

Aplicação das técnicas de pesquisa operacional na otimização dos orientadores para fiscalização do sistema de estacionamento rotativo regulamentado

Eduardo Sato Mizubuti (UDESC) eduardomizubuti@gmail.com
Evandro Bittencourt (UDESC) dcb2eb@joinville.udesc.br
Valdésio Benevenuti (UDESC) dep2vb@joinville.udesc.br

Resumo:

O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo para obtenção da distribuição de setores do sistema de estacionamento rotativo regulamentado, de forma automática e eficiente, definindo melhor a divisão da área de abrangência de forma que minimize a distância a ser percorrida pelo fiscal balanceando o setor quanto ao número de vagas e taxa de ocupação. O estudo visa também a informatização da distribuição de setores através da aplicação de conceitos de Pesquisa Operacional na busca das melhores soluções possíveis para o problema. Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados dados referentes ao Município de São Bento do Sul – SC. Primeiramente foi realizada a coleta de dados necessários à execução do estudo seguido do cadastramento dos pontos médios de cada uma das quadras que compõem o sistema. Terminada esta fase, utilizou-se comparativamente os Algoritmos Genéticos e de Busca Tabu na definição das p-medianas e posteriormente a formação dos setores. Os melhores resultados foram obtidos com a heurística Busca Tabu para os exemplos considerados quando comparados com aqueles obtidos com a heurística Algoritmo Genético. Os tempos computacionais nas simulações foram adequados, inferiores a 10 minutos. A análise dos resultados permite concluir que a informatização proporciona melhoria considerável na gestão do sistema de estacionamento rotativo.

Palavras chave: Estacionamento rotativo, Otimização, Pesquisa Operacional.

Application of operational research on optimization of the positioning of advisors for surveillance system parking rotary regulated

Abstract

The objective of this work is to develop a model for obtaining the distribution system sectors parking lots regulated automatically and efficiently, better defining the division of the area covered so that minimizes the distance to be traveled by balancing the fiscal sector as the number of vacancies and occupancy. The study also aims to computerize the distribution of sectors by applying concepts of operational research in finding the best possible solutions to the problem. For the development, we used data for the city of São Bento do Sul - SC. We first carried out the collection of data necessary to perform the study followed by the registration of the midpoints of each of the blocks that make up the system. Once this stage was used compared with Genetic Algorithms and Tabu Search in the definition of p-median and later the formation of the sectors. The best results were obtained with Tabu Search heuristic for the examples considered when compared with those obtained with the heuristic genetic algorithm. Computational times in the simulations were adequate, less than 10 minutes. The analysis shows that computerization provides considerable improvement in the management system parking lots.

Key-words: Rotary Parking, Optimization, Operations Research

1. Introdução

Desde a abertura de mercado na década de 90, a frota de veículos no país vem crescendo rapidamente por várias razões, seja por incentivo do governo, aumento do poder aquisitivo por parte da população ou pela deficiência do transporte público.

Com esse crescimento, em muitos municípios fez-se necessário a implantação de sistemas de estacionamento rotativo regulamentado. O sistema consiste em determinar uma área de abrangência, geralmente a região central do município e suas adjacências, onde esta é dividida por um determinado número de setores que são agrupamentos de um ou mais trechos de vias ou quadras. Cada um dos setores é fiscalizado por um orientador que o percorre verificando se cada um dos veículos estacionados está de forma regular. Caso não esteja, um Aviso de Irregularidade é emitido ao mesmo. O sistema visa a rotatividade dos veículos estacionados em vias públicas dentro de um determinado intervalo de tempo para garantir que todos tenham a oportunidade de estacionarem seus veículos. Para que isso ocorra de fato é necessário que fiscalização seja eficiente.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo para obtenção da distribuição de setores de forma automática e eficiente, definindo melhor a divisão da área de abrangência de forma que os recursos sejam alocados de forma otimizada, minimizando a diferença com relação à carga média de trabalho dos fiscais, gerando uma maior eficiência do sistema.

