

# ALGORITMO GENÉTICO MULTI OBJETIVO APLICADO À OTIMIZAÇÃO DE ITINERÁRIO E SEGURANÇA NAS ROTAS DE TRANSPORTE

MARIANA T. SEBASTIANI<sup>1</sup>, ROBERSON A. OLIVEIRA<sup>2</sup>, DIOGO S. DE LUCENA<sup>3</sup>, ALBINO MILESKI JR.<sup>4</sup>

1. *Departamento de Engenharia de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC/CTC/DAS/PPGEAS – Sala 14 – Caixa Postal 476 – 88040-900 – Florianópolis - SC*  
E-mail: : [marianasebastiani@globocom](mailto:marianasebastiani@globocom)

2. *Advanced Technology & Research, Volvo Group Trucks Technology LAm*  
*Volvo Veículos do Brasil – Av. Juscelino K. De Oliveira, 2600 – 81.260-900 – Curitiba – PR*  
E-mail: [roberson.oliveira@volvo.com](mailto:roberson.oliveira@volvo.com)

3. *Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, UFPR – Setor de Tecnologia/PPGEE - Caixa Postal 19011 – 81531-970 – Curitiba - PR*  
E-mail: : [diogo.lucena90@gmail.com](mailto:diogo.lucena90@gmail.com)

4. *Produtronics, Pontifícia Universidade Católica do Paraná*  
*PUCPR/CCET – Rua Imaculada Conceição, 1155 – 80215-901 – Curitiba - PR*  
E-mail: [albino.junior@pucpr.br](mailto:albino.junior@pucpr.br)

**Abstract**— The routing problem is very common in logistics companies and during the last few years has been discussed in literature. In order to overcome this problem and find the most appropriate route for transportation, different methods have been proposed and evaluated. This work uses a genetic evolutionary algorithm with multi-objective approach, which optimizes two objectives: the total distance of the route and the road safety. To determine the second objective, a safety factor, is defined in this work, and was created in order to ensure the safety of both driver and load. Thus, this method does not only contribute to the logistics network, but also to the intelligent transportation systems aiming to improve planning, traffic safety and mobility.

**Keywords**— Intelligent transportation system, genetic algorithm, multiobjective approach, safety factor.

**Resumo**— O problema de roteirização é bastante comum nas empresas de logística e durante os últimos anos tem sido discutido na literatura. A fim de contornar este problema e encontrar a mais apropriada rota de transporte, diferentes métodos tem sido propostos e avaliados. Este trabalho utiliza um algoritmo evolutivo genético com uma abordagem multiobjetivo, tendo-se dois objetivos a serem otimizados: a distância total do trajeto e a segurança da estrada. Para se determinar esse último objetivo, um coeficiente de segurança, é definido neste trabalho, e foi criado para garantir a segurança tanto do motorista quanto da carga transportada. Desta forma, este método não irá apenas contribuir para a rede de logística, mas também nos sistemas inteligentes de transporte, que visam melhorar o planejamento, segurança e mobilidade no trânsito.

**Palavras-chave**— Sistemas inteligente de transporte, algoritmo genético, abordagem multiobjetivo, coeficiente de segurança.

## 1 Introdução

Qualquer serviço de infraestrutura, planejamento e métodos de controle que otimizem o carregamento e traslado, ao mesmo tempo que aumentem a segurança nos transportes, é considerado um sistema inteligente de transporte (ITS, do inglês *intelligent transportation systems*). Segundo Shaheen e Finson (2004), esses sistemas são tecnologias que têm como alvo melhorar a segurança e mobilidade do trânsito e intensificar a produtividade através de redes de comunicação e outras informações avançadas.

De acordo com Herbert e Mili (2008), essas técnicas ajudam a otimizar viagens, diminuindo as distâncias a serem percorridas, aumentando a segurança, reduzindo tempo gasto em congestionamentos, reduzindo consumo de combustível e melhorando a qualidade do ar.

Os problemas relacionados com rotas de veículos são bastante conhecidos, tanto por empresas que prestam serviços de transporte como também na

literatura, como em: Kaufman e Smith (1993); e Chang, Ahn, Ramakrishnal (2002).

Muitos métodos são propostos para encontrar a menor distância entre os pontos de entrega, entretanto pouco é visto sobre a segurança dos motoristas e das cargas. Sabe-se que estradas com muitas descidas e subidas ou curvas muito fechadas aumentam bastante a chance de acidentes, principalmente quando se considera veículos de transporte de grande porte, como caminhões.

