

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL –
DOUTORADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM REVALORIZAÇÃO, TRATAMENTO,
DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

CAROLINE CIPOLATTO FERRÃO

**ALGORITMO DE ROTEIRIZAÇÃO E MINERAÇÃO DE DADOS APLICADOS
PARA A REDUÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E DE SEGURANÇA DO
TRABALHO NA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Santa Cruz do Sul

2022

Caroline Ciplatto Ferrão

**ALGORITMO DE ROTEIRIZAÇÃO E MINERAÇÃO DE DADOS APLICADOS
PARA A REDUÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E DE SEGURANÇA DO
TRABALHO NA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Dissertação ou Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado ou Doutorado, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para o título de Doutora em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Jorge André Ribas Moraes

Co-orientador: Prof. Dr. João Carlos Furtado

Santa Cruz do Sul
2022

AGRADECIMENTOS

Iniciarei os meus agradecimentos lembrando da finalização da minha graduação, da qual não tenho tantas memórias felizes, com exceção da minha formatura; mas que me trouxe tamanha realização pessoal, familiar e profissional. É memorável e vale aqui o registro, do dia em que estávamos em família almoçando e o tema pós-graduação veio à tona e imediatamente afirmei que jamais iria me dedicar para isso. E aqui estamos, finalizando a tese de doutorado, sem acreditar no quão rápido o tempo passou e o quanto de amadurecimento tive ao longo destes anos.

Agradeço aqui:

Ao meu noivo Lorenzo Iop Laporta, que abriu meus olhos para a relevância das contribuições que a pós-graduação trás à atuação profissional, e do quão importante é estarmos sempre aliando a teoria à prática. Sem as nossas conversas e o exemplo que trazes para a nossa casa, jamais eu estaria aqui. Obrigada pelo apoio, pela nossa família (com o Tutizinho), pela motivação e por me lembrar diariamente de que posso chegar onde eu quiser. Que sorte a minha. Te amo muito!

Aos meus pais, Luiz Carlos Machado Ferrão e Eleniza Cipolatto Ferrão, pelo apoio incondicional, seja com a minha variação libiana indecisa sobre o que vou ou não fazer, seja nas minhas tomadas de decisão em conjunto ou sozinha. Obrigada por serem o meu ponto de equilíbrio, a minha ajuda, o meu suporte, por serem o abraço do “vai em frente que vai ficar tudo bem”. Amo vocês!

Ao meu irmão, João Victor Cipolatto Ferrão, fica aqui o registro do meu orgulho por estar se tornando um homem íntegro e amoroso. Quero que saiba que desejo que seja realizado pessoalmente e profissionalmente com o caminho que seguir e que estarei sempre aqui para ti. Te amo!

Aos meus 3 mentores, Elton, Gilmar e Dinei, que modelaram a profissional que sou hoje para o mercado de trabalho e que permitem que eu absorva todos dias um pouquinho de cada um, para que me torne uma profissional melhor. Agradeço por terem entendido as minhas necessidades de seguir simultaneamente como pesquisadora, por sempre me apoiarem e por dividirem todo o conhecimento que detêm, o que com toda a certeza está depositado no conteúdo desta tese, assim como foi a base para a construção do objetivo geral. Agradeço também pela nossa amizade e por toda a confiança que depositam em mim!

Ao professor Jorge, que na pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho me fez pensar e acreditar na possibilidade de fazer o doutorado. Obrigado por todo o acompanhamento e por estes anos de parceria, orientação e compreensão quanto às minhas rotinas. Espero que permaneça este vínculo e gostaria de deixar aqui registrada a sorte que tive de poder ser tua orientanda.

Aos demais integrantes da nossa equipe: João, Leandro e Janaína, agradeço a vocês pela disponibilidade e comprometimento durante o processo, por tornarem possível o desejo de que esta tese fosse multidisciplinar e por fortalecerem o pensamento que carregar sobre o trabalho em equipe ser valioso. Quero deixar registrado que foi um prazer conhecê-los e trabalhar com vocês.

