

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO PARA BOLSAS PIBIC E PIBITI

Identificação

Nome completo do aluno: João Paulo Tinoco Alvarenga.

Campus (do aluno): *Campus Campos Centro.*

Modalidade da bolsa: PIBITI.

Núcleo de Pesquisa: NPO.

Área/Linha de Pesquisa: Engenharia da Computação/Métodos Heurísticos.

Nome do orientador: Frederico Galaxe Paes.

Campus (do orientador): *Campus Campos Guarus.*

Título

Heurísticas para o Problema de Roteamento em Arcos Capacitados Mistos: Uma Aplicação ao Problema da Coleta do Lixo Urbano e Editor de Mapa.

Resumo

Em vista do estilo de vida adotado pela sociedade moderna e das decorrentes demandas sanitárias, principalmente em grandes centros urbanos, é necessária uma logística para o processo de coleta de resíduos. A fim de mitigar custos desse processo, este projeto foi criado e dirigido com o intuito de projetar uma abordagem de modelagem computacional para o roteamento de caminhões compactadores utilizando um modelo de Programação Linear Inteira Mista (PLIM) que emprega um grafo misto $G = (V, A \cup E)$, onde V representa o conjunto de vértices (cruzamentos), A representa o conjunto de arcos (vias de mão única) e E o conjunto de arestas (vias de mão dupla), o qual será usado para representar computacionalmente os setores de coleta. O problema tratado pode ser classificado como um Problema de Roteamento Generalizado em Grafos Mistos Capacitados (*Mixed Capacitated General Routing Problem – MCGRP*), cuja complexidade de solução via métodos exatos é classificado como NP-difícil. Diante disso, será empregado uma meta-heurística baseada em Algoritmo Genético conhecida como *Hybrid Genetic Algorithm* (HGA), que conta com estruturas de memória, programação dinâmica bidirecional, *lower bounds*, além de realizar quatro tipos diferentes de busca local nas soluções construídas no intuito de aprimorar ainda mais seus custos. A etapa atual do projeto tem por objetivo identificar as rotas a partir dos dados gerados como saída do algoritmo HGA utilizando o editor de mapa *Java OpenStreetMap* (JOSM).

Palavras-Chave: *Coleta de resíduos, heurística, algoritmo genético*

Introdução

A produção crescente de resíduos urbanos e a coleta regular em contrapartida formam um cenário de processos necessários em aglomerações urbanas. O caso se agrava em cidades muito populosas que não dispõem de locais adequados que suportem a demanda de coleta de resíduos sólidos gerados, tornando-se uma fonte de prejuízos ambientais e de transmissão de enfermidades (PAES, 2004).

Os gastos com gestão de resíduos sólidos estão entre 7% e 15% do orçamento

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO PARA BOLSAS PIBIC E PIBITI

das cidades, de acordo com Cunha e Caixeta Filho (2002), sendo que dentro dessa porcentagem, é estimado que quase a metade seja utilizada no recolhimento e transporte do lixo (IPT 1995). A coleta residual é um ponto de interesse econômico, social e sanitário, por isso e com o intuito de ajudar a desenvolver a área, o projeto foi criado com o intuito de melhorar o desempenho do serviço com a criação de um processo de produção de roteamento de rotas para caminhões compactadores utilizando meta heurísticas convenientes e interfaces homem-máquina necessárias para o processo de estruturação e produção de rotas de uma empresa.

No contexto abordado, o que foi definido é a saída até o retorno do caminhão compactador tripulado da sede da empresa, traçando todo o itinerário percorrido, conhecido como rota. Essa última é a soma de várias viagens que incluem a primeira saída da base até onde será coletado o lixo; a final do local de despejo, como aterro sanitário, aterro controlado ou lixão até a sede e as viagens que ocorrem entre as cidades, de ida e volta do local de coleta até o de despejo, no qual se descarrega o caminhão. Em função de toda demanda local e a quantidade limitada de caminhões disponíveis, em muitos casos é preciso utilizar todos os veículos, podendo cada caminhão realizar mais de duas viagens.

