o fornecimento dos dados de coleta de cada instituto, tornando-os públicos e permitindo a visualização de indicadores que poderão ser otimizados, tornando o *campus* mais sustentável.

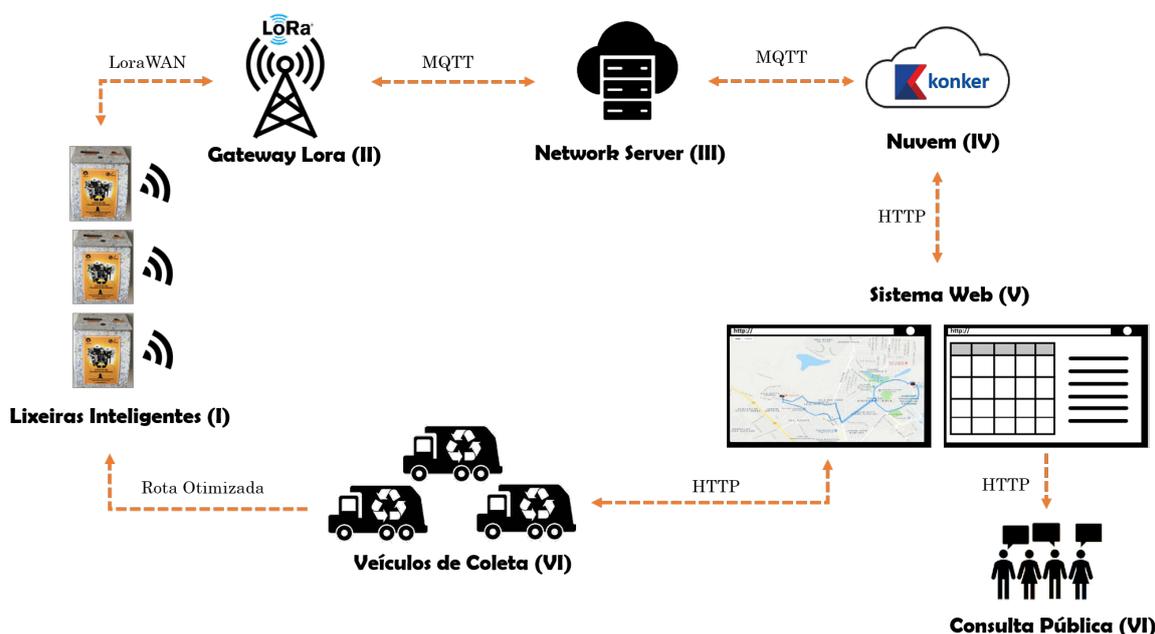


Figura 5. Plataforma Inteligente de Coleta de Resíduos

Nas subseções seguintes, cada componente dessa plataforma será descrito detalhadamente.

4.1. Lixeiras Inteligentes

Tendo em vista os desafios de sensoriamento do nível de resíduos nas lixeiras e do consumo elevado do hardware iot da Coleta Diferenciada, serão testadas soluções para melhor leitura do nível de resíduos (e.g., como sensores infravermelhos) e melhor eficiência

energética da lixeira inteligente, envolvendo placas microcontroladas *low power*, mais voltadas para dispositivos em ambientes nos quais as baterias de alimentação devem ter vida útil longa. Para envio de dados entre lixeira inteligente para o *gateway loraWan*, rádios que suportem essa transmissão devem ser escolhidos para serem acoplados a placa controladora. Para a segurança da lixeira, um sistema de controle de acesso a seus resíduos será estudado, evitando violações e prejuízos a estrutura da lixeira. Os componentes de hardware da lixeira inteligente são apresentados na Figura X

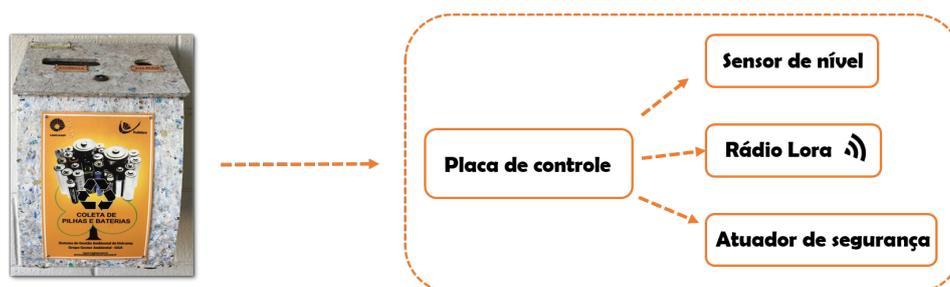


Figura 6. Hardware da Lixeira Inteligente

Para a escolha dos componentes de hardware da lixeira inteligente, será levado em consideração fatores como consumo, documentação e portabilidade com o sensor, atuador e a tecnologia de comunicação *LoraWAN*.