Aos meus amigos e aos meus colegas de escritório, agradeço pelas contribuições diárias do nosso convívio e por tornarem as rotinas caóticas mais leves.

Finalizo aqui, com um misto de ansiedade, gratidão e sensação de dever cumprido, olhando para trás, vendo que o caminho foi lindo e que trouxe um amadurecimento pessoal enorme. Mais do que nunca tenho a certeza do quão forte é o poder dos nossos pensamentos e que os limites somos nós quem estipulamos e decidimos ultrapassar ou não. Assim, seguirei com o mesmo pensamento de que “Tem gente que sonha com o sucesso. E tem gente que trabalha todos os dias para conquistá-lo” Wayne Huizenga. Obrigada a todos!

RESUMO

O cenário de mudança no estilo de vida da sociedade e os indicadores de geração de resíduos sólidos tem demonstrado grande crescimento a cada ano. Em razão disso e da gestão inadequada dos resíduos ocasionar impactos ambientais negativos e problemas de saúde e de segurança pública, torna-se imprescindível que a gestão governamental se mantenha atenta ao gerenciamento destes resíduos. Nesse contexto, a presente tese foi dividida em um artigo de revisão, um artigo de pesquisa e dois de estudo de caso. O primeiro artigo é um estudo de caso sobre a aplicação de ferramentas que sirvam de base para as tomadas de decisão relacionadas com a gestão operacional e de segurança do trabalho da coleta de RSU. O segundo artigo é uma revisão da literatura que verifica a utilização da Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados e da Mineração de Dados aplicados na coleta de resíduos sólidos. O terceiro artigo é um artigo de pesquisa que analisa a utilização da Mineração de Dados para a identificação de padrões na coleta de resíduos sólidos urbanos. O quarto artigo é um estudo de caso que analisa a aplicação de um algoritmo para a otimização dos roteiros da coleta de resíduos sólidos urbanos e os respectivos impactos. Os resultados mostraram que é possível avaliar e minimizar os impactos ambientais e de segurança do trabalho através da aplicação da descoberta de conhecimento em bases de dados e da mineração de dados na gestão de resíduos sólidos com foco na identificação de padrões na coleta de RSU, e com o desenvolvimento e aplicação de algoritmo para a otimização dos roteiros percorridos pelos veículos da coleta de RSU.

Palavras-chave: Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos, Impactos Ambientais, Segurança do Trabalho, Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados, Mineração de Dados, Algoritmo de Roteirização de Veículos.

ABSTRACT

DATA ROUTE AND MINING ALGORITHM APPLIED TO REDUCE ENVIRONMENTAL AND WORK SAFETY IMPACTS IN SOLID URBAN WASTE COLLECTION

The changing scenario in society's lifestyle and solid waste generation indicators have shown great growth each year. Because of this and because waste management causes negative environmental impacts and health and public safety problems, it becomes necessary for government management to remain attentive to waste management. In this context, this thesis was divided into a review article, a research article and two case studies. The first article is a case study on the application of tools that serve as a basis for decision-making related to the operational and safety management of municipal solid waste (MSW) collection work. The second article is a literature review that verifies the use of Knowledge Discovery in Databases and Data Mining applied in the collection of solid waste. The third article is a research article that analyzes the use of Data Mining to identify patterns in the collection of urban solid waste. The fourth article is a case study that analyzes the application of an algorithm for the optimization of urban solid waste collection routes and the respective effects. The results found that it is possible to evaluate and minimize environmental impacts and work safety through the application of knowledge discovery in databases and data mining in solid waste management with a focus on identifying patterns in the collection of MSW, and with the development and application of an algorithm to optimize the routes taken by MSW collection vehicles.