Sabendo da necessidade de novas tecnologias para os transportes e tendo em vista que um gerenciamento logístico é essencial quando se trata de transporte, este artigo apresenta um método de otimização para tratar este tema.

De acordo com Chunyu e Yujian (1998), como selecionar a melhor rota de transporte, garantindo segurança e chegando-se ao destino rápido é um problema importante para o departamento de decisões. A decisão da melhor rota de transporte é buscada neste trabalho e devido a grande complexidade e multiplicidade de fatores envolvidos

a sugestão é utilizar um algoritmo evolutivo multiobjetivo para otimizar o processo.

Para tanto, um coeficiente de segurança (CS) - índice que irá julgar o quão segura uma rota é - será definido neste trabalho, junto com a implementação e aplicação de um algoritmo evolutivo genético com abordagem multiobjetivo. Com isso, uma alternativa para sistemas inteligentes de transporte será proposta, em que o motorista será provido de um plano de assistência que levará em conta a distância total do trajeto e, também a segurança das estradas.

## 2 Definição do problema de otimização

A figura 1 apresenta um exemplo de um problema que poderá ser solucionado através deste trabalho.

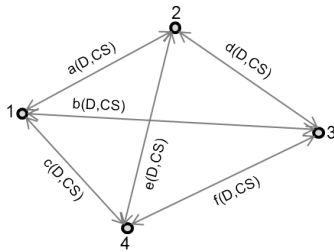


Figura 1. Exemplo de rota

O objetivo aqui é descobrir, partindo do ponto 1, qual a melhor rota para se passar por todos os pontos de entrega (2, 3, 4) e retornar ao ponto inicial. Para isso, é necessário, primeiramente, trafegar por os diversos trechos desta rota (a, b, c, d, e, f), fazendo a aquisição das coordenadas geográficas - latitude, longitude e altitude - com um GPS receptor. Após adquirir esses dados, serão calculados os atributos das rotas, como curvas, subidas e descidas e também classificar cada um deles em níveis com relação a sua dificuldade, por exemplo, subida muito íngreme, nível máximo.

As próximas etapas são o cálculo da distância entre os trechos e o cálculo do coeficiente de segurança. Estes índices entrarão como objetivos a serem otimizados no algoritmo evolutivo. Ao final, o usuário terá acesso aos melhores caminhos a serem seguidos, passando por todos os pontos desejados, assim como a distância total a ser percorrida e o coeficiente de segurança do trecho.

### 2.1 Cálculo da distância

O cálculo das distâncias é realizado automaticamente no decorrer da aquisição dos dados do GPS. Já na segunda iteração do algoritmo é possível calcular a distância entre dois pontos (o da primeira e da segunda iteração). Esta distância é calculada utilizando as coordenadas geográficas dos pontos, de acordo com as equações (1) à (6).

$$\Delta long = long(1) - long(2) \quad (1)$$

$$p_1 = (sen(lat(1) * d2r)) * (sen(lat(2) * d2r)) \quad (2)$$

$$p_2 = (cos(lat(1) * d2r)) * (cos * lat(2) * d2r) \quad (3)$$

$$p_3 = (cos(\Delta long * d2r)) \quad (4)$$

$$aux = p_1 + p_2 * p_3 \quad (5)$$

$$dist = acos(aux) * r2d \quad (6)$$

em que:

*long* é longitude do ponto indicado;

*lat* é a latitude do ponto indicado;

*d2r* é o valor que converte graus para radianos ( $d2r = 0.01745329$ );

*r2d* é o valor que converte radianos para graus ( $r2d = 57.2957795$ );

*dist* é a distância entre os pontos 1 e 2.

### 2.2 Coeficiente de segurança

Para o cálculo do coeficiente de segurança, primeiramente é preciso obter todos os atributos da estrada. O primeiro atributo são as curvas do trecho, em que três pontos consecutivos foram um triângulo e assim, encontra-se o círculo que circunscreve este triângulo. A curvatura do trecho é o inverso do raio (R) deste círculo. Na figura 2 é demonstrado este procedimento e o raio pode ser calculado através das equações (7) e (8).