4.2. Conectividade e Infraestrutura LPWAN

Antes de detalhar a infraestrutura de rede Lora inserida na abordagem proposta, é importante conhecer esta tecnologia. LoRa é uma tecnologia de radio frequência que permite comunicação a longas distâncias com consumo mínimo de energia, pertencendo assim as tecnologias LPWAN. Baseia-se em uma rede com topologia estrela, similar a uma rede de telefonia celular. Os módulos enviam e recebem dados de Gateways específicos (como em redes wifi, porém com alcance maior), que os encaminham via conexão IP para servidores locais ou remotos. Suas principais aplicações são sistemas de IoT sobretudo aqueles operados a bateria, de mensagens curtas e em alguns casos em locais de difícil acesso (zonas rurais).

LoRa® é o termo atribuído a camada física de comunicação. LoRaWAN™ é o nome dado ao protocolo que define a arquitetura do sistema bem como os parâmetros de comunicação usando a tecnologia LoRa®. O protocolo LoRaWAN™ implementa os detalhes de funcionamento, segurança, qualidade do serviço, ajustes de potência visando maximizar a duração da bateria dos módulos, e os tipos de aplicações tanto do lado do módulo ou nó sensor quanto do servidor.

1. Módulos (end-points ou end-devices): conhecidos também como nós sensores, são os elementos básicos responsáveis pela camada de sensoriamento da rede. Podem coletar informações através de sensores e também acionar dispositivos/máquinas via atuadores. São configurados através de uma das três classes distintas do protocolo LoRaWAN:

- (a) Classe A - Sensores: dispositivos operados a bateria, que realizam comunicação bidirecional, possuem consumo reduzido e a recepção dos pacotes, em janelas de tempo pré determinadas, só pode ser feita imediatamente após a transmissão de informações pelo módulo;

- (b) Classe B - Atuadores: Dispositivos operados a bateria, que realizam comunicação bidirecional, recepção dos pacotes só pode ser feita com janelas de recepção agendadas. Módulo e gateway trocam informações (beacon way) de forma a que o gateway saiba quando o módulo esta pronto para receber dados (recepção agendada);
 - (c) Classe C: Dispositivos que possuem alto consumo de energia, comumente ligados diretamente a rede elétrica, que realizam comunicação bidirecional e a recepção dos pacotes de dados é realizada praticamente sem atraso. O módulo sempre esta apto a receber dados do gateway nesta classe.
2. Gateways: São os receptores dos sinais enviados pelos módulos. Elementos responsáveis por concentrar e processar as informações enviadas pelos endpoints. Os gateways em geral estão conectados à internet, seja por Wi-Fi/Ethernet ou 3G/4G em locais remotos. Mesmo que uma mesma rede LoRaWAN tenha diferentes objetivos, baseados em aplicações distintas, os gateways possuem o objetivo comum de fornecer a maior área de cobertura possível. Um só gateway pode receber os dados de milhares de dispositivos e encaminha-los para o servidor de rede. Dependendo das condições de de instalação da topologia do local (bloqueios de sinal por prédios, topologia de terrenos, etc), um único gateway pode cobrir um raio desde 2Km até 15 Km.
 3. Servidores de rede: Os servidores de rede são os responsáveis pelo gerenciamento das informações enviadas pelos gateways. Como existe a possibilidade de dois ou mais gateways receberem o mesmo pacote de um certo módulo e encaminharem para o servidor, o mesmo elimina pacotes duplicados, gerencia os tempos para retorno de reconhecimento (acknowledgement - ACK), e faz os ajustes para adaptar as taxas de dados (Data Rate - DR) de forma a gerenciar os tempos entre as comunicações e o consumo de energia.
 4. Servidores de aplicações: Os servidores de aplicações são programas específicos que recebem (via requisição ou de forma automática) os pacotes dos servidores de rede e de acordo com a informação executam uma ou mais ações específicas. Conectar e interligar os diferentes dispositivos da rede TTN para o fornecimento de informações gerais sobre a coleta de dados dos dispositivos.

Neste contexto, o nó sensor da abordagem proposta é a lixeira inteligente, que terá sua classe LoraWAN determinada no decorrer da pesquisa. As lixeiras enviarão, via protocolo LoraWAN, as informações de identificação, capacidade e indicadores de sustentabilidade para o Gateway Lora e, receberá do mesmo comandos de controle para travar ou destravar seu sistema de segurança. O Gateway Lora receberá as informações e as enviará, via WiFi (MQTT), para o Network Server gerenciá-las (e.g., tratar colisões, pacotes duplicados). O Network server, por sua vez, enviará as informações para os servidores de aplicação (plataforma konker) e este as encaminhará para o sistema web. Para comandos de atuação sobre a caixa, é realizado o caminho contrário deste fluxo (sentido sistema web até coletores)

4.3. Armazenamento em Nuvem

Os dados dos coletores (e.g., identificador e nível de enchimento) e os indicadores de coleta de cada instituto da universidade (quantidade coletada de pilhas e baterias) serão armazenados na plataforma de nuvem *Konker*. Neste processo, os dados contidos no *Network Server* são enviados para a nuvem, por meio do protocolo MQTT, e o contrário ocorrerá também, ou seja, a recepção de dados vindos da nuvem (comandos de atuação no coletor) também faz parte da aplicação. Na troca de informações entre a plataforma *Konker* e o sistema *web*, por sua vez, cada acesso ao sistema requisita dados das lixeiras contidos na nuvem, via HTTP, possibilitando a consulta da porcentagem do nível de enchimento da lixeira, identificação e localização das mesmas, possibilitando a definição de pontos de partida/chegada dos veículos, levando a geração da rota otimizada para a coleta dos resíduos.