Keywords: Solid Urban Waste Collection, Environmental Impacts, Work Safety, Discovery of Knowledge in Databases, Data Mining, Vehicle Routing Algorithm.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral.....	14
2.2	Objetivos Específicos.....	14
3	METODOLOGIA	15
3.1	Procedimentos Metodológicos.....	15
4	ARTIGOS	17
4.1	ARTIGO 1 – Analysis of Environmental Risks and Accidents at Work in Urban Solid Waste Collection Services.....	18
4.2	ARTIGO 2 – Data Mining and Knowledge Discovery in Databases for Urban Solid Waste Management: A Scientific Literature Review	45
4.3	ARTIGO 3 – Use of Data Mining for the Management of Municipal Solid Waste Collection: A Case Study in Southern Brazil	72
4.4	ARTIGO 4 – Optimized Routing of Urban Solid Waste Collection: Application Algorithm.....	95
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	127
6	REFERÊNCIAS.....	130

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACV	Análise do Ciclo de Vida
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
API	Interface de Programação de Aplicação (do inglês <i>Application Programming Interface</i>)
APP	Análise Preliminar de Perigo
APR	Análise Preliminar de Riscos
CAT	Comunicação de Acidentes de Trabalho
CGA	Algoritmo Genético Construtivo (do inglês <i>Constructive Genetic Algorithm</i>)
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CO	Monóxido de Carbono
CVRP	Problema de Roteirização de Veículos Capacitados (do inglês <i>Capacited Vehicle Routing Problem</i>)
DM	Mineração de Dados (do inglês <i>Data Mining</i>)
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FGV	Fundação Getúlio Vargas
GB	Aumento de Gradiente (do inglês <i>Gradient Boosting</i>)
GEE	Gases do Efeito Estufa
GRS	Gestão de Resíduos Sólidos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
KDD	Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados (do inglês <i>Knowledge Discovery in Databases</i>)
LR	Regressão Linear (do inglês <i>Linear Regression</i>)
MAE	Erro Absoluto Médio
MP	Material Particulado
NBR	Norma Brasileira
NHHC	Hydrocarbonetos com exceção do metano

NO _x	Óxido de Nitrogênio
NR	Norma Regulamentadora
PIB	Produto Interno Bruto
PICOC	População, Intervenção, Comparação, Resultados e Contexto (do inglês <i>Population, Intervention, Comparison, Outcomes and Context</i>)
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRISMA	Itens de Relatório Preferidos para Revisões Sistemáticas e Meta-análises (do inglês - <i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>)
R ²	Coefficiente de Determinação
RF	Floresta Aleatória (do inglês <i>Random Forest</i>)
RMSE	Erro Quadrático Médio
RNA	Redes Neurais Artificiais
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SESMT	Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho
SVM	Máquina de Vetor de Suporte (do inglês <i>Support Vector Machine</i>)
TS	Busca Tabu (do inglês <i>Tabu Search</i>)
WRI	Instituto de Recursos Mundiais (do inglês <i>World Resources Institute</i>)

1 INTRODUÇÃO

O ritmo gradativo de crescimento populacional, do processo de urbanização e da adoção de tecnologias amplia significativamente a produção industrial, a aquisição de bens de consumo e, conseqüentemente, o volume de resíduos gerados (DAS e BHATTACHARYYA, 2015; HANNAN et al., 2018). A gestão inadequada dos mesmos ocasiona impactos ambientais negativos (poluição do ar, solo e água), além de problemas de saúde (doenças relacionadas a insetos, roedores e diferentes formas de poluição) e segurança pública (RIPA et al., 2017; YAY, 2015).

Paralelamente a isso, o cenário de mudança no estilo de vida da sociedade e os indicadores de geração de resíduos sólidos tem demonstrado grande crescimento a cada ano (HOORNWEG e BHADA-TATA, 2012; NOWAKOWSKI et al., 2017), e em razão disso torna-se imprescindível que a gestão governamental se mantenha atenta ao gerenciamento desses resíduos (BABAEE TIRKOLAEE et al., 2019). Neste contexto, diversas abordagens estão sendo empregadas para auxiliar na análise e tomada de decisão relacionadas ao gerenciamento de resíduos sólidos, dentre elas destaca-se o uso da Mineração de Dados (*Data Mining* - DM) e da Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados (*Knowledge Discovery in Databases* – KDD).