Para que o problema proposto possa ser tratado computacionalmente, as ruas e cruzamentos de uma determinada região geográfica devem ser convertidas em um grafo misto $G = (V, A \cup E)$, definido por um conjunto de vértices $V = \{1, 2, \dots, n\}$, um conjunto de arcos $A = \{(i, j) \subseteq V \times V\}$ e um conjunto de arestas $E = \{(i, j) \subseteq V \times V: i < j\}$. O vértice $1 \in V$ representa o depósito que contém m veículos (caminhões) idênticos de capacidade Q . Cada elemento de $A \cup E$ também pode ser chamado de *link*. Alguns subconjuntos de arcos e arestas denotados, respectivamente, por $A_R \subseteq A$ e $E_R \subseteq E$ são requeridos, isto é, eles devem ser servidos por um caminhão, mas qualquer *link* de $A \cup E$ pode ser atravessado, sem ser servido, quantas vezes for necessário (*deadheaded*) – idealmente deseja-se eliminar o tempo de *deadheading* de cada rota. Similarmente, um subconjunto $V_R \subseteq V$ de vértices requeridos devem ser servidos por um caminhão. *Links* e vértices requeridos não podem ser divididos. Cada *link* $(i, j) \in A \cup E$ tem um custo não negativo c_{ij} . Além disso, cada *link* $(i, j) \in A_R \cup E_R$ tem uma demanda não negativa d_{ij} e cada vértice $i \in V_R$ tem uma demanda não negativa q_i . No intuito de garantir viabilidade, assume-se que a demanda de cada *link* e vértice requerido não exceda Q .

Especificamente, o problema tratado é conhecido na literatura como Problema de Roteamento Generalizado em Grafos Mistos Capacitados (*Mixed Capacitated General Routing Problem* – MCGRP), isto é, o problema de encontrar um conjunto de rotas de caminhões em um grafo misto, tal que cada rota inicie e termine no depósito com cada vértice/arco/aresta servido por exatamente um caminhão, enquanto o total de demanda atendida por caminhão não exceda sua capacidade e o custo total das viagens é minimizado. Muitos problemas de roteamento são casos especiais do MCGRP, tais como o *Capacitated Arc Routing Problem* (CARP) e o GRP não capacitado definido em grafos direcionados, não direcionados e mistos.

O MCGRP é um problema classificado como NP-difícil e, devido ao tamanho das instâncias abordadas, aplicar métodos exatos se torna inviável. Segundo os autores Assad e Golden (1995) e Laporte *et al.* (1995), é possível resolver uma gama de problemas reais em várias áreas utilizando problemas de roteamento em arcos, como para realizar a leitura de medidores, organizar a varrição de ruas e distribuir correspondências. Assim, heurísticas e meta-heurísticas foram aplicadas a fim de resolver o MCGRP em um grafo misto, ao se considerar o impasse computacional citado.

Encontrar itinerários de frota de caminhões transportadores de lixo se torna uma atividade dinâmica, graças à iminente capacidade de mutação da rede viária de uma

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO PARA BOLSAS PIBIC E PIBITI

cidade, sendo essa de longa ou curta duração, podendo envolver apenas um congestionamento nas ruas. Baseado nisso, encontrar uma resposta computacional para solucionar essas variações efetivamente, também foi objetivo desse projeto. Uma característica relevante do *HGA* trata-se da velocidade de resposta principalmente para o caso particular de roteamento, elaborando soluções de boa eficiência em pouco tempo de processamento.

Portanto, foi utilizado o programa oriundo de instâncias presentes na literatura junto a uma instância real de bairros do município de Campos dos Goytacazes validando a metodologia abordada, com o objetivo de realizar de experimentos computacionais.

Objetivos

-Geral:

- Minimização de problemas na geração de instâncias.
- Condicionamento do algoritmo a uma fase de testes unitários.
- Disponibilização de código e documento descrevendo sua utilização.

-Específico(s):

- (a) Contornar problemas pontuais na geração de instâncias quando o recorte de mapa utilizado como base pra extração de dados possuir trechos de ruas que não se conectam a outros pontos.
- (b) Criar uma etapa adicional ao processo de extração de dados para a validação dos dados de entrada e saída da instância.
- (c) Disponibilizar código versionado com ferramenta Git.
- (d) Redigir documento de utilização de código e reprodução de execução.

METODOLOGIA

1. *OSMnx*

O *OSMnx* permite o *download* automatizado de mapas, com a capacidade de ser personalizado, e a retirada de conjuntos de dados de redes de rua diretamente da fonte de dados do *OpenStreetMap*, além de ter a capacidade de analisar as redes de rua, que inclui calcular possíveis rotas, projetar e visualizar redes, calculando assim métricas e medidas topológicas, não só as comuns em estudos de design urbano e transporte, mas também as medidas avançadas da estrutura e topologia da rede. Essas duas últimas habilidades dessa ferramenta foram essenciais para o desenvolvimento das atividades e para construir o grafo desejado.

