

RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS COM ENTREGAS FRACIONADAS E JANELAS DE TEMPO POR MEIO DE UM ALGORITMO GENÉTICO COM CHAVES ALEATÓRIAS VICIADAS

Rafael de Melo Böeger¹; Omir Correia Alves Junior².

¹ Acadêmico do curso de Bacharelado em Ciência da Computação – CCT – Voluntário PIVIC – rafael.boeger@edu.udesc.br

² Orientador – Departamento de Ciência da Computação – CCT – omir.alves@udesc.br

O problema abordado

O Problema de Roteamento de Veículos (VRP – *Vehicle Routing Problem*) é um problema clássico de Otimização Combinatória. Ele modela o cenário no qual um conjunto de veículos iguais e de capacidade limitada está disponível para atender demandas de clientes. Os veículos devem sair de um mesmo depósito, visitar clientes e retornar ao ponto de partida ao fim da jornada. Cada cliente deve ser visitado uma e apenas uma vez e sua demanda deve ser integralmente satisfeita. Sempre existe um trajeto de ligação entre duas localidades (depósito ou cliente), ao qual está associada uma distância. O VRP consiste no problema de decidir as rotas que os veículos devem percorrer de modo que as restrições mencionadas sejam obedecidas e a distância percorrida pela frota seja a menor possível. (DANTZIG; RAMSER, 1959)

Alterações no ambiente do problema eventualmente levam à geração de variantes do VRP. Assim, a eliminação da restrição de visita única por cliente e a adição de janelas de tempo geram o Problema de Roteamento de Veículos com Entregas Fracionadas e Janelas de Tempo, (SDVRPTW – *Split Delivery VRP with Time Windows*).

No SDVRPTW os clientes podem ser atendidos de modo fracionado – isto é, são permitidas múltiplas visitas por cliente (DROR; TRUDEAU, 1989). Além disso toda localidade possui uma janela de tempo. Para um cliente, a janela de tempo define o período durante o qual os veículos que lhe visitam podem iniciar seus atendimentos. Veículos que chegam ao cliente antes da abertura da janela são obrigados a esperar até esse instante para iniciar sua prestação de serviço, enquanto que veículos que chegam após o fechamento da janela não podem atendê-lo de modo algum. Para o depósito, a janela de tempo define o intervalo durante o qual os veículos podem estar em serviço. Os veículos podem sair do depósito a partir do instante de abertura da janela e devem regressar até o instante de fechamento. Também são definidos o tempo de serviço de cada cliente (o tempo que um veículo deve permanecer parado num cliente para o atendimento da sua demanda) e o tempo de travessia do trajeto entre duas localidades (SOLOMON, 1987).

Métodos de resolução do VRP

Soluções ótimas para o VRP e suas variantes podem ser obtidas por meio de métodos exatos, porém tais métodos tendem a apresentar o inconveniente de demorar consideravelmente quando as instâncias do problema possuem muitos clientes. Nesse caso, uma alternativa são os métodos heurísticos e meta-heurísticos, os quais, embora não possam garantir a otimalidade das soluções encontradas, geralmente encontram soluções satisfatórias em tempos mais reduzidos e, por isso, também conseguem lidar com instâncias com maior quantidade de clientes.

O objetivo deste trabalho de Iniciação Científica é desenvolver um algoritmo para a resolução do SDVRPTW com o auxílio de um Algoritmo Genético de Chaves Aleatórias Viciadas (BRKGA – *Biased Random Key Genetic Algorithm*).

Algoritmos Genéticos são uma meta-heurística baseada em Genética e na Teoria da Evolução, de Darwin, para a resolução de problemas de otimização. Num algoritmo genético típico, as possíveis soluções do problema de otimização são convenientemente representadas em estruturas de dados, constituindo, assim, “cromossomos”. Cada iteração do algoritmo manipula uma população de cromossomos. Com exceção da primeira população, gerada por algum meio qualquer, as demais populações são geralmente produzidas a partir da atuação de operadores de seleção, recombinação e seleção sobre os membros da população predecessora.

O operador de seleção seleciona cromossomos para participar da recombinação e da mutação e efetua tal seleção de modo que cromossomos que representam melhores soluções para o problema sejam escolhidos mais frequentemente. O operador de recombinação combina partes de diferentes cromossomos para construir um cromossomo da futura geração. O operador de mutação realiza alterações aleatórias num cromossomo fornecido, produzindo um segundo, a fim de evitar que o algoritmo se estagne em regiões restritas do espaço de solução e assim se restrinja a uma busca local.

A solução do algoritmo está representada no cromossomo mais bem avaliado da última população do algoritmo. O critério de parada pode ser, por exemplo, a quantidade de iterações decorridas desde o início da execução (LINDEN, 2012).

O BRKGA introduz algumas novidades em relação ao algoritmo genético típico apresentado:

- A codificação das soluções em cromossomos se baseia em números aleatórios pertencentes a um determinado domínio (as “chave aleatórias”), em vez de números do próprio domínio do problema, e são empregadas funções de decodificação, que obtêm a solução representada por um cromossomo. Essas duas medidas em conjunto evitam que os cromossomos gerados pelo operador de recombinação sejam inviáveis devido a “problemas de má formação” (repetição ou ausência de algumas partes no cromossomo).
- A divisão das populações em duas partições, sendo uma a partição de elite, menor, que contém os melhores cromossomos da população corrente, e uma partição não elite, maior, que contém os cromossomos restantes. No BRKGA, a formação da população subsequente é baseada em elitismo (cópia da partição de elite para a população seguinte), e na ação dos operadores de seleção, recombinação e imigração. Quando invocado para escolher os participantes de uma recombinação, o operador de seleção sempre escolhe ao menos um dos participantes da partição de elite. O operador de imigração, que substitui o de mutação, simplesmente gera um novo cromossomo e o adiciona à população seguinte. O operador de recombinação no BRKGA é o de recombinação uniforme (GONÇALVES; RESENDE, [s. d.]).