No que tange ao uso de DM e da ferramenta KDD para gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), pesquisas destacam a necessidade de coleta, tratamento e análise de dados relacionados a ampla gama de variáveis associadas às etapas do gerenciamento de coleta, transporte e destinação de resíduos, fazendo das técnicas de DM importantes ferramentas para gerar conhecimento estratégico para o campo de estudo (BAGHERI et al., 2019). Além disso, a crescente preocupação social, governamental e acadêmica com a gestão de resíduos reforça o uso de tecnologias e ferramentas analíticas para coleta e processamento de dados com o propósito de promover o desenvolvimento sustentável (SHARMA et al., 2019). Deste modo, o potencial de DM vai além da simples análise de dados, pois permite identificar relações entre variáveis (peso dos resíduos coletados, quantidade de veículos utilizados, quilometragem percorrida, número de habitantes, entre outros) e realizar classificação, predição e análise causal destes dados (YANG et al., 2019).

Com o propósito de manter índices de cobertura da coleta de resíduos em ascensão é imperativo que o dimensionamento da frota de coleta, da mão-de-obra empregada e da logística operacional sejam otimizados, considerando e respeitando as características dos municípios e com o propósito de atingir a cobertura completa da população (KINOBE et al., 2015; PIRES et

al., 2017). A atividade de coleta de RSU é uma das etapas do gerenciamento mais importantes, tanto pelos custos envolvidos quanto pelos impactos potenciais sobre a qualidade do contexto urbano (DI MARIA et al., 2016). Esta atividade requer cuidados na administração das melhores alternativas do ponto de vista ambiental como também em termos de segurança do trabalho, pois os colaboradores envolvidos com a mesma estão sujeitos a riscos físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e de acidentes. Os riscos devido ao mal acondicionado dos resíduos e à acidentes de trânsito, como por exemplo, envolvidos na atividade podem comprometer o desempenho das equipes de trabalho e gerar impactos ambientais e de segurança do trabalho, sendo assim, observa-se a importância dos trabalhadores desta área e da gestão de riscos desta atividade (FERRÃO e MORAES, 2021).

Quanto ao estabelecimento dos roteiros de coleta, a metodologia utilizada na maioria das cidades brasileiras é ainda empírica, advinda dos gestores responsáveis pelos respectivos municípios. Cabe salientar que esta atividade demanda altos custos (KINOBE et al., 2015; PIRES et al., 2017), portanto, quanto mais otimizada a rota de coleta de resíduos, maior será a redução de impactos socioeconômicos e ambientais (HANNAN et al., 2018).

Frente a isso e às projeções da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2021) de que o crescimento populacional esperado é de 12% e a geração dos RSU seguirá em progressão até 2050 (alcançando 100 milhões de toneladas em 2033), quando comparado ao ano de 2019, é importante evidenciar que novas tecnologias para o gerenciamento dos resíduos sejam pesquisadas e difundidas a fim de auxiliarem na minimização de impactos não apenas da sua destinação final, mas também da geração e da coleta dos RSU. Entretanto, o que influencia diretamente na busca por novas tecnologias é a falta de recursos aplicados no setor (R\$ 0,36 /hab/dia) para o custeio de todos os serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos (ABRELPE, 2021).

Essa carência de recursos deve ser revertida, a partir das disposições do Novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020), que alterou a Lei Federal nº 11.445/2007 e determina que a sustentabilidade econômico-financeira dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos deve ser assegurada por meio de instrumento de remuneração com cobrança dos usuários. Ou seja, desde julho de 2020, há uma obrigação instituída por Lei Federal para que haja cobrança pelos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, sob pena de restar configurada renúncia de receita, no âmbito da Lei de Responsabilidade Fiscal (ABRELPE, 2021).