Atualmente a definição do número de setores, bem como o número de orientadores necessários é feita de forma totalmente empírica, intuitiva, sem qualquer auxílio de métodos de otimização. A cada alteração, para adição ou subtração de trechos, praticamente um novo mapa é confeccionado para se tentar um novo balanceamento no estilo “tentativa e erro”. Deste modo pode haver margem para ocorrência de discrepância entre setores quanto ao número de vagas, distância percorrida pelo orientador ou taxa de ocupação acarretando setores ociosos ou sobrecarregados, diminuindo a eficiência da fiscalização o que justifica a aplicação do estudo. Verificou-se então a necessidade de uma resposta técnica e científica e a oportunidade do uso de métodos de pesquisa operacional na otimização do serviço.

2. Fundamentação teórica

2.1 Pesquisa Operacional

A Pesquisa Operacional (PO) é uma metodologia que fornece subsídios para análise e tomada de decisão utilizando-se de métodos matemáticos e estatísticos que visam à obtenção de uma solução ótima.

Para Silva et al. (2009), PO é basicamente um método científico de tomada de decisões que consiste na descrição de um sistema organizado auxiliado por um modelo onde através da experimentação do mesmo busca-se descobrir a melhor maneira de operar o sistema.

A utilização de um modelo é uma característica importante, pois permite que a decisão a ser tomada seja avaliada e testada antes de ser efetivamente implementada.

O método basicamente aborda um problema na forma de um modelo matemático de otimização que simulará a realidade para encontrar uma solução ótima que será posteriormente implantada em um sistema ou situação real.

2.2 Modelos de otimização e heurísticas

Modelos de otimização são modelos matemáticos em que as grandezas são representadas por

variáveis de decisão e suas relações por expressões matemáticas necessitando de informações quantificáveis. São também os mais utilizados na modelagem de situações gerenciais.

Goldbarg e Luna (2005) afirmam que um modelo é uma interpretação de um sistema formal criado axiomáticamente e que não é igual a realidade, mas suficientemente similar para que as soluções obtidas possam ser estendidas à ela.

O modelo de otimização seleciona apenas uma solução a qual será considerada ótima de acordo com os critérios previamente estabelecidos e será tomada como referência para a decisão real.

Dentro do universo de classificações para problemas de otimização, algumas levam a métodos exatos e eficientes enquanto outras levam a métodos não-exatos (heurísticas) devido ao tempo de processamento exagerado na obtenção de uma solução exata.

Em pesquisa operacional heurística refere-se a um método de busca de soluções onde o sucesso não é garantido e a busca terminará quando um ponto suficientemente bom for encontrado.

Segundo Pidd (2001), os métodos heurísticos fornecem estratégias que possibilitam que a busca resulte em uma solução que seja ótima global ou pelo menos ótimo local. Primeiro, deve-se definir a função objetivo que irá conduzir diretamente as escolhas e ações possíveis para a resolução do problema. Segundo, é desejável que a partir de uma solução possamos chegar a qualquer outra.

As heurísticas tiveram início a partir de problemas ou situações específicos. Mais tarde foram desenvolvidas abordagens de caráter geral conhecidas como meta-heurísticas.

As meta-heurísticas se divide em dois grupos: busca local e busca populacional. Na local procura-se melhorar uma solução inicial através de movimentos sendo a Busca Tabu (BT) um exemplo desse tipo. Já na populacional busca-se melhorar um grupo de soluções a partir de combinações de partes das mesmas, sendo os Algoritmos Genéticos um exemplo desse tipo (GOMES, 2009).

2.3 Busca tabu

Antes de definir o conceito do método, é importante definir o que se entende por vizinhança e movimento. A vizinhança é o que restringe à região de busca a cada iteração. Enquanto uma região pequena resulta em pesquisas rápidas com chances de levar a resultados insatisfatórios, uma grande resulta em pesquisas mais lentas, porém com grandes chances de levar a resultados próximos do ótimo global. O mecanismo que leva de uma solução a outra é denominado movimento.

Goldbarg e Luna (2005) definem a BT como uma meta-heurística de busca local que evita análise de pontos já visitados dentro da vizinhança através do uso de estratégias de manipulação de memória tornando o processo de busca mais inteligente.

2.4 Algoritmos genéticos

O desenvolvimento dos Algoritmos Genéticos (AG) teve seu início quando pesquisadores buscaram a utilização de computadores com intuito de simular sistemas biológicos, que seriam os primeiros trabalhos relacionados com algoritmos genéticos. A partir de então, surgiram técnicas de solução de problemas baseados na Computação Evolutiva (CE) sendo os AG's a mais famosa delas.