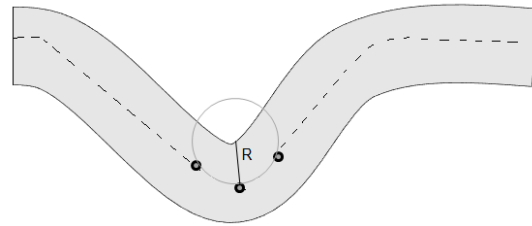


Figura 2. Cálculo da curvatura

$$R = \frac{abc}{\sqrt{2a^2b^2 + 2b^2c^2 + 2c^2a^2 - a^4 - b^4 - c^4}} \quad (7)$$

$$C = \frac{1}{R} \quad (8)$$

em que:

*a* é a distância entre o ponto 1 e 2;

*b* é a distância entre o ponto 1 e 3;

*c* é a distância entre o ponto 2 e 3;

*C* é a curvatura do trecho.

Para calcular a inclinação do trecho, tanto subida quanto descida, são utilizados apenas dois pontos consecutivos. A figura 3 e a equação (9) melhor descrevem este procedimento.

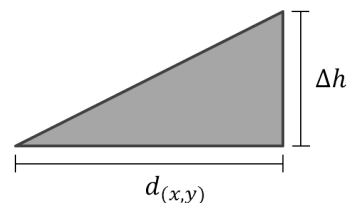


Figura 3. Cálculo da inclinação

$$I = \frac{\Delta h}{d_{x,y}} \quad (9)$$

em que:

$\Delta h$  é a diferença entre a altitude do ponto 1 e 2;  
 $d_{x,y}$  é a distância no plano cartesiano xy entre o ponto 1 e 2;  
 $I$  é a inclinação do trecho (inclinação positiva = subida; inclinação negativa = descida).

Tendo-se os atributos, o próximo passo é a determinação do coeficiente de segurança. Para tal, foram propostas algumas hipóteses para atingir este valor. Foi determinado que esse coeficiente receberia valores inteiros de 0 a 10, desta forma é possível saber de imediato se trata-se de uma rota segura ou não, sendo 0 perigosa e 10 segura.

Os atributos calculados anteriormente receberão, empiricamente, níveis de dificuldade para classificá-los. A figura 4 apresenta o modo de classificação das inclinações. Dessa forma, acima de 30 graus é classificado com nível 1, entre 20 e 30 graus, nível 2, e assim por diante. Ângulos positivos referem-se às subidas e negativos às descidas. Os valores das inclinações são a tangente do ângulo correspondente.

Ângulo	Nível	Inclinação
30°	Nível 1	0,35
20°	Nível 3	0,23
5°	Nível 4	0,06
-5°	Nível 5	-0,06
-10°	Nível 4	-0,23
-30°	Nível 2	-0,35
	Nível 0	

Figura 4. Modo de classificação das inclinações

Para cada um dos seis níveis apresentados acima, definiram-se pesos de acordo com suas dificuldades (tabela 1). Ficou estabelecido que as descidas serão classificadas como sendo mais perigosas do que as subidas, portanto foi atribuído um grau maior de dificuldade.

Tabela 1. Níveis e classificação das inclinações

Nível	Classificação	Peso
Nível 5	Reta	10
Nível 4	Descida ou subida leve	9,5
Nível 3	Subida média	8,5
Nível 2	Descida médio	6,5
Nível 1	Subida forte	3,5
Nível 0	Descida forte	0

Para o outro atributo, as curvas, dividiu-se em quatro níveis (tabela 2) selecionados através da definição da figura 5. Nesse sentido, curvas com curvatura maiores que 0,1 recebem nível 0, com curvaturas entre 0,05 e 0,1 recebem nível 1 e assim por diante.

Tabela 2. Níveis e classificação das curvas

Nível	Classificação	Peso
Nível 3	Reta	10
Nível 2	Curva leve	8
Nível 1	Curva média	5
Nível 0	Curva forte	0

Curvatura	Nível
0,1	Nível 0
0,05	Nível 1
0,005	Nível 2
	Nível 3

Figura 5. Modo de classificação das curvas

Entretanto, percebeu-se que o fato de se ter uma curva ao mesmo tempo de uma subida ou descida, aumentava-se muito a dificuldade do trecho. Por este motivo, foi criado mais um índice que será levado em conta quando este caso ocorrer. Os seus pesos são calculados pela multiplicação do peso do nível da inclinação pelo peso do nível da curva. Para chegar-se a fórmula do coeficiente de segurança de um determinado ponto, foi feita uma média ponderada dos três itens (apenas curvas, apenas inclinações e os dois atributos ao mesmo tempo), e a mesma é apresentada na equação (10).

$$CS(i) = 0.3 * P_I + 0.3 * P_C + 0.4 * P_I * P_C \quad (10)$$

em que:

$CS(i)$  é o coeficiente de segurança do ponto  $i$ ;

$P_I$  é o peso das inclinações;

$P_C$  é o peso das curvas.