Nos últimos anos, pesquisas surgiram com o intuito de apresentar alternativas com modelos de controle e otimização que auxiliem na tomada de decisão (ABDALLAH et al., 2020; CEYLAN, 2020; COSKUNER et al., 2020; DAI et al., 2020; KOLEKAR et al., 2017; KONTOKOSTA et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2019; WU et al., 2020). Entre as propostas discutidas destaca-se o uso de inventários de dados sobre resíduos sólidos e a aplicação de ferramentas de inteligência artificial, como estratégias econômicas para planejar e implementar sistemas de gestão de resíduos baseado em previsão (COSKUNER et al., 2020). Outro exemplo é o uso de técnicas de DM que permitem criar modelos que atuam como apoio para definição de metodologias, tecnologias de tratamento e de locais para disposição dos RSU, bem como planejamento da capacidade de instalações de recuperação de materiais e otimização da utilização de pessoal e recursos (CEYLAN, 2020). Além disso, com base nos resultados da adoção destas estratégias, os pesquisadores têm demonstrado a importância da predição para o gerenciamento de RSU (DAI et al., 2020; KONTOKOSTA et al., 2018) e, contribuindo para reforçar o valor que deve ser atribuído ao uso de dados para investigar os efeitos dos mais diversos fatores na quantidade e composição de geração de RSU (CEYLAN, 2020).

É fundamental realçar tecnologias que ajudem a diminuir os impactos decorrentes da coleta dos resíduos sólidos urbanos. Neste sentido, são destacadas práticas de otimização dos roteiros de coleta que buscam minimizar os impactos ambientais devido ao consumo de combustíveis fósseis e outras peças de manutenção dos veículos, os quais estão diretamente relacionados com a quilometragem percorrida e com a organização da malha urbana (DIAS et al., 2021).

Segundo Fava et al. (2021), à medida que houve um crescimento significativo na demanda por transporte, tornou-se cada vez mais essencial que as empresas façam uma gestão eficiente do seu transporte e da sua cadeia de abastecimento. O objetivo de resolver este problema é minimizar os custos do transporte através da redução da distância total percorrida e do número de veículos utilizados (FAVA et al., 2021). Diante disso, Dantzig e Ramser (1959) apresentaram pela primeira vez na literatura o problema de roteirização de veículos capacitados (*Capacitated Vehicle Routing Problem – CVRP*). No CVRP o processo de roteirização da frota leva em consideração a capacidade dos veículos. A otimização dos roteiros deve contribuir também na redução das jornadas de trabalho dos colaboradores, bem como dos custos envolvidos na operação (DIAS et al., 2021).

Segundo Silvak e Schoettle (2012) podemos chamar de *eco-driving* (direção sustentável) a direção veicular econômica, ambiental e segura que visa diminuir o consumo de

combustíveis e conseqüentemente, reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e poluentes atmosféricos locais como monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos com a exceção de metano (NMHC), óxido de nitrogênio (NOx) e material particulado (MP), gerando eficiência operacional. Para isso, são necessárias tomadas de decisão estratégicas (seleção veicular e manutenção), operacionais (condução do motorista) e táticas, através do controle do peso do veículo e da seleção da rota. A aplicação do *eco-driving* em veículos de qualquer porte e função, pode acarretar no aumento de 25% da eficiência no consumo de combustível (SILVAK E SCHOETTLE, 2012; FERNANDES et al., 2015).

Considerando estes aspectos, a pesquisa desenvolvida nesta tese de doutorado está vinculada à linha 2 (Revalorização, Tratamento e Disposição de Resíduos Sólidos e Emissões Atmosféricas) do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental. Esta pesquisa apresenta inovação e multidisciplinariedade através do emprego de ferramentas que relacionam a gestão operacional ambiental e de segurança do trabalho, da aplicação da descoberta de conhecimento em bases de dados e da mineração de dados na gestão de resíduos sólidos com foco na identificação de padrões na coleta de RSU, e o desenvolvimento de algoritmo para a otimização das rotas dos caminhões da coleta de RSU com a análise e discussão dos resultados obtidos, a fim de minimizar os impactos da atividade.

