

Implementação de um sistema para auxílio na coleta dos resíduos sólidos urbanos

Igor de A. Lima¹, Lucas H. F. Pavão¹, Lilian B. B. Gomes¹, Mateus H. S. Ferraz¹, Aldo T. Sales², Anderson L. S. Moreira¹, Marco A. O. Domingues¹

¹Departamento Acadêmico de Cursos Superiores – Instituto Federal de Pernambuco (IFPE), Av. Professor Luis Freire, 500 – Bairro CDU – Recife – PE – Brasil

²Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Professor Luis Freire, 400 – Bairro CDU – Recife – PE – Brasil

ial@a.recife.ifpe.edu.br, {lhfp,lbbg,mhsf}@discente.ifpe.edu.br,
aldo.torres@ufpe.br,
{anderson.moreira,marcodomingues}@recife.ifpe.edu.br

Abstract. *The significant growth in the number of embedded systems – mainly inserted in a contextualized environment by the technological paradigm of the Internet of Things (IoT) – has been responsible for a massive generation of data that has an intrinsic capacity to produce value. The increasing update of these systems has been used in the most diverse areas of knowledge, including environmental management. The current article shows the implementation of an urban garbage collection system, denominated SiCOL (Intelligent Garbage Collection System), which was developed and improved at IFPE/Campus Recife in partnership with UFPE, in the concepts of IoT, to improve the sanitary collection system of urban waste in the previously mentioned campuses.*

Resumo. *O crescimento significativo do número de sistemas embarcados – principalmente inseridos em um ambiente contextualizado pelo paradigma tecnológico da Internet das Coisas (IoT) – tem sido responsável por uma geração massiva de dados detentores de uma capacidade intrínseca de produção de valor. A atualização crescente destes sistemas tem sido utilizada nas mais diversas áreas do conhecimento, entre elas a de gestão ambiental. O presente artigo mostra a implementação um sistema de coleta de resíduos urbano, denominado SiCOL (Sistema de Coleta de Lixo Inteligente), que foi desenvolvido e aprimorado no IFPE/Campus Recife em parceria com a UFPE, nos conceitos da IoT, para melhoria do sistema de coleta sanitária do lixo urbano nos campi citados.*

1. Introdução

A Revolução Industrial marcou as relações do homem moderno com o meio ambiente, um dos processos mais marcantes foi o rápido processo de crescimento das cidades (urbanização), fator esse ainda crescente atualmente e que vem resultando em crescimento desordenado dos grandes centros urbanos com impactos ambientais variados. A partir da década de 1970, a percepção das limitações deste modelo de desenvolvimento alavancou na sociedade a discussão de temas ligados à degradação ambiental. Assim, o

desenvolvimento sustentável nasce como um desafio para a sociedade contemporânea (RODRIGUES *et al.*, 2005).

A postura da sociedade atual, convivendo com a imposição de padrões de consumo e crescente utilização de produtos com menores ciclos de vida e de embalagens descartáveis, tem gerado uma grande quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) (GONÇALVES *et al.*, 2013). Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais¹ (ABRELPE) em 2017 a geração de RSU no Brasil foi de 78.426.820 ton.ano⁻¹, tendo a região Nordeste responsável por 20.254.580 ton.dia⁻¹, o que representou aproximadamente 25,83% do total de RSU gerado no Brasil. Desse total cerca de aproximadamente 55% do RSU gerado é matéria orgânica que potencialmente pode ser aproveitada na forma de geração de energia.

Nesta direção, do ponto de vista da gestão do resíduo, a coleta é o passo inicial. Diversos estudos mostram que a gestão dos RSU compõe, como objetivo, parte das estratégias para o desenvolvimento sustentável. Em termos de resíduo a essência do problema ser atacada de ponta a ponta, de forma que devemos ser racionais tanto quanto a uso dos recursos naturais até a gestão sustentável dos resíduos gerados.

Diante do contexto exposto, este artigo apresenta o desenvolvimento do sistema de coleta de lixo inteligente denominado SiCOL, que tem como objetivo auxiliar no processo de gestão ambiental aplicado à adequada solução dos RSU implicitamente nos campi em desenvolvimento do projeto. SiCOL foi desenvolvido como demanda do Centro de Ciências Nucleares do Nordeste da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) para o Laboratório de Inteligência Artificial Aplicada do Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) - Campus Recife.

O artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta os principais conceitos relacionados a gestão de RSU, o processo metodológico adotado é descrito na seção 3; a seção 4 apresenta o desenvolvimento do *software*; e, por fim, na seção 5 são apresentadas as considerações finais.

