

# METODOLOGIA PARA ROTEIRIZAÇÃO DO TRANSPORTE ESCOLAR RURAL

Alan Ricardo da Silva<sup>1</sup>

Giovanna Megumi Ishida Tedesco<sup>2</sup>

Yaeko Yamashita<sup>3</sup>

Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes – CEFTRU

Sérgio Ronaldo Granemann<sup>4</sup>

Programa de Pós-Graduação em Transportes – Universidade de Brasília

## RESUMO

O transporte escolar rural ainda é um tema pouco discutido em trabalhos científicos. Em recente estudo feito pelo FNDE, de caracterização do transporte escolar rural brasileiro, verificou-se alunos que passam até 4 horas dentro do veículo. Uma consequência disso é o cansaço e o desestímulo, o que possivelmente contribuiu para altos índices de repetência e evasão escolar. Assim, o objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia para roteirização do transporte escolar rural, considerando a redução dos tempos de viagem dos alunos. Para validação desta metodologia, foi feito um estudo de caso no Município Santana do Araguaia/PA.

## ABSTRACT

The rural school transportation is a subject still little argued in academic works. Recent studies made by FNDE about the characterization of Brazilian rural school transportation, it was verified that there are students that stay until 4 hours inside of a vehicle. A consequence of that is the fatigue and the unstimulation, witch possible contributes to high indices of repetitious and school evasion. Thus, the objective of this work is the development of a methodology for routerization of rural school transportation, considering the reduction of students travel times. To validation of the methodology, it was made a study of case in *Santana do Araguaia/PA*, Brazil.

## 1. INTRODUÇÃO

Apesar de ser um serviço de responsabilidade do Estado e de estar presente em mais de 80% dos municípios brasileiros (FNDE, 2007a), o Transporte Escolar Rural (TER) ainda é um tema pouco discutido em trabalhos científicos, no Brasil. O estudo feito pelo extinto GEIPOT – Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (GEIPOT, 1999 e 1999a), discute com profundidade aspectos relevantes do transporte escolar rural no país. Depois desse estudo, foram realizadas algumas outras pesquisas abordando a quantidade de alunos transportados, o custo do serviço e as características da frota dos veículos utilizados nesse tipo de transporte.

Segundo estudo feito pelo FNDE (2007c), em 16 municípios brasileiros, visando à caracterização do transporte escolar, verificou-se que o tempo médio de permanência do aluno no veículo era de 30 minutos. Aparentemente não se trata de um tempo muito elevado. Entretanto, por se tratar de uma média, existem municípios (e linhas) que apresentam tempos muito elevados, como é o caso de Santana do Araguaia, no Estado do Pará, que apresentou um tempo médio de 68 minutos e o tempo máximo de 239 minutos (FNDE, 2007b).

Diante do exposto, presume-se que a média não é um bom indicador para a formulação de políticas públicas para o transporte escolar rural, pois a quantidade de alunos cujo tempo de permanência está muito acima da média, possivelmente contribui com os elevados índices de evasão escolar em todo país (FNDE, 2007d). Tal fato acaba por não proporcionar a mesma chance de acesso à escola a todos os estudantes, contrariando a Constituição Federal que, em seu art. 205 afirma: “*A educação, direito de todos e dever do Estado e da família, será promovida e incentivada com a colaboração da sociedade, visando ao pleno desenvolvimento da pessoa, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho*”.

O objetivo deste trabalho é o de desenvolver uma metodologia de roteirização para o transporte escolar rural que possa contribuir para a redução dos tempos de permanência dos

alunos nos veículos de transporte escolar. Para alcançar o objetivo enunciado, o trabalho foi assim dividido: a seção 2 apresenta uma breve discussão sobre o transporte escolar rural. Na seção 3 é explicado o método de roteirização proposto por Clarke e Wright (1964). Na seção 4 é apresentada a metodologia proposta, bem como seu detalhamento, e, na seção 5, é feito um estudo de caso para validá-la. Por fim, a seção 6 sintetiza as principais conclusões do trabalho.