Konzen et al. (2002) definem o AG como uma técnica de busca aleatória direcionada baseada no processo de evolução natural das espécies, capaz de obter a solução ótima global num espaço de busca complexo multidimensional.

A ideia por trás do AG's é fazer o que a natureza faz. Seu princípio básico de funcionamento é criar uma população de possíveis soluções para o problema tratado para depois submetê-la ao processo de evolução simulada onde a cada geração os indivíduos relativamente bons reproduzem enquanto que os indivíduos relativamente ruins morrem.

O primeiro passo do método é gerar uma população inicial que será o espaço de busca do algoritmo.

Assim que é gerada a população inicial o próximo passo é a seleção onde os melhores indivíduos serão selecionados através da função de aptidão, ou função fitness.

Pacheco (1999) afirma que o processo de seleção privilegia os indivíduos mais aptos com maior longevidade e, portanto com maior probabilidade de reprodução. Capri (2005), completa que a nesta etapa os indivíduos com melhor adaptação terão maior probabilidade de serem selecionados para reproduzir e repassar suas características a uma nova geração de indivíduos.

Após a seleção dos melhores indivíduos, a próxima etapa é a aplicação dos operadores genéticos. Existem basicamente dois tipos de operadores genéticos: os operadores de cruzamento e os de mutação sendo que o primeiro é considerado predominante.

Lucas (2002) afirma que, através de operadores de cruzamento, os indivíduos são recombinados onde partes dos genes dos pais serão combinadas para geração de filhos. Adicionalmente aos operadores de cruzamento, conforme Soares (1997), a mutação é necessária para a introdução de novas características e a manutenção da diversidade do material genético. Terminada a etapa de cruzamento e mutação, o AG volta à etapa de avaliação da população e o ciclo recomeça.

Como parâmetro de um AG pode-se citar: o tamanho da população que define o número de pontos do espaço de busca considerado em paralelo a cada ciclo; a taxa de cruzamento que é a probabilidade de um indivíduo ser recombinado com outro; a taxa de mutação que é a probabilidade do conteúdo do indivíduo ser alterado e número de gerações: corresponde ao total de ciclos de evolução, ou iterações.

3. Metodologia

O estudo foi dividido em três fases. Primeiramente foi realizado um levantamento de quais informações seriam necessárias para o desenvolvimento do presente estudo. Assim que foram determinadas quais delas eram relevantes, a Empresa onde o estudo se desenvolveu cedeu todos os dados necessários através de conversas e troca de e-mails.

Em posse dos dados, iniciou-se a fase de cadastramento dos pontos médios de cada trecho de via dentro da área de abrangência. Para isso foi utilizado um mapa em formato digital do Município cedido pela Secretaria de Planejamento e Urbanismo do Município de São Bento do Sul e o processo realizado e auxiliado pelo software AutoCad da AutoDesk. Foram cadastrados 35 pontos situados no ponto médio de cada trecho significando que o mesmo deve ser fiscalizado por inteiro. Cada um dos pontos foi classificado de acordo com a taxa de ocupação do trecho: baixa (0-30%), média (31-60%) e alta (61-100%). Os setores serão compostos por um ou mais destes pontos, sendo que cada setor será fiscalizado por apenas um orientador.

Uma vez que os dados foram coletados e os pontos médios cadastrados, iniciou-se a construção dos algoritmos BT e AG para a definição das p-medianas e designação de quais pontos comporão os setores. Os algoritmos foram implementados em linguagem Visual Basic utilizando o software Excel da Microsoft. Como a distribuição atual está em 12 setores, a ideia é encontrar o mesmo número de medianas dentre os 35 pontos cadastrados. Os

algoritmos foram testados dentro de uma faixa de um número de iterações, tamanho de população (no caso dos AG's) e tempo computacional razoável, sendo que para os melhores valores serão realizadas cinco simulações para cada proposta. O melhor resultado alcançado em cada algoritmo será escolhido para comparação final entre cada um.

4. Resultados e discussão

A empresa estudada atua na área de engenharia de sistemas viários, com ênfase em assessoria, consultoria e planejamento.