2. Gestão de RSU auxiliado por Sistemas Embarcados

A gestão dos resíduos sólidos urbanos compõe, como objetivo, parte das estratégias para o desenvolvimento sustentável. Em termos de resíduo a essência do problema ser atacada de ponta-a-ponta, de forma que devemos ser racionais tanto quanto a uso dos recursos naturais até a gestão sustentável dos resíduos gerados. A complexidade que envolve o tema, demanda soluções em diferentes frentes de trabalho e a união de expertises dentro de um ambiente multidisciplinar. Desde 2010 temos no Brasil o plano Nacional de Resíduos Sólidos que regulamenta a reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Porém, passados mais de 15 anos, a gestão adequada dos RSU é ainda um grande desafio para o Brasil e outros países em desenvolvimento (HENRY *et al.*, 2006). A preocupação com os resíduos vem sendo discutida há algumas décadas nas esferas nacional e internacional, devido à expansão da consciência coletiva com relação ao meio ambiente. Assim, a complexidade das atuais demandas ambientais, sociais e econômicas

¹ Panorama de Resíduos no Brasil – Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>

induz a um novo posicionamento dos três níveis de governo, da sociedade civil e da iniciativa privada.

Segundo DEUS *et al.*, (2020), o modelo de coleta de gestão de resíduos no Brasil apresenta algumas dificuldades que devem ser consideradas como os desafios a serem vencidos, especialmente em pequenas cidades. A forma mais correta de realizar um sistema de coleta, seria a cobertura em 100% do resíduo gerado na forma de coleta seletiva. Cabe destacar que na coleta seletiva os resíduos são previamente separados segundo a sua constituição ou composição. Ou seja, resíduos com características similares são selecionados pelo gerador (que pode ser o cidadão, uma empresa ou outra instituição) e disponibilizados para a coleta separadamente.

A coleta seletiva também é feita de forma deficitária em instituições públicas. Muitas vezes apenas é disposto um recipiente com cores diferentes, mas os materiais são descartados de qualquer forma. Os sistemas de coleta de resíduos atuais não operam sob bases tecnológicas bem definidas para uma melhor organização da logística, seja em termos da centrais de tratamento dos resíduos quanto organizar a coleta junto a população. Segundo Fidelis (2020), o maior problema com o sistema de coleta do resíduo é a falta de periodicidade no horário de coleta. Essa desorganização obriga as famílias a depositar seu resíduo na porta das casas por horas ou dias antes do horário que deveriam.

O conceito de cidades inteligentes é um ecossistema urbano inovador caracterizado pelo uso generalizado de tecnologia na gestão de seus recursos e de sua infraestrutura. Neste ambiente, tecnologia e inovação são coordenadas de forma equilibrada e integradas à infraestrutura urbana tradicional para melhor realizar a visão de futuro da cidade. Trata-se de um modelo urbano baseado na utilização de tecnologias da informação e comunicação, as TICs, para melhores resultados nas seguintes dimensões: economia, pessoas, governança, mobilidade, meio ambiente e qualidade de vida. Entretanto, esta visão de futuro, em uma cidade inteligente, deve ser construída sobre atitudes decisivas e conscientes dos diferentes atores do espaço urbano (DEPINÉ, *et. al.* 2018). Entre as diversas aplicações existentes para cidades inteligentes, a gestão adequada de RSU possui impacto significativo na qualidade de vida dos cidadãos. O descarte inadequado desses materiais está diretamente relacionado com a proliferação de insetos nocivos, aumentando a ocorrência de doenças e prejuízos ambientais.

Dentre as formas de melhoria do meio ambiente urbano e também uma aplicabilidade do conceito de cidades inteligentes podemos destacar o uso da IoT. Para tornar as cidades mais ecológicas, seguras e eficientes, a IoT pode desempenhar papel importante, possibilitando a melhoria 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 nesta tecnologia para otimizar aplicações já existentes e criar novos serviços (VERSAMESSAN; FRIESS, 2004).

3. Metodologia aplicada no desenvolvimento

Como ponto inicial do desenvolvimento, divulgamos o aplicativo nas localidades em que o sistema foi implementado. A partir da divulgação, um estudo de caso do problema foi realizado colocando a equipe de pesquisadores e colaboradores cientes de como devem criar a regra de negócio de acordo com a adaptação do modelo já existente de coleta.

Fazendo um levantamento dos requisitos que a comunidade exige e desta forma separando as ferramentas necessárias.