O coeficiente de segurança final do trecho (CS) é a média de todos pontos, como apresentado na equação (11), em que  $n$  é o número total de pontos.

$$CS = \frac{\sum_{k=1}^n CS(k)}{n} \quad (11)$$

### 3 Algoritmo multiobjetivo proposto

Tendo-se as distâncias e os coeficientes de segurança, segue-se para a implementação do algoritmo genético multiobjetivo. Para este, foi utilizado como modelo o NSGA-II (DEB et al., 2000), com pequenas modificações para se encaixar melhor ao escopo deste trabalho. A figura 6 apresenta o fluxograma do algoritmo.

Ao chegar na etapa do cruzamento, percebeu-se que o modelo NSGA-II poderia não ser adequado para este problema. Em alguns casos, quando dois indivíduos se cruzavam, seus filhos poderiam trazer elementos repetidos em si (figura 7), o que não seria permitido para a solução deste problema.

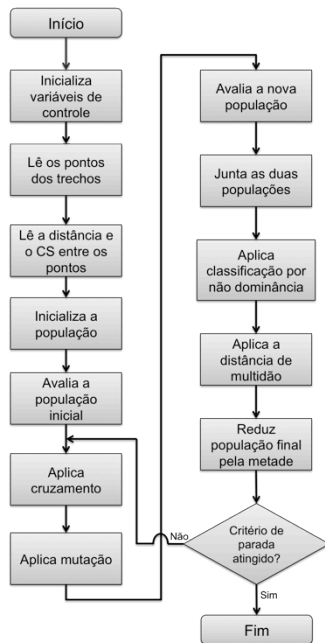


Figura 6. Fluxograma do algoritmo

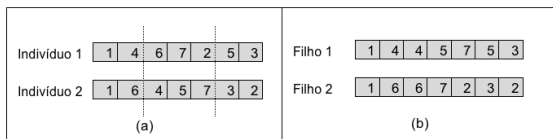


Figura 7. Cruzamento fase 1

Portanto, foi necessário corrigi-los e para isso foi criado uma tabela de correção, figura 8 (a), em que procura-se o valor repetido (b) e substitui-o pelo correspondente na tabela. Com isso chega-se ao final do cruzamento de dois trechos, com dois pais – que serão eliminados – e dois filhos, que fazem parte da nova população (figura 9).

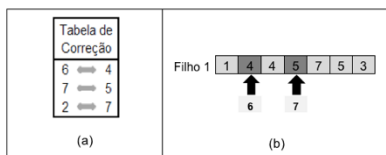


Figura 8. Cruzamento fase 2

Filho 1 1 6 4 2 7 5 3

Filho 2 1 4 6 5 7 3 2

Figura 9. Cruzamento fase 3

Todo a metodologia seguida na execução deste trabalho, pode ser melhor entendida através do fluxo da figura 10. Na margem direita da figura são apresentadas as duas ferramentas utilizadas.

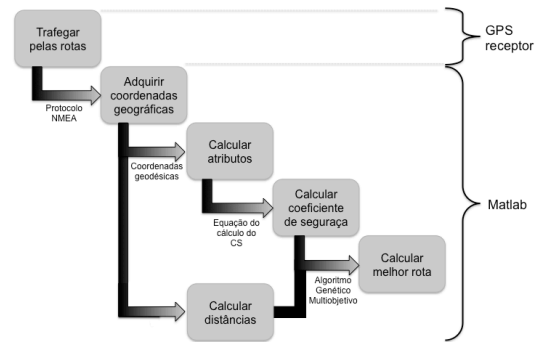


Figura 10. Fluxo de solução de rotas

## 4 Resultados e Discussões

Após os estudos e implementação do algoritmo, este foi aplicado ao problema apresentado. O programa foi executado 10 vezes para confirmar as respostas. Com população de tamanho 50, probabilidade de mutação de 10%, probabilidade de cruzamento de 90% e 1000 iterações, chegou-se ao melhor resultado. As iterações são apresentadas na figura 11, em que se pode observar a evolução do algoritmo no decorrer das iterações. Conforme esta evolução ocorre, valores de menores distâncias e maiores coeficientes de segurança são obtidos.

Uma vez que o coeficiente de segurança, objetivo que deseja-se maximizar, só pode assumir valores inteiros, é possível notar que os indivíduos ficam distribuídos em diferentes camadas, cada uma representando um diferente coeficiente de segurança.