## **2. TRANSPORTE ESCOLAR RURAL**

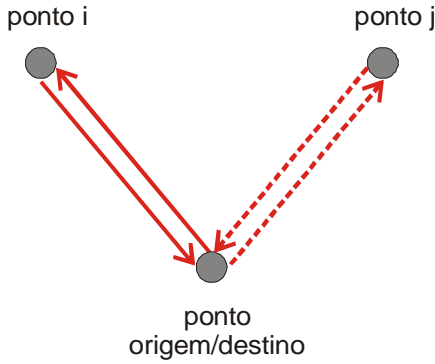
O problema de roteirização do transporte escolar foi estudado por Steiner *et al.* (2000) em um estudo de caso do transporte escolar urbano na cidade de Curitiba. Seu objetivo era o de fornecer às empresas transportadoras e às escolas uma solução otimizada, que minimizasse, além da quilometragem percorrida pela frota de ônibus, o número de veículos, considerando suas capacidades e as particularidades do problema. Concluiu-se que, com a otimização matemática a quilometragem total percorrida pela frota de ônibus foi diminuída, o que gerou, conseqüentemente, uma economia de combustível e uma redução nos gastos com manutenção dos veículos, além da redução do tempo de permanência dos alunos nos veículos.

O método proposto por Steiner *et al.* (2000) mostrou-se bastante adequado para a aplicação no transporte escolar urbano, no qual as distâncias percorridas são pequenas e existe uma maior capilaridade na rede viária, com diversas possibilidades de trajetos. No entanto, a problemática no ambiente rural é um pouco diferente, pois a restrição mais importante passa a ser o tempo de permanência do aluno no veículo, visto que tempos muito elevados desestimulam os alunos a se deslocarem até a escola, podendo, assim, contribuir para a repetência e a evasão escolar. Outra conseqüência importante é a redução da convivência familiar, já que os alunos passam muito tempo deslocando-se entre a residência e a escola.

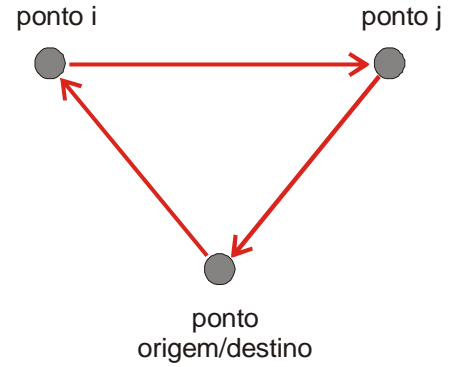
Os trajetos, no caso rural, são mais longos que no caso urbano e, na maioria das vezes, únicos, ou seja, o motorista possui poucas alternativas de caminhos para chegar até o aluno. Por esse motivo, justifica-se a proposição de uma metodologia específica, que procure, além de diminuir o tempo de permanência do aluno no veículo, definir uma rota ótima, como também é apresentado em Sanches (2006). Vale ressaltar que existem alunos cuja localização da residência ultrapassa o “tempo considerado ideal” para o seu deslocamento até a escola. Por isso, o tempo de permanência do aluno considerado nesta metodologia é o tempo em que o aluno permanece no veículo enquanto este se desloca para o embarque de outros alunos.

## **3. O MÉTODO DE ROTEIRIZAÇÃO DE CLARKE E WRIGHT**

Diversos autores desenvolveram trabalhos pioneiros envolvendo o problema da roteirização de veículos em diferentes aplicações e com modelos distintos (ver Bodin *et al.*, 1983; Edmonds e Johnson, 1973; Gillet e Miller, 1974; Golden e Assad, 1986; Laporte *et al.*, 1985, entre outros). Mais recentemente, foi desenvolvida literatura abundante sobre o assunto a partir desses trabalhos. Outro método pioneiro e tradicional é o de Clarke e Wright (1964), sendo este o método utilizado como referência para este trabalho. A heurística das economias de Clarke e Wright foi desenvolvida e aplicada para resolver o problema clássico de roteamento de veículos. Baseia-se no ganho de distâncias que pode ser obtido ao atender dois pontos de forma sucessiva num roteiro (Figura 2), ou seja, sem retornar ao ponto inicial, se comparados ao atendimento destes pontos individualmente (Figura 1). A metodologia de Clarke e Wright considera que os pontos de origem e de destino do veículo são coincidentes, ou seja, o veículo parte de um ponto inicial e retorna a ele após completar o ciclo.