4.4. Sistema Web

O sistema web que será desenvolvido fornecerá a rota otimizada aos funcionários responsáveis pela coleta dos resíduos de pilhas e e possibilitará consulta pública dos dados de coleta de cada instituto (e.g., Instituto de Computação, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Instituto de Biologia), permitindo a visualização de indicadores que poderão contribuir para melhor planejamento sustentável de cada unidade do campus, além de conscientizar e incentivar o público universitário a tornar o campus mais sustentável.

O sistema web desenvolvido pelo projeto da Coleta Diferenciada será aproveitado (e.g., banco de dados, *front-end*, API do *Google MapS*) e, a ele serão acrescentadas as páginas web que permitirão a visualização e consulta dos indicadores de coleta de cada unidade. Do ponto de vista da comunicação, requisições HTTP serão trocadas entre a nuvem *konker* e o sistema web, para acesso às informações da lixeira inteligente; e, para fornecimento dos dados de indicadores aos usuários, requisições HTTP serão feitas para o servidor local do sistema *web*.

4.5. Rota de Coleta Otimizada

Para o agendamento e roteamento dinâmico da coleta dos resíduos, serão estudados e comparados algoritmos roteamento para que o caminho feito pelos veículos de coleta sejam otimizados, garantindo economia de recursos (e.g., tempo, combustível, mão de obra) e benefícios ao meio ambiente pois a poluição emitida será conseqüentemente diminuída (e.g., emissão de gases, poluição sonora). Para escolha dos algoritmos de roteamento, serão levados em consideração parâmetros como, distância percorrida, número de veículos da frota de coleta, pontos de trânsito, horário de almoço dos condutores (motoristas), quantidade de condutores disponíveis e capacidade de resíduos transportada.

5. Planejamento de atividades

Para desenvolvimento e implementação desta pesquisa as atividades listadas abaixo, detalhadas por mês na tabela da Figura 7, serão seguidas:

1. Levantamento de material bibliográfico relacionado com a pesquisa;
2. Definição de quais sensores e atuadores serão utilizadas na lixeira inteligente;

3. Definição de qual placa controladora será utilizada na lixeira inteligente;
4. Definição de qual módulo com rádio *Lora* será utilizado na lixeira inteligente;
5. Definição de qual classe LoraWAN a lixeira inteligente pertencerá;
6. Definição de qual *Network Server Lora* será utilizado na abordagem proposta;
7. Definição de quais indicadores de sustentabilidade serão coletados e exibidos no sistema *web*;
8. Definição de algoritmos de roteamento para coleta de resíduos;
9. Desenvolvimento de Lixeira Inteligente;
10. Desenvolvimento de Algoritmos de Roteamento;
11. Desenvolvimento de comunicação entre Lixeiras, Infraestrutura *Lora*, Nuvem e sistema *web*;
12. Simulação da Abordagem Proposta via *software* simulador;
13. Análise dos resultados da simulação da abordagem Proposta;
14. Teste da Abordagem Proposta na universidade;
15. Análise dos resultados de teste da abordagem proposta na universidade;
16. Análise e avaliação dos resultados finais;
17. Elaboração de artigos científicos;
18. Elaboração de Dissertação;
19. Defesa de Mestrado.

Referências

- Bakhshi, T. and Ahmed, M. (2018). Iot-enabled smart city waste management using machine learning analytics. In *2018 2nd International Conference on Energy Conservation and Efficiency (ICECE)*, pages 66–71. IEEE.
- Cerchecchi, M., Luti, F., Mecocci, A., Parrino, S., Peruzzi, G., and Pozzebon, A. (2018). A low power iot sensor node architecture for waste management within smart cities context. *Sensors*, 18(4):1282.
- Hatta, T. E. and Borin, J. F. (2018). Dispositivo iot para coleta inteligente de pilhas e baterias. *Relatório Técnico - IC-PFG-18-12*.

Atividades	2019								2020						
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															

Figura 7. Planejamento de Atividades.

Lozano, Á., Caridad, J., De Paz, J., Villarrubia González, G., and Bajo, J. (2018). Smart waste collection system with low consumption lorawan nodes and route optimization. *Sensors*, 18(5):1465.

Medvedev, A., Fedchenkov, P., Zaslavsky, A., Anagnostopoulos, T., and Khoruzhnikov, S. (2015). Waste management as an iot-enabled service in smart cities. In *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems*, pages 104–115. Springer.

Pardini, K., Rodrigues, J., Kozlov, S., Kumar, N., and Furtado, V. (2019). Iot-based solid waste management solutions: A survey. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 8(1):5.

Shyam, G. K., Manvi, S. S., and Bharti, P. (2017). Smart waste management using internet-of-things (iot). In *2017 2nd International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCT)*, pages 199–203. IEEE.