O estudo foi realizado utilizando dados do estacionamento rotativo regulamentado da filial de São Bento do Sul-SC. O sistema, chamado de Rotativo São Bento, iniciou suas atividades no dia 2 de Janeiro de 2006 e quando da realização da pesquisa contava com 23 funcionários sendo 17 deles orientadores. São 35 trechos de vias agrupadas em 12 setores totalizando 717 vagas totais divididas entre vagas normais, motos, idosos, deficientes físicos, carga e descarga e escola. Cada setor é fiscalizado por um orientador, sendo que o restante trabalha para cobrir horários de almoço e lanche e também caso algum funcionário falte ao serviço.

A distribuição visa dividir a área de abrangência do sistema de estacionamento rotativo em várias partes de maneira mais uniforme possível considerando a distância a ser percorrida pelo orientador, a taxa de ocupação e número de vagas. A uniformidade dos setores é necessária para que os fiscais não fiquem ociosos ou sobrecarregados, o que tornaria a fiscalização ineficiente e, finalmente, ocasionando em falta de rotatividade de veículos.

4.1 Levantamento de dados

Para o estudo foram considerados três taxas de ocupação: 30% para baixa, 60% para média e 100% para alta ocupação das vagas de um trecho. Entende-se por taxa de ocupação o tempo médio em que as vagas de um trecho são ocupadas considerando o número de horas disponíveis dentro do horário de funcionamento do sistema. A capacidade de um trecho é a multiplicação do número de vagas pela taxa de ocupação.

4.2 Cadastramento dos pontos médios

Na fase de cadastramento dos pontos médios, com o auxílio do software AutoCad da AutoDesk, cadastrou-se 35 pontos que demarcam os trechos cobertos pelo sistema. Apesar de cada ponto ser cadastrado exatamente na metade da quadra, o trecho inteiro deve ser fiscalizado.

A partir do cadastramento dos pontos médios obtiveram-se as coordenadas geográficas referentes a cada um deles e alcançaram-se todas as informações necessárias para a alimentação do protótipo.

Finalizada a fase de cadastramento de pontos médios, inicia-se a construção dos algoritmos para a próxima etapa do estudo, a definição das p-medianas e formação dos setores.

4.3 Definição das p-medianas e formação dos setores

Para esta última fase, o estudo propõe quatro métodos para a definição das p-medianas e formação dos setores. O primeiro e o segundo utilizam Algoritmos Genéticos enquanto que o terceiro e quarto utilizam a Busca Tabu. O que difere cada um deles é o método de implantação.

As propostas 1 (AG-a) e 3 (BT-a) são realizadas em duas etapas. Inicialmente, a partir de uma solução aleatória, definem-se as medianas e formam os setores com base unicamente na variável distância e partindo então desta solução os algoritmos buscam otimizá-la considerando o número de vagas e taxa de ocupação dos setores minimizando a soma das diferenças entre as capacidades dos setores com a capacidade média. Essa diferença de

capacidades, medida em número de vagas, será a soma da diferença absoluta entre a capacidade média e a capacidade de cada um dos setores. O valor da distância, medido em metros, será a soma das distâncias de cada mediana aos trechos a ela designados, se houverem.

Para a primeira etapa, que é a de minimização da distância, o algoritmo visa designar os pontos à mediana mais próxima. Considerando que são 35 pontos, 12 deles serão escolhidos como mediana i ($i = 1, 2, 3, \dots, 12$) e os 23 restantes serão trechos j ($j = 1, 2, 3, \dots, 23$). A distância do trecho j para mediana i é representada por c_{ij} . Deste modo:

$$\text{Min. } Z = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{23} c_{ij} \cdot x_{ij} \quad 1$$

sujeito a:

$$\sum_{i=1}^{12} x_{ij} = 1 \quad (j = 1, 2, 3, \dots, 23) \quad 2$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o trecho } j \text{ é escolhido para a mediana } i; \\ 0, & \text{se não.} \end{cases} \quad 3$$

A função objetivo (1) visa garantir que os todos os pontos sejam designados às medianas minimizando a distância entre eles enquanto que a restrição (2) limita que cada um dos pontos seja designado a apenas uma mediana. A restrição (3) indica que as variáveis são binárias.