Assim, a presente tese foi dividida em introdução, objetivo principal e específicos, metodologia, artigos desenvolvidos (quatro), considerações finais e referências. Essas informações foram organizadas em capítulos que apresentam a tese de forma geral e, capítulos que correspondem a cada artigo construído para fins de satisfazer os objetivos específicos propostos. Deste modo, é possível utilizar a mineração de dados e desenvolver um algoritmo de roteirização para a coleta de RSU que minimizem os impactos ambientais e de segurança do trabalho da atividade?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os impactos ambientais e de segurança do trabalho através da utilização da Mineração de Dados e de algoritmo desenvolvido para otimização dos roteiros percorridos pelos veículos da coleta de RSU.

2.2 Objetivos Específicos

- Aplicar ferramentas que sirvam de base para as tomadas de decisão relacionadas com a gestão operacional ambiental e de segurança do trabalho da coleta de RSU – Atingido no Artigo 1.
- Verificar a utilização da Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados e da Mineração de Dados aplicados na gestão de resíduos sólidos através de uma revisão sistemática – Atingido no Artigo 2.
- Analisar a utilização da Mineração de Dados para a identificação de padrões na coleta de RSU – Atingido no Artigo 3.
- Desenvolver um algoritmo para a otimização das rotas dos veículos da coleta de RSU a fim de minimizar os impactos da atividade – Atingido no Artigo 4.

3 METODOLOGIA

3.1 Procedimentos Metodológicos

Em um primeiro momento, foi pensado no desenvolvimento do Artigo 1, voltado para os impactos ambientais e de segurança do trabalho da atividade de coleta de resíduos sólidos urbanos domiciliares, devido a facilidade de obtenção dos dados necessários, de 7 municípios do Estado do Rio Grande do Sul. Este artigo foi a base para que a conexão da tese obtivesse a amplitude desejada, a partir da aplicação de ferramentas que auxiliem nas tomadas de decisão relacionadas com a gestão operacional ambiental e de segurança do trabalho da atividade.

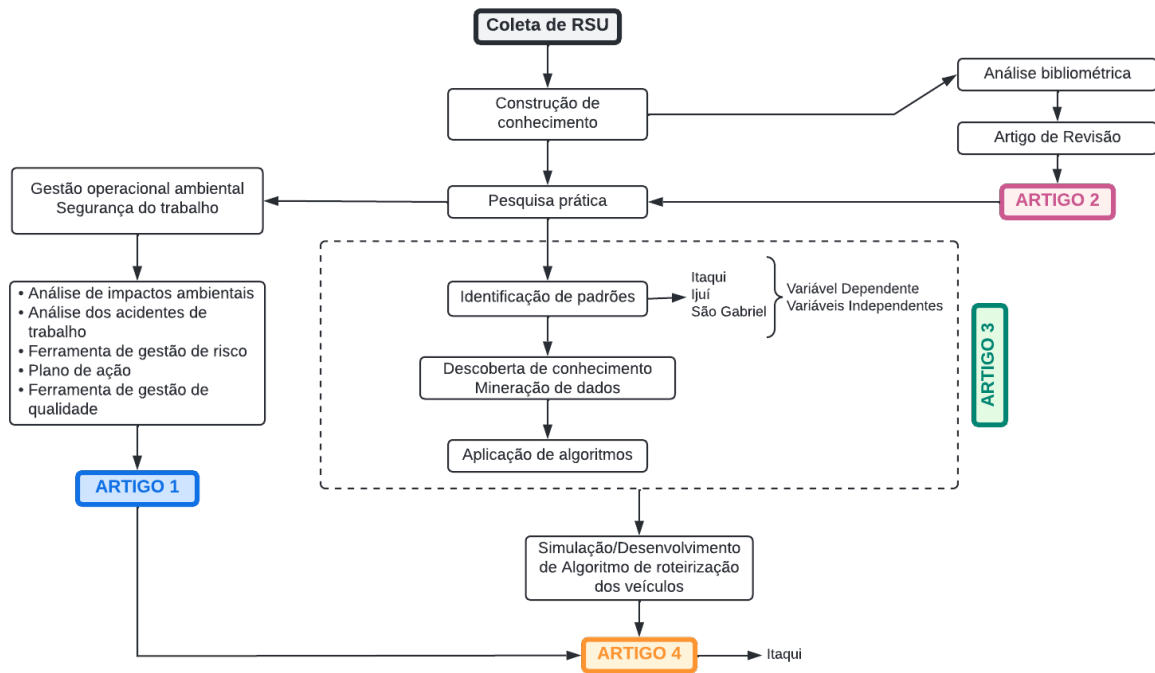
Com a preocupação de reforçar o embasamento teórico por meio de artigos que pudessem consolidar informações sobre os assuntos que seriam alvo deste estudo, foi feito o Artigo 2. Para isso, utilizou-se o mapeamento bibliométrico para verificar a utilização da Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados e da Mineração de Dados aplicados na coleta de resíduos sólidos.