Desta forma, a equipe fez o refino do problema adaptando aos novos requisitos e propor o desenho inicial de uma solução. O protótipo foi então utilizado para uma melhor compreensão dos benefícios, desafios e problemas e se estes estão de acordo com o que foi planejado pela equipe de pesquisadores. Assim fica mais linear o desenvolvimento de uma solução final do *software*.

Como ponto crucial do projeto é a validação da solução proposta que usou o protótipo desenvolvido para estudar a maneira tanto qualitativa quanto quantitativa das características principais do produto construído. Bem como se este está de acordo com que as Instituições que irão utilizar exigem.

Passando a parte de projeto, em que foram definidas as tecnologias utilizadas, elaboração de protótipo e modelagem, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para encontrara já soluções semelhantes. A seguir, foi realizada a definição de esquema do protótipo, como pode ser observada na Figura 1.



Figura 1: Sistemas de rota e informações aos usuários

A Figura 1 mostra que o caminhão de coleta irá notificar os usuários de uma determinada região, informando o horário e a sua localização de passagem. Além disso os clientes do sistema podem notificar a central informando que naquela rua já se encontra lixo despejado. Desta forma a rota é feita de forma eficiente, pois irá captar os reservatórios de RSU que já estão no trajeto do caminhão. Atualmente o sistema abrange oito ruas, com o envolvimento de três caminhões de pequeno porte e seis catadores. A área de abrangência do ambiente de estudo são as dimensões do Campus da UFPE – Recife. As coletas são efetuadas duas vezes ao dia: uma no período da manhã e outra no período da noite.

Os veículos que fazem parte do teste do projeto têm uma caixa com o protótipo no nível de *hardware*, o mesmo poderá ser visto na Figura 2, e este se comunica com uma central de servidor de aplicação para informar através de *broadcast* aos usuários onde está o veículo em rota e o horário de passagem para coleta. Bom citar que o software irá utilizar o sistema de GPS do celular, porém em locais onde não é possível utilizar tal recurso, ou

por falta de conexão com a Internet ou por conta de equipamento, o sistema utilizará o GPS do protótipo. Além disso alguns outros sensores foram incluídos no protótipo (nível de CO2, temperatura, humidade) para uma posterior atualização do projeto com captura de novas informações.

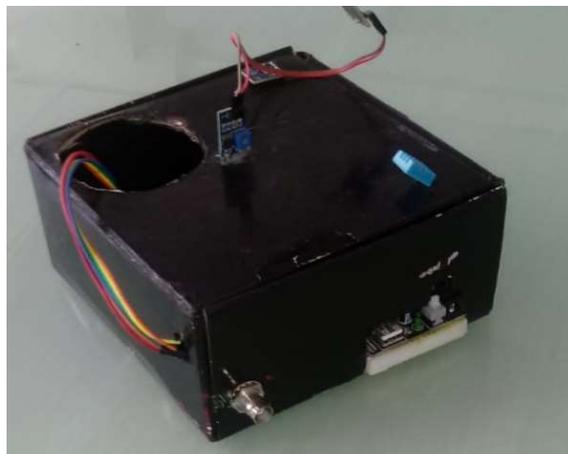


Figura 2: Foto do dispositivo de localização e IoT

A etapa seguinte do desenvolvimento foi a criação do aplicativo móvel que foi gerenciada utilizando a metodologia Kanban². A tecnologia empregada foi a Flutter³ para desenvolvimento móvel tanto em dispositivos *Android*, quanto *iOS* e o banco de dados utilizado foi o PostgreSQL⁴. O projeto envolveu um aluno de TCC, três bolsistas de Extensão Acadêmica do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas e três professores, sendo estes dois de Computação e um de Gestão Ambiental.

Por fim, consideramos importante para sedimentar os conhecimentos estudados e desenvolvidos pela equipe do projeto a devida documentação das contribuições alcançadas, como também a divulgação com outros pesquisadores que, com base nos artefatos produzidos no projeto em questão, poderão gerar novas contribuições. O aplicativo seria descrito na seção seguinte.

4. Desenvolvimento do sistema

Como citado anteriormente o sistema desenvolvido envolve: (1) Desenvolver um sistema que indica quando a coleta será feita em uma determinada rua dos campi; (2) Favorecer o despejo do mesmo nas vias e favorecendo a coleta rápida; (3) Interagir com a comunidade universitária; (4) Verificação do uso do sistema se este está sendo disponibilizado de forma correta e se o veículo está sendo monitorado. As tecnologias utilizadas no desenvolvimento permitem que o aplicativo móvel possa ser disponibilizado nas mais diversas plataformas, inclusive uma *Web* se for o caso. Os dados capturados pelo protótipo são armazenados em uma central.