Na etapa seguinte, onde a partir da solução prévia, busca-se a uniformização da capacidade de cada um dos trechos incluindo aqueles designados como medianas. Determina-se a capacidade média de cada mediana através da somatória da multiplicação do número de vagas de cada trecho pela sua taxa de ocupação seguida da divisão pelo número de setores. Assim temos que:

$$C_i = \left(\sum_{i=1}^{35} v_i \cdot t_i \right) \div 12$$

onde:

C_i = capacidade média de cada mediana;

v_i = número de vagas do trecho i ;

t_i = taxa de ocupação do trecho i .

As propostas 2 (AG-b) e 4 (BT-b), por sua vez, não são divididas em etapas e realizam o processamento de uma vez. Em ambas as medianas são definidas e os setores formados considerando simultaneamente a variável distância e capacidade de cada trecho tornando os algoritmos complexos e de tempo computacional mais elevado.

São 23 trechos com a_j unidades (capacidade do trecho) para serem designadas no trecho j e 12 medianas com b_i unidades (capacidade média das medianas) disponíveis. O custo de transporte de uma unidade do trecho j para uma mediana i é dado por c_{ij} . Assim:

$$\begin{aligned} \text{Min. } Z &= \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{23} c_{ij} \cdot x_{ij} && 4 \\ \text{Sujeito a: } \sum_{i=1}^{12} x_{ij} &= 1 \quad (j = 1, 2, 3, \dots, 23) && 5 \\ \sum_{j=1}^{23} a_j \cdot x_{ij} &\leq b_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, 12) && 6 \\ x_{ij} &= \begin{cases} 1, & \text{se o trecho } j \text{ for designado para a mediana } i; \\ 0, & \text{se não.} \end{cases} && 7 \end{aligned}$$

A função objetivo (4) minimiza a distância na designação dos 23 trechos às 12 medianas. As restrições (5) e (6) limitam a designação de um trecho à apenas uma mediana e indicam a capacidade média que não pode ser violada. As restrições (7) indicam que as variáveis são binárias.

4.4 Proposta 1 – resultados do algoritmo genético em 2 etapas (AG-a)

Para o estudo desenvolveu-se dois algoritmos genéticos. Para ambos foi utilizado o operador de cruzamento chamado *Order Crossover* (OX) enquanto que para o operador de mutação, o de troca simples. Como critério de parada do algoritmo foi usado o número máximo de iterações.

Neste caso, testes foram realizados para a determinação do número máximo de iterações, número de indivíduos da população e taxa de mutação. Durante os mesmos, as iterações variaram entre 250, 375 e 500 enquanto que o tamanho da população variou entre 50, 75 e 100 indivíduos e a mutação fixada em 2%. Ao comparar os resultados fixaram-se os valores de 375 e 50 para iterações e indivíduos respectivamente, pois ofereceram os melhores resultados em um tempo computacional aceitável. A Tabela 1 mostra o melhor resultado das simulações onde o valor de distância é dado em metros, a diferença de capacidade em número de vagas e o tempo em segundos.

Medianas Encontradas	Valor de Distância (m)	Diferença de capacidade (vagas)	Tempo Computacional (s)
1, 4, 8, 11, 13, 16, 18, 19, 22, 29, 32, 35	2215	136	27

Tabela 1 – Melhor resultado das simulações obtidos pelo algoritmo AG-a

Enquanto as outras soluções oscilaram muito entre um alto valor de distância e baixa diferença de capacidades e vice-versa, a solução escolhida manteve a média em ambos os quesitos e balanceou de um modo melhor a capacidade das medianas.

4.5 Proposta 2 – resultados do algoritmo genético (AG-b)

Neste caso o algoritmo faz a designação dos setores em uma etapa apenas, considerando distância e capacidade ao mesmo tempo tornando o processo mais complexo e demorado que o proposto pela Proposta 1. Pode-se notar na Tabela 2 uma diferença no tempo computacional quando comparado com a Tabela 1.

Após testes foram fixados os valores de 50, 50 e 2%, para número de iterações, tamanho da população e taxa de mutação respectivamente.

Medianas Encontradas	Valor de Distância (m)	Diferença de capacidade (vagas)	Tempo Computacional (s)
2, 4, 8, 11, 13, 16, 19, 23, 24, 25, 29, 35	2152	137	498

Tabela 2 - Melhor resultado das simulações obtidos pelo algoritmo AG-b

Dentre as simulações a que atingiu os melhores resultados conseguiu equilibrar o valor de distância e diferença de capacidade dentro da média das soluções uniformizando as capacidades das medianas de uma forma melhor que nas encontradas nas demais. Na Figura 1 pode-se observar a evolução da otimização a cada iteração.