A partir do conhecimento obtido, buscou-se a identificação de padrões na coleta de resíduos sólidos urbanos domiciliares através da Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados e da Mineração de Dados, associada à análise de dados relacionados às atividades para 3 (três) municípios do Estado do Rio Grande do Sul, a fim de constatar o algoritmo que melhor se comporte com os padrões desejados (Artigo 3).

Neste sentido, o Artigo 4, propõe um algoritmo que faz uso da combinação de heurísticas derivadas do Algoritmo Genético Construtivo e da Busca Tabu, que obtenha o melhor roteiro para a coleta de RSU para uma área específica de 1 (um) município localizado no Rio Grande do Sul, e avaliar se os resultados implicam na minimização dos impactos ambientais relacionados às emissões atmosféricas e dos impactos sociais relacionados aos colaboradores que atuam para a execução deste serviço.

A estrutura global da metodologia pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Metodologia geral do desenvolvimento da tese.



4 ARTIGOS

Com base nos objetivos específicos visando atender o objetivo principal, a tese foi dividida em 4 artigos, que foram desenvolvidos através de estudos realizados: 1 artigo de revisão, 1 artigo de pesquisa e 2 estudos de caso. Uma informação prévia será explicada sobre cada situação do artigo, e posteriormente cada artigo será apresentado.

6 REFERÊNCIAS

ABDALLAH, Mohamed et al. Artificial intelligence applications in solid waste management: A systematic research review. **Waste Management**, v. 109, p. 231-246, 2020.

ABRELPE (2021). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. São Paulo.

BABAE TIRKOLAE, Erfan et al. Developing an applied algorithm for multi-trip vehicle routing problem with time windows in urban waste collection: A case study. **Waste Management & Research**, v. 37, n. 1_suppl, p. 4-13, 2019.

BAGHERI, Mehdi et al. A comparative data mining approach for the prediction of energy recovery potential from various municipal solid waste. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 116, p. 109423, 2019.

CEYLAN, Zeynep. Estimation of municipal waste generation of Turkey using socio-economic indicators by Bayesian optimization tuned Gaussian process regression. **Waste Management & Research**, v. 38, n. 8, p. 840-850, 2020.

CEYLAN, Zeynep. Estimation of municipal waste generation of Turkey using socio-economic indicators by Bayesian optimization tuned Gaussian process regression. **Waste Management & Research**, v. 38, n. 8, p. 840-850, 2020.

DAI, Feng; NIE, Gui-hua; CHEN, Yi. The municipal solid waste generation distribution prediction system based on FIG-GA-SVR model. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 22, n. 5, p. 1352-1369, 2020.

DANTZIG, George B.; RAMSER, John H. The truck dispatching problem. **Management science**, v. 6, n. 1, p. 80-91, 1959.

DAS, Swapan; BHATTACHARYYA, Bidyut Kr. Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. **Waste Management**, v. 43, p. 9-18, 2015.