Os dados atualizados são sincronizados em todos os dispositivos conectados, inclusive se for o caso, poderem ser utilizados de forma sem conexão (*offline*). A Figura 3 representa o diagrama de casos de uso da UML (*Unified Modeling Language*),

² <https://www.atlassian.com/agile/kanban>

³ <https://www.flutter.dev>

⁴ <https://www.postgresql.org/>

destacando o ator <<USUARIO>> e os principais requisitos funcionais (relacionamento de casos de uso) identificados. Estes compõem a regra de negócio do sistema como um todos.

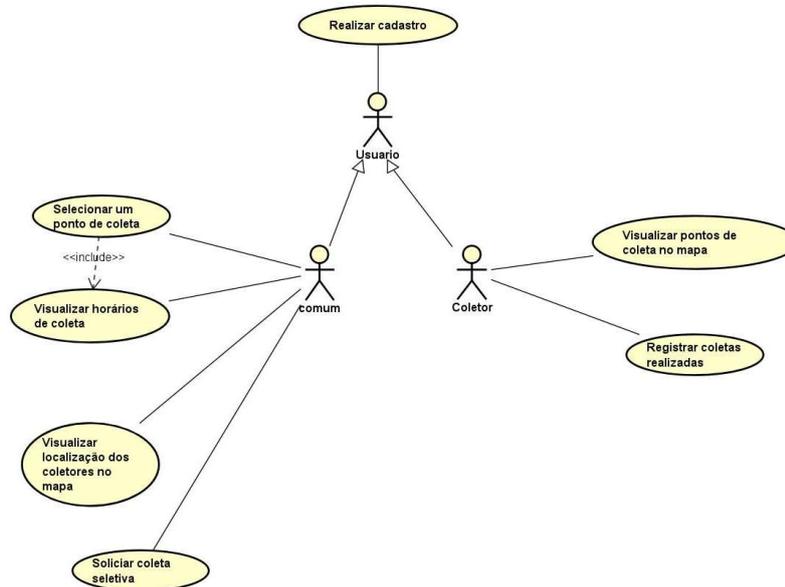


Figura 3. Modelo de casos de uso do sistema proposto.

O sistema apresenta duas interfaces: uma que é disponibilizada para os alunos e servidores dos campi em estudo e outra que é do motorista ou catador de RSU. Estas estão relacionadas entre si. No momento que o prestador de serviço sai da central de coleta, este aciona o sistema e mostra o trajeto que irá passar para recolher o lixo. Então o sistema atualiza a base de dados para que o mesmo possa repassar estas informações para os usuários do aplicativo, mostrando os horário e localização.

Uma análise de usabilidade de interface foi estabelecida para criação da aplicação. A primeira função do aplicativo o usuário deve se cadastrar com um nome e senha para efetuar o login. Este deve cadastrar a sua localização utilizando o GPS do próprio celular ou uma rua digitada. Desta forma ele saberá quando a coleta de lixo será feita naquela localidade. O mesmo pode ser visto na Figura 4.



Figura 4. Cadastro de localização.

Desta forma, após o cadastro, o sistema já disponibiliza para o usuário a localização do serviço de coleta. Como podemos ver na Figura 5a.

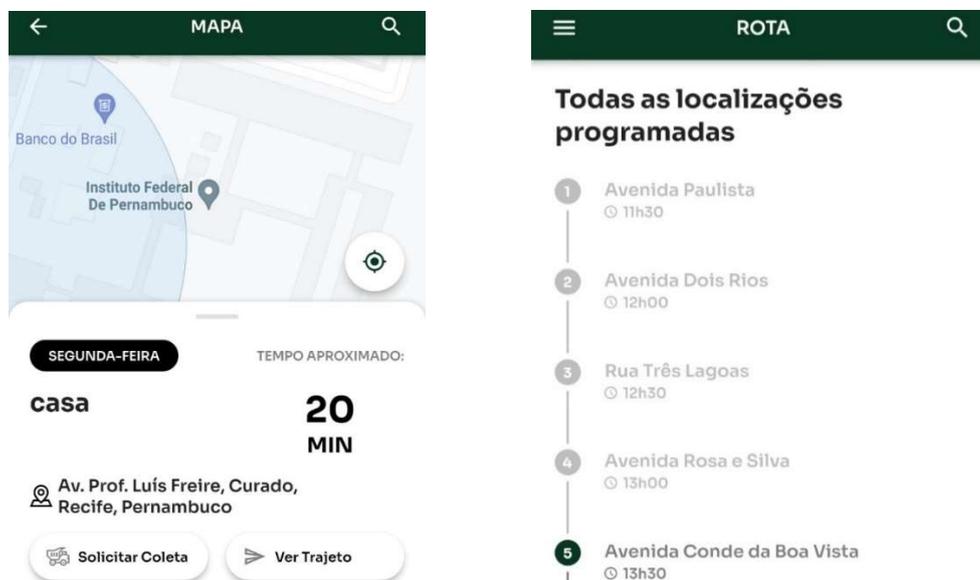


Figura 5. (a) Verificação de coleta. (b) Localização no formato de lista.