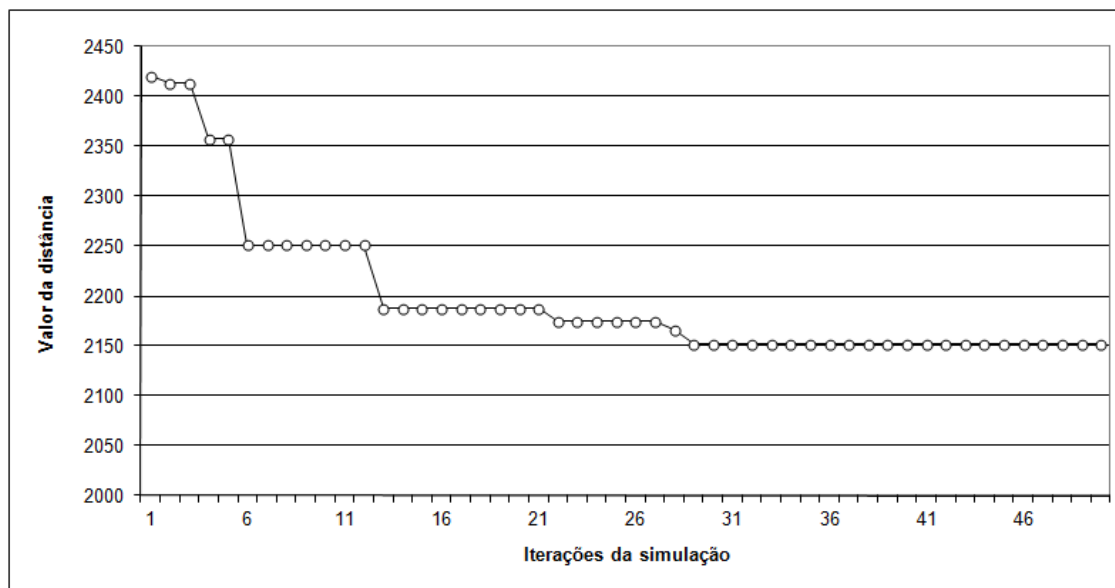


Figura 1 - Resultados da otimização de AG-b a cada iteração

Realizadas as simulações com os algoritmos genéticos, passa-se para as simulações com os algoritmos de busca tabu.

4.6 Proposta 3 – resultados do algoritmo de busca tabu em 2 etapas (BT-a)

Para a Busca Tabu, assim como feito com os AG's, novamente desenvolveu-se dois algoritmos. Para ambos não foi utilizado nenhum critério de aspiração e teve o número máximo de iterações utilizado como critério de parada.

Neste caso, durante os testes realizados o número de iterações variou de 250, 375 e 500 onde os melhores resultados foram alcançados quando fixado as iterações em 250. A Tabela 3 mostra o melhor resultado das simulações e os trechos designados como medianas.

Medianas Encontradas	Valor de Distância (m)	Diferença de capacidade (vagas)	Tempo Computacional (s)
1, 4, 8, 11, 13, 16, 19, 22, 24, 29, 32, 35	2303	140	17

Tabela 3 – Melhor resultado das simulações obtidos pelo algoritmo BT-a

A solução escolhida alcançou resultados satisfatórios pela sua uniformidade.

4.7 Proposta 4 – resultados do algoritmo de busca tabu (BT-b)

Para os testes conduzidos foram três valores para o número de iterações, 10, 30 e 50 sendo que, em geral, os melhores resultados foram alcançados com o último valor. Devido a complexidade do algoritmo o tempo computacional apresentados na Tabela 4 é maior que o apresentado pelo algoritmo BT-a (Tabela 3).

Medianas Encontradas	Valor de Distância (m)	Diferença de capacidade (vagas)	Tempo Computacional (s)
2, 6, 7, 13, 17, 20, 23, 24, 25, 28, 29, 35	2339	82	171

Tabela 4 – Melhor resultado das simulações obtidos pelo algoritmo BT-b

A Figura 3 apresenta o andamento dos resultados durante a otimização do BT-b.