Método proposto

A resolução do SDVRPTW implica decidir, para todo veículo, que fração da demanda de cada cliente deve ser entregue e em que instante. Neste trabalho, a primeira etapa do método proposto de resolução consiste em transformar a instância recebida do SDVRPTW numa instância artificial do VRPTW (VRP apenas com janelas de tempo, mas sem entregas fracionadas). Um conjunto de critérios seleciona alguns clientes da instância do SDVRPTW para que sejam representados por um conjunto de clientes na instância do VRPTW. Em seguida o

BRKGA resolve a instância artificial. Por fim, a solução encontrada para o VRPTW é transformada numa solução correspondente do SDVRPTW original.

Os critérios de seleção dos clientes para a geração do VRPTW artificial foram definidos de modo a evitar o pior caso do VRP. Este acontece quando todos os clientes têm demanda pouco superior a 50% da capacidade dos veículos e variabilidade das demandas é baixa. Nesse cenário, cada veículo pode atender apenas um cliente por vez e é obrigado a retornar ao depósito com boa parte de sua capacidade subutilizada. A possibilidade de realizar entregas fracionadas nessas circunstâncias permite reduções expressivas tanto na quantidade de veículos necessários para o atendimento dos clientes quanto na distância percorrida pela frota em virtude da otimização da capacidade dos veículos. Por outro lado, os benefícios das entregas fracionadas tendem a diminuir à medida que a variabilidade das demandas aumenta ou os valores de demanda passam a ser baixos ou próximos à capacidade dos veículos (ARCHETTI; SAVELSBERGH; SPERANZA, 2008). Por essas razões que, por exemplo, um dos critérios de seleção dos clientes do SDVRPTW que são representados por múltiplos clientes no VRPTW consiste em escolher aqueles cuja demanda está entre 50% e 75% da capacidade dos veículos.

Estágio de implementação do método

No momento de escrita deste documento o algoritmo proposto se encontra em desenvolvimento. As seguintes atividades podem ser elencadas como as principais realizadas durante o período da Iniciação Científica:

- A pesquisa bibliográfica sobre o SDVRPTW e o BRKGA, que fundamentou as descrições e os raciocínios apresentados até este ponto;
- O aprofundamento na linguagem C, escolhida para implementação do algoritmo, realizado por meio do livro “*The C programming language*”, de Brian Kernigham e Dennis Ritchie (KERNIGHAN; RITCHIE, 1988);
- O aprendizado da ferramenta Emacs (GNU PROJECT, 2021), um editor de texto que está servindo como parte ambiente de desenvolvimento do método proposto.
- A codificação parcial do método. Já foram implementadas algumas estruturas de dados básicas e os procedimentos de geração das instâncias que serão empregadas na avaliação dos resultados obtidos pelo método proposto. Tratam-se de instâncias modificadas das clássicas instâncias de (SOLOMON, 1987) para o VRPTW, que foram propostas e utilizadas no trabalho de (HO; HAUGLAND, 2004), o qual provavelmente será usado como base para comparação e avaliação dos resultados que serão gerados pelo método proposto.

Referências bibliográficas

- ARCHETTI, C.; SAVELSBERGH, M. W. P.; SPERANZA, M. G. To split or not to split: That is the question. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 44, n. 1, p. 114–123, 1 jan. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2006.04.003>.
- DANTZIG, G. B.; RAMSER, J. H. The Truck Dispatching Problem. **Management Science**, v. 6, n. 1, p. 80–91, 1 out. 1959. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>.
- DROR, M.; TRUDEAU, P. Savings by Split Delivery Routing. **Transportation Science**, v. 23, n. 2, p. 141–145, 1 maio 1989. <https://doi.org/10.1287/trsc.23.2.141>.
- GNU PROJECT. GNU Emacs. 2021. Disponível em: <https://www.gnu.org/software/emacs/>. Acesso em: 31 ago. 2021.
- GONÇALVES, J. F.; RESENDE, M. G. C. Random-key genetic algorithms. , p. 24, [s. d.] .
- HO, S. C.; HAUGLAND, D. A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and split deliveries. **Computers & Operations Research**, v. 31, n. 12, p. 1947–1964, 1 out. 2004. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(03\)00155-2](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(03)00155-2).
- KERNIGHAN, B. W.; RITCHIE, D. **The C Programming Language**. [S. l.]: Prentice Hall, 1988.
- LINDEN, R. **Algoritmos Genéticos**. 3. ed. [S. l.]: Ciência Moderna, 2012. v. 1, .
- SOLOMON, M. M. Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. **Operations Research**, v. 35, n. 2, p. 254–265, 1 abr. 1987. <https://doi.org/10.1287/opre.35.2.254>.

Palavras-chave: Otimização Combinatória, Problema de Roteamento de Veículos, Algoritmos Genéticos.