A figura 12 mostra o melhor resultado para a otimização da distância para um exemplo com 25 pontos de entrega, sendo a distância 27.03 unidades de medida e um coeficiente de segurança de 5.

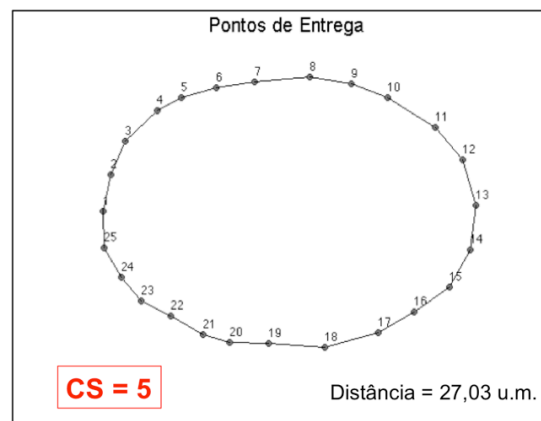


Figura 12. Rota ótima para minimizar a distância

É notável que o caminho encontrado é o mais curto para os pontos de entrega do problema utilizado. Entretanto, a segurança deste caminho é relativamente baixa, o que significa que o caminho é percorrido com uma menor distância, porém abrindo mão da tranquilidade e preservação do motorista e da carga em questão. Tal rota seria aconselhável para cargas com produtos de menor valor e necessidade de entrega imediata.

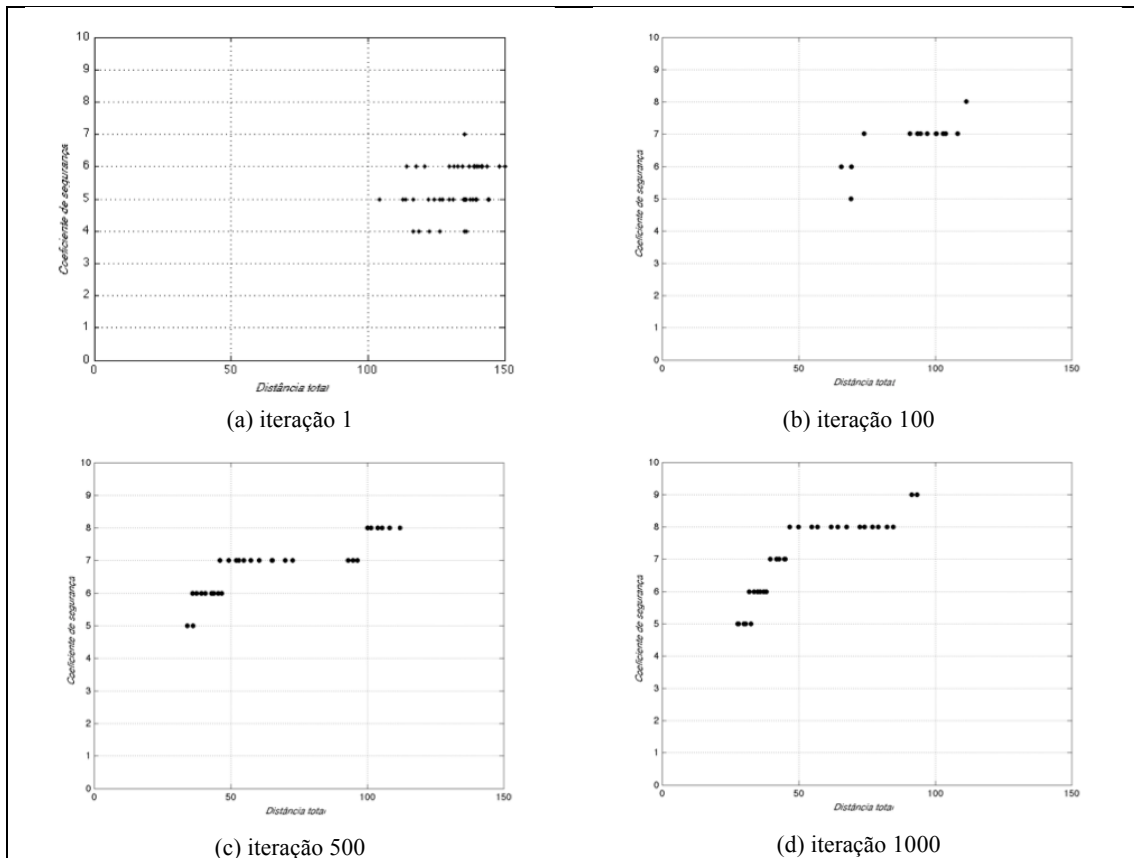


Figura 11. Evolução do algoritmo evolutivo através das iterações

A figura 13 apresenta a melhor resposta do mesmo exemplo, para caso necessite priorizar a segurança, em que a distância total percorrida será de 89.55 unidades de medida, valor maior do que o apresentado na rota anterior, porém com um coeficiente de segurança de 9.