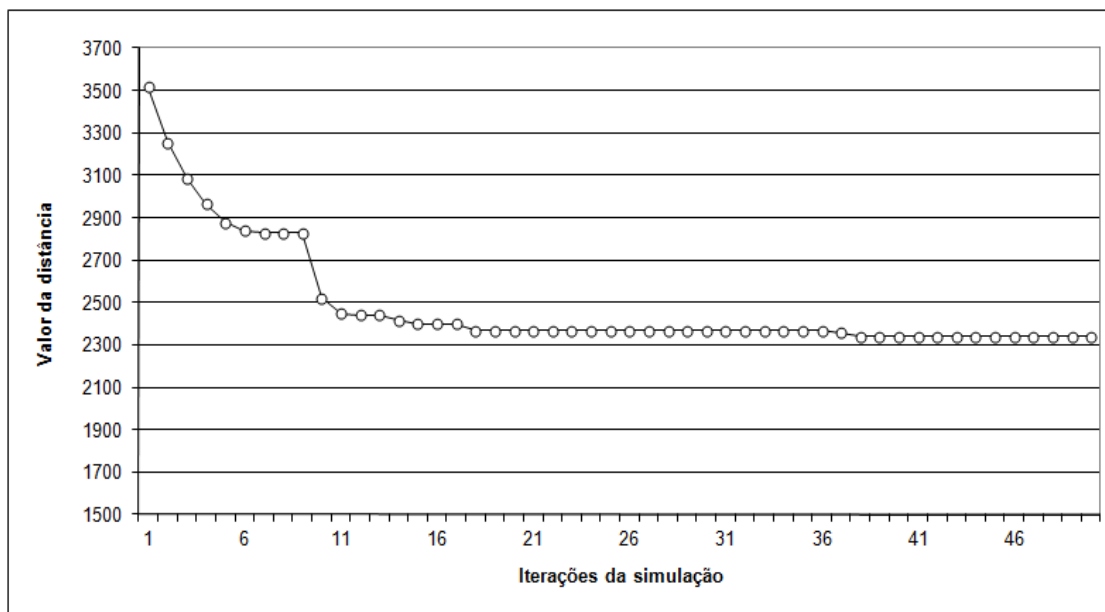


Figura 3 - Resultado da otimização do BT-b a cada iteração

Ao finalizar a etapa de realização das simulações dos algoritmos e com os resultados em mãos, passa-se para a próxima fase, a fase de análise dos resultados.

4.8 Análise dos resultados

Para efeito de comparação, colheram-se os melhores resultados de cada uma das propostas assim como os parâmetros escolhidos e utilizados neles e preencheu-se a Tabela 5.

Proposta	Algoritmo	Valor de Distância (m)	Diferença de capacidade (vagas)	Tempo Computacional (s)
1	AG-a	2215	136	27
2	AG-b	2152	137	498
3	BT-a	2303	140	17
4	BT-b	2339	82	171

Tabela 5 - Comparação das melhores simulações de cada proposta

No geral percebe-se uma variação não muito grande entre as soluções se comparadas ao valor

de distância alcançado por cada uma das propostas. O mesmo acontece para as diferenças de capacidades, exceto pelo resultado atingido pela proposta 4, a do algoritmo BT-b. Para o tempo computacional, os algoritmos 2 e 4 resultaram em tempos bem acima dos demais devido sua complexidade maior, mesmo utilizando um número significativamente menor de iterações.

As propostas 1 e 3 obtiveram bons resultados em um ótimo tempo computacional se comparada as demais soluções, porém, apesar de resultarem em uma diferença de capacidade mediana, a real distribuição de setores oscilou demasiadamente chegando a uma diferença de 60 vagas. A proposta 2 apresentou resultados satisfatórios de valor de distância e diferença de capacidade, porém pecou no tempo computacional, muito elevado se comparado com o resto das algoritmos. Por fim, a proposta 4 resultou no maior valor de distância da comparação, porém pouco acima dos demais, e em um tempo computacional considerados relativamente alto. Por outro lado compensou com a menor diferença de capacidade, bem abaixo se comparado com as outras soluções, e principalmente melhor uniformização dos setores sendo então esta solução escolhida como a melhor.