DI MARIA, Francesco; MICALÈ, Caterina; MORETTINI, Emanuela. Impact of the pre-collection phase at different intensities of source segregation of bio-waste: an Italian case study. **Waste management**, v. 53, p. 12-21, 2016.

DIAS, Janaina Lopes et al. Data mining and knowledge discovery in databases for urban solid waste management: A scientific literature review. **Waste Management & Research**, v. 39, n. 11, p. 1331-1340, 2021.

FAVA, Leandro Pinto et al. A Multi-Start Algorithm for Solving the Capacitated Vehicle Routing Problem with Two-Dimensional Loading Constraints. **Symmetry**, v. 13, n. 9, p. 1697, 2021.

FERNANDES, Vicente Aprigliano; D'AGOSTO, Márcio de Almeida; OLIVEIRA, Cíntia Machado de; ASSUMPÇÃO, Fabiana do Couto; DEVEZA, Ana Carolina Peixoto. Eco-driving: uma ferramenta para aprimorar a sustentabilidade do transporte de resíduos urbanos. **Transportes**, v. 23, n. 2, p. 5-13, 2015.

FERRÃO, Caroline Cipolatto; MORAES, Jorge André Ribas. Analysis of environmental risks and accidents at work in urban solid waste collection services. **Gestão e Produção**, v. 28, 2021.

HANNAN, M. A. et al. Capacitated vehicle-routing problem model for scheduled solid waste collection and route optimization using PSO algorithm. **Waste management**, v. 71, p. 31-41, 2018.

HOORNWEG, Daniel; BHADA-TATA, Perinaz. What a waste: a global review of solid waste management. 2012.

KINOBE, Joel R. et al. Optimization of waste collection and disposal in Kampala city. **Habitat International**, v. 49, p. 126-137, 2015.

KOLEKAR, K. A.; HAZRA, T.; CHAKRABARTY, S. N. Prediction of municipal solid waste generation for developing countries in temporal scale: A fuzzy inference system approach. **Global NEST Journal**, v. 19, p. 511-520, 2017.

KONTOKOSTA, Constantine E. et al. Using machine learning and small area estimation to predict building-level municipal solid waste generation in cities. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 70, p. 151-162, 2018.

NOWAKOWSKI, Tomasz J. et al. Spatiotemporal gene expression trajectories reveal developmental hierarchies of the human cortex. **Science**, v. 358, n. 6368, p. 1318-1323, 2017.

OLIVEIRA, Verónica; SOUSA, Vitor; DIAS-FERREIRA, Celia. Artificial neural network modelling of the amount of separately-collected household packaging waste. **Journal of cleaner production**, v. 210, p. 401-409, 2019.

PIRES, Ana et al. A case study of packaging waste collection systems in Portugal–Part II: Environmental and economic analysis. **Waste management**, v. 61, p. 108-116, 2017.

RIPA, M. et al. The relevance of site-specific data in Life Cycle Assessment (LCA). The case of the municipal solid waste management in the metropolitan city of Naples (Italy). **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 445-460, 2017.

SHARMA, Kapil Dev; JAIN, Siddharth. Overview of municipal solid waste generation, composition, and management in India. **Journal of Environmental Engineering**, v. 145, n. 3, p. 04018143, 2019.

SIVAK, Michael; SCHOETTLE, Brandon. Eco-driving: Strategic, tactical, and operational decisions of the driver that influence vehicle fuel economy. **Transport Policy**, v. 22, p. 96-99, 2012.

WU, Fan et al. New insights into regional differences of the predictions of municipal solid waste generation rates using artificial neural networks. **Waste management**, v. 107, p. 182-190, 2020.

YANG, Qing et al. Bayesian-based NIMBY crisis transformation path discovery for municipal solid waste incineration in China. **Sustainability**, v. 11, n. 8, p. 2364, 2019.

YAY, A. Suna Erses. Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya. **Journal of Cleaner Production**, v. 94, p. 284-293, 2015.