O cliente também pode ver através de um sistema de lista onde está o veículo e o horário que irá passar naquela localização. Observe a Figura 5b que mostra estas informações. Quando a coleta é efetuada o sistema informa a central que a mesma foi efetuada. Estas informações podem ser utilizadas para a geração de relatórios gerenciais que podem favorecer a gestão dos campi.

5. Considerações finais e trabalhos futuros

A versatilidade dessa tecnologia consegue atender a diferentes tipos de veículos de coleta. Além, de facilitar uma melhor gestão da coleta de lixo. Assim, a tecnologia é utilizada em função de facilitar toda a logística de um processo complexo. Deixando um fluxo de interação, entre Instituição e usuário, mais inteligente e eficiente. O projeto, mostra à sociedade os benefícios de uma coleta de lixo adequada e o seu descarte a partir dos ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU) (ONU, 2021) 9 e 11. (Nações Unidas, 2021).

Além disso, o modelo proposto neste projeto será implementado na rede local dos campi envolvidos e encontra-se em desenvolvimento do servidor *Web*. O servidor de dados permanece armazenando os valores enviados pelos sensores de forma contínua, 24 horas por dia e segue provendo dados para uma aplicação que possibilita o acompanhamento gráfico de sua evolução e de futuras análises.

Espera-se que os outros campi também tenham sistemas semelhantes e desta forma criar um ambiente integrado para aplicação de coleta eficiente de RSU. Assim, favorecer o ambiente dos servidores e alunos que estão sob o sistema de gerenciamento. Como trabalho futuro está em desenvolvimento um sistema de lixeiras inteligentes e de otimização de rota dos veículos. Economizando desta forma combustível e energia. Bom

deixar marcado que o projeto já está sendo negociado para um uso por uma prefeitura do interior do Estado e será implantado de forma voluntária.

6. Referências bibliográficas

- Cunha, V., & Caixeta Filho, J. V. (2002). Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. *Gestão & Produção*, 9, 143-161.
- Depiné, Á., Azevedo, I. S. C., Gaspar, J. V., Vanzin, T (2018). Cidade inteligente: a transformação do espaço urbano pela tecnologia. In: DEPINÉ; Ágatha; TEIXEIRA, Clarissa. (Org.). *Habitats de inovação: conceito e prática*. 1ed. São Paulo: Perse, v. 1.
- Deus, R. M., Mele, F. D., Bezerra, B. S., & Battistelle, R. A. (2020). Analytical framework and data for a municipal solid waste environmental performance assessment. *Data in brief*, 28, 105085.
- Fidelis, R., Marco-Ferreira, A., Antunes, L. C., & Komatsu, A. K. (2020). Socio-productive inclusion of scavengers in municipal solid waste management in Brazil: Practices, paradigms and future prospects. *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104594.
- Gonçalves, M. A., Tanaka, A. K., & Amedomar, A. A. (2013). A destinação final dos resíduos sólidos urbanos: alternativas para a cidade de São Paulo através de casos de sucesso. *Future Studies Research Journal: Trends and Strategies*, 5(1), 96-129.
- Henry, R. K., Yongsheng, Z., & Jun, D. (2006). Municipal solid waste management challenges in developing countries–Kenyan case study. *Waste management*, 26(1), 92-100.
- Objetivo de Desenvolvimento Sustentável – 15 – Vida terrestre. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/15>>. Acesso em: 14 de novembro de 2021.
- Objetivo de Desenvolvimento Sustentável – 9 – Indústria, inovação e infraestrutura. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/9>>. Acesso em: 10 de novembro de 2021.
- Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 10 de novembro de 2021.
- Rodrigues, A. M., Rodrigues, I. C., & Rebelato, M. G. (2005). Gestão ambiental e responsabilidade social: uma discussão sobre os novos papéis da gestão empresarial. *Anais do Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais (Simpoi)*, 8.
- Vermessan, O., Friess, P. (2004). *Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems*. River Publishers.
- Zanella, A. et al (2014). Internet of Things for Smart Cities. *IEEE Internet of Things Journal*, v.1, n.1, p. 22–32.