5. Considerações finais

A frota de veículos cresce em ritmo descontrolado no país causando caos e transtorno para a população. Como resultado tem-se percebido uma adoção cada vez maior de sistemas de estacionamento rotativo regulamentado por parte dos municípios brasileiros. O sistema visa à rotatividade dos veículos estacionados em espaço público garantindo assim que todos tenham oportunidade de estacionar seus veículos. Porém, para que a rotatividade funcione efetivamente, é necessário que a fiscalização seja eficiente.

Atualmente os orientadores seguem um mapa de fiscalização, cada um deles é designado a um setor que deve ser fiscalizado. Este mapa é confeccionado com base na experiência e “tentativa e erro”, ou seja, de forma totalmente empírica e tudo isso pode acarretar em orientadores ociosos ou sobrecarregados. Deste modo, este trabalho teve como objetivo geral desenvolver um modelo para obtenção da distribuição de setores utilizados na operação de sistemas de estacionamento rotativo regulamentado de forma automática e eficiente, definindo melhor a divisão da área de abrangência de forma que os recursos sejam alocados de forma otimizada, minimizando a diferença com relação a carga média de trabalho dos fiscais, gerando uma maior eficiência do sistema a partir de métodos heurísticos.

A utilização de métodos heurísticos na resolução dos mais variados problemas de otimização, geralmente problemas de maior complexidade, têm sido bastante estudada e se justifica pela sua eficiência. Enquanto os métodos exatos sempre buscam uma solução ótima e dependendo da complexidade do problema podem se tornar inviáveis devido ao esforço e tempo computacional elevado não sendo suficientemente recompensados pelos resultados, as heurísticas são conhecidas pela sua capacidade de conseguir boas soluções dentro de um tempo de processamento aceitável, porém sem garantir sua otimalidade. Como muitos desses problemas não necessitam de uma solução ótima, mas sim uma suficientemente boa para os parâmetros definidos dos mesmos, as heurísticas se tornaram uma alternativa aos métodos exatos.

Para o trabalho foi desenvolvido um protótipo para distribuição utilizando a linguagem Visual Basic do aplicativo Excel e permite que a distribuição seja realizada de forma automática, reduzindo o tempo gasto no desenvolvimento dos mapas, a necessidade de pessoas com experiência e conseqüentemente os custos inerentes a estas etapas.

No exemplo utilizado, foram determinados doze setores dentro da área de abrangência do sistema de estacionamento rotativo regulamentado através de quatro propostas de algoritmos.

Em cada uma das propostas foram realizadas cinco simulações onde a melhor de cada foi selecionada para comparação final.

Os resultados foram considerados satisfatórios visto que o protótipo gerou em poucos minutos os mapas de distribuição de setores com a distância geral minimizada e capacidades balanceadas, algo que tomaria um tempo muito maior se realizado manualmente. Vale ressaltar que o tempo computacional relativamente longo, se comparado a algoritmos similares escritos em linguagem C, por exemplo, é consequência da linguagem Visual Basic utilizada no protótipo.

Referências

CAPRI, M. A. V. *Otimização no Serviço do Estacionamento Rotativo Regulamentado Utilizando Técnicas da Pesquisa Operacional*. Dissertação (Mestrado). Curitiba: UFPR, 2005.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. *Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

GOMES, H. R. N. *Busca Aplicada ao Problema de Sintonia de Controladores PID*; Dissertação (Graduação); Ouro Preto: UFOP, 2009.

KONZEN, P. H. A.; FURTADO, J. C.; CARVALHO, C. W. et al. *Otimização de Métodos de Controle de Qualidade de Fármacos Usando Algoritmo Genético e Busca Tabu*. Santa Cruz do Sul. 2002.

LUCAS, D. C. *Algoritmos Genéticos: Uma Introdução*. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

PACHECO, M. A. C. *Algoritmos Genéticos: Princípios e Aplicações*. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 1999.

PIDD, M.; *Modelagem Empresarial: Ferramentas para Tomada de Decisão*. Porto Alegre: Bookman, 2001.

SILVA, E. M.; GONÇALVES, V.; MUROLO, A. C. *Pesquisa Operacional: Programação Linear*. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOARES, G. L. *Algoritmos Genéticos: Estudo, Novas Técnicas e Aplicações*. Belo Horizonte: UFMG, 1997.