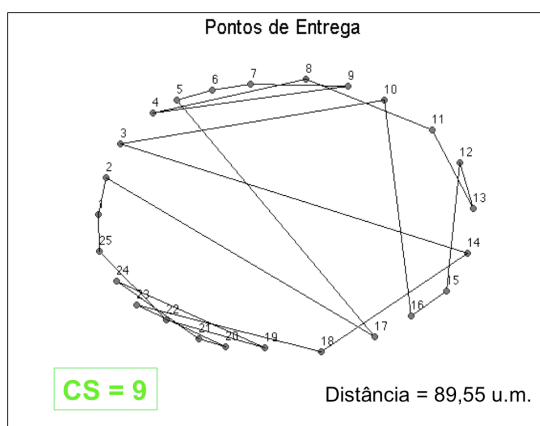


Figura 11. Rota ótima para maximizar a segurança

Neste caso, ao contrário da rota apresentada anteriormente, a distância total é elevada e os caminhos percorridos podem não parecer os mais lógicos que um motorista normalmente escolheria. Entretanto, com essa escolha assegura-se que as chances de acidentes do motorista e da carga serão reduzidas, sendo dessa forma, aconselhada para os casos em que os produtos carregados são de maior valor ou importância e sua entrega permite um prazo mais flexível.

Além dessas duas rotas apresentadas, pode-se escolher também uma rota intermediária com a relação à distância e a segurança. Dessa forma, o usuário terá acesso as várias rotas ótimas e fica a seu critério a escolha daquela que mais satisfaça suas necessidades para determinada situação.

## 5 Conclusão

Este trabalho propôs a utilização de um algoritmo genético multiobjetivo para o problema de roteirização. A proposta de um coeficiente de segurança da estrada tornou-se um objetivo importante do artigo, já que foi usado como uma das funções objetivos do algoritmo, junto com a distância total do trecho.

O algoritmo proposto mostrou-se eficiente para a solução do problema de roteirização, em que foi capaz de encontrar tanto soluções de caminho ótimo como rotas de coeficiente de segurança elevado. O algoritmo também dá diversas opções de soluções intermediárias, com diferentes coeficientes de segurança e distâncias totais, deixando para o usuário a possibilidade de escolher aquele que melhor se adapta a suas necessidades.

Propõem-se também alguns trabalhos futuros que darão sequência e ampliarão a área de abrangência deste projeto, sempre buscando reduzir custos com transportes e aumentando as pesquisas e desenvolvimento em sistemas inteligentes de transporte.

Uma primeira proposta seria adicionar um índice com dados extras ao cálculo do coeficiente de segurança, tais como: o peso do veículo e da carga, o histórico de acidentes nos trechos, trânsito em tempo real, etc. E ainda, com relação ao algoritmo genético multiobjetivo, poderiam ser adicionados outros objetivos, tais como: consumo de combustível, tempo total do percurso, entre outros – aumentando a complexidade do trabalho para um problema com muitos objetivos.

### **Referências Bibliográficas**

- Chang W.; Ahn M.; Ramakrishnal R. S. (2002). A genetic algorithm for shortest path routing problem and the sizing of populations. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions*, v.01, n.2, p. 566-579.
- Chunyu L.; Yuijan W. (1998). Discussion of transportation safety information resources and emergency system of hazardous material. *China safety science journal, Xangai*, v.08, n.1, p.7-11.
- Deb, K.; Agrawal, S.; Pratab, A.; Meyarivan, T. (2000). A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II. *Indian Institute of Technology, Kanpur*.
- Herbert, W., Mili, F. (2008). Route guidance: state of the art vs. state of the practice. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions*, Eindhoven, p.1167-1174.
- Kaufman, D. E.; Smith, R. L. (1993). Fastest path in time-dependent networks for intelligent vehicle-highway systems application. *IVHS Journal*, v.11.
- Shaheen, S. A., Finson, R. (2004). Intelligent transportation systems. *Elsevier Encyclopedia of Energy*, v.3, n.1, p.487-496.