2. NetworkX

Segundo Aric et. al (2008), NetworkX fornece estrutura de dados para grafos (ou redes) juntamente a algoritmos de grafo, geradores, e ferramentas de desenho. A estrutura do NetworkX pode ser vista pela organização de seu código-fonte. O pacote prove classes para objetos de grafo, geradores para criar grafos padrões, rotinas *I/O* (*input/output*) para leitura em conjuntos de dados existentes, algoritmos para analisar as redes resultantes e a algumas ferramentas básicas de desenho.

3. Algoritmos Genéticos (AG)

De acordo com Souza (2002), os Algoritmos Genéticos referem-se a uma meta-heurística que foi fundamentada analogamente com a teoria de evolução e seus

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO PARA BOLSAS PIBIC E PIBITI

processos naturais. Assim, segue-se a ideia de que em uma determinada população, têm mais probabilidade de sobreviver aqueles indivíduos que apresentarem as características genéticas mais aptas a seu hábitat e com isso, gera-se a reprodução apenas de indivíduos cada vez mais aptos, em detrimento daqueles que não se adaptaram.

Não foi utilizado um AG clássico, ao contrário, foi utilizado um AG sofisticado, chamado *Unified Hybrid Genetic Search* (UHGS), o qual conta com uma etapa de busca local em suas soluções, bem como uma técnica de gerenciamento da população conhecida como Diversidade Adaptativa (DA). A ideia principal da D.A. é evitar a convergência prematura da população, selecionando indivíduos menos aptos, porém que conservam algumas características importantes e podem ser recondicionados em uma nova fase de reprodução, a fim de diversificar os genes das futuras populações em tempos t diferentes.

A implementação da UHGS utilizada demandava uma determinada instância, com valores de dados necessários para a geração de rotas, tais como número de caminhões compactadores, capacidade de carga destes, demanda de lixo total para a área a ser coletada, e variados valores para identificação e mensuração de arcos e arestas, como o custo de travessia, custo de serviço (custo para um caminhão compactador atravessar um arco ou aresta, fazendo toda coleta), os quais foram capturados juntamente à biblioteca OSMnx.

Além destes, foram utilizadas informações adicionais. Segundo Carvalho (2001), para encontrar o número de domicílios na rua e quantidade total de resíduo sólido coletado, precisa do número médio de pessoas por domicílio, e para isso, baseado no IBGE (2017), encontrou-se a população e nº de domicílios total pelo censo de 2010 da cidade de Campos dos Goytacazes, e efetuou a divisão entre ambos. Além disso, precisou-se da quantidade de resíduos sólidos gerado por habitante por dia, para o qual se utilizou o SNIS (2017), para encontrar a quantidade total de lixo produzido em Campos dos Goytacazes anualmente, e a encontrou através de cálculos utilizando a população total da cidade.

Para a reunião de tais informações em uma única instância, foi desenvolvido um algoritmo utilizando a biblioteca utilitária OSMnx de modo a requisitar os dados supracitados de arestas e arcos. Os arcos e arestas foram indexados, tomando como referencial os nós de origem e destino.

Após, ao submeter à instância ao AG, foi devolvido uma solução contendo um caminho ordenado por nós, e utilizando funções dispostas na biblioteca NetworkX, que também é uma biblioteca de apoio ao OSMnx, foi usado como entrada a saída do UHGS, conseguindo exibir as rotas em um mapa gerado dinamicamente para cada caminhão compactador.

Diante dos objetivos específicos desta etapa do projeto, focou-se em minimizar os custos operacionais do algoritmo UHGS, que se deparou com uma execução inconclusiva e interminável, para circundar este dilema, criou-se uma função algorítmica para detecção de um grafo fortemente conexo, necessário para o completo funcionamento do UHGS, em caso contrário, seria preciso editar manualmente o mapa utilizando o JOSM de forma a tornar o mapa um grafo fortemente conexo.

Em decorrência da minimização de problemas na geração de instância, uma suíte de funções auxiliares e externas ao projeto foram criados para verificar a validade das informações passadas à função de detecção de grafo fortemente conexo, no intuito de verificar a consistência dos dados dispostos no mapa.

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO PARA BOLSAS PIBIC E PIBITI

Resultados e Discussão

Buscou-se dar maior seguridade ao processo de extração de dados do grafo e posterior montagem da instância, para que a geração de soluções seja determinística e não apresente falhas pontuais que podem se tornar imperceptíveis a medida que o conjunto de dados processados aumenta.

Também foram adicionadas etapas de mitigação de erros e teste unitário para suportá-lo, para comprovar veracidade dos dados interpostos durante a detecção do grafo fortemente conexo.

Foram adicionados todos os códigos concernentes ao projeto dentro de um repositório no GitHub em (<https://github.com/1jpaulo/roteamento-coleta-lixo>) pra posterior referência e continuidade do trabalho acadêmico vigente durante este projeto por parte da comunidade científica.

Conclusões

Mostrou-se válido utilizar metodologia empregada principalmente na área de engenharia de *software* para testar valores de entrada e saída no processo de detecção de grafo fortemente conexo, concorrente à geração de instância, já que é possível rastrear a geração de instância por meio de arquivos-registro produzidos com o intuito de validar e servir de confirmação da consistência dos dados.

Para mais informação sobre o projeto e mais clareza na utilização de seu código, será redigido um documento que estará contido no mesmo repositório do projeto com instruções e notas de cunho técnico voltada para o manuseamento do código.

Referências Bibliográficas

Aric A. Hagberg, Daniel A. Schult and Pieter J. Swart, "Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX", in Proceedings of the 7th Python in Science Conference (SciPy2008), G  el Varoquaux, Travis Vaught, and Jarrod Millman (Eds), (Pasadena, CA USA), pp. 11–15, **Aug 2008**

Assad, A. A., & Golden, B. L. (1995). Arc routing methods and applications. *Handbooks in operations research and management science*, 8, 375-483.

Cunha, V., Caixeta F.J.V. (2002) Gerenciamento da Coleta de Res  duos S  lidos Urbanos: Estrutura  o e Aplica  o de Modelo N  o-Linear de Programa  o por Metas, *Gest  o & Produ  o*, 9(2):143–161.

Eiselt, H. A., Gendreau, M., & Laporte, G. (1995). Arc routing problems, part I: The Chinese postman problem. *Operations Research*, 43(2), 231-242.

Carvalho, L.E.X. (2001). *Desenvolvimento de solu  o integrada de sistemas de limpeza urbana em ambiente SIG*. Rio de Janeiro, 340 p. Disserta  o (Mestrado em Engenharia) – Programa de P  s-Gradua  o e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estat  stica (2017). Diretoria de Pesquisas, Coordena  o de Popula  o e Indicadores Sociais – DPE/COPIS. Rio de Janeiro. <https://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?codmun=0&idtema=130>, acessado em: 13/11/2017.

IPT (1995). *Lixo Municipal: Manual de Desenvolvimento Integrado*. Relat  rio T  cnico, Instituto de Pesquisas Tecnol  gicas, S  o Paulo, SP.

Paes, F. G. (2004) *Otimiza  o de rotas para a coleta do lixo dom  stico: um tratamento GRASP do problema do carteiro chin  s misto (PCCM)*. Disserta  o

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO PARA BOLSAS PIBIC E PIBITI

(Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UENF, Campos de Goytacazes – RJ.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2014). Dados de Saneamento de 2013. <http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica/>, acessado em: 13/11/2017.

Atividades Complementares

- Realizaram-se visitas à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, nas quais foram apreendidas novas informações através do auxílio prestado pelo Prof. D.Sc. Carlos Leonardo Ramos Póvoa, Engenheiro Cartógrafo, sobre execução de novos softwares, entre outras indicações.
- Apresentação do projeto em:
 - V Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão (CONEPE 2018) – IFF Campus Campos Guarus.
 - X Congresso Fluminense de Iniciação Científica e Tecnológica – 15º Circuito de Iniciação Científica do IFFluminense, onde foi conferido menção honrosa na área de Engenharias.
 - III Feira do Conhecimento Científico Tecnológico e Cultural do Caparaó – IFF Campus Ibatiba.

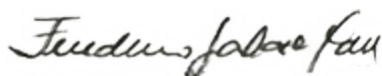
Agradecimentos

- Ao Prof. D.Sc. Carlos Leonardo Ramos Póvoa, pelo compartilhamento de conhecimento, esclarecimento de dúvidas e fornecimento de novas ideias.

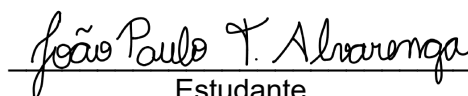
Considerações Finais

Mostrou-se pertinente a disponibilização de código e um *paper* indicando formas de utilizá-lo pra que exista mais adesão da comunidade científica e que para fins de documentação do projeto.

Campos dos Goytacazes, 31 de junho de 2020



Orientador(a) do Projeto



Estudante