**Figura 1:** Atendimento independente.



**Figura 2:** Atendimento sucessivo.

O método das economias inicia-se com a adoção da pior solução possível para resolver o problema de roteirização. A pior solução é considerada aquela na qual cada cliente é atendido por um veículo, em rotas independentes entre o depósito (ponto inicial) e cada cliente. Assim, o percurso total ( $L$ ) para realizar esse tipo de serviço é dado por:

$$L = 2 \sum_{i=1}^n d_{D,i} \quad (1)$$

onde  $d_{D,i}$  é a distância entre o depósito e o cliente  $i$ .

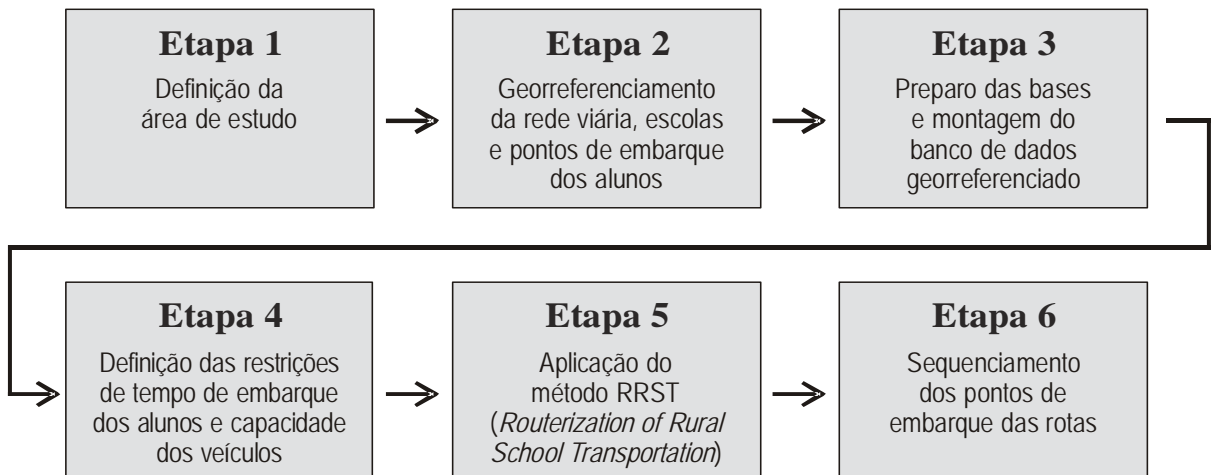
Suponha agora que o veículo, ao sair para atender o cliente  $i$ , aproveita a mesma viagem e visita também o cliente  $j$ . Dessa forma, o ganho obtido em termos de percurso, é dado por:

$$S_{i,j} = L_a - L_b = 2d_{D,i} + 2d_{D,j} - [d_{D,i} + d_{i,j} + d_{D,j}] = d_{D,i} + d_{D,j} - d_{i,j} \quad (2)$$

Neste sentido, a heurística de Clarke e Wriyth preconiza que na escolha de dois pontos,  $i$  e  $j$ , para constituir a seqüência de um roteiro, seleciona-se o par com maior ganho  $S_{i,j}$ , respeitando-se as restrições de tempo, capacidade, volume etc. (Clarke e Wright, 1964). Neste trabalho será feita uma adequação da heurística dos ganhos de distância para solucionar o problema da roteirização no transporte escolar rural.

#### 4. METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta está dividida em cinco etapas (Figura 3) e será detalhada a seguir.



**Figura 3:** Etapas da Metodologia Proposta.

### **Etapa 1: Definição da área de estudo**

A primeira etapa é a definição da área de estudo. Esta definição compreende a identificação dos pontos a serem atendidos dentro do limite da área em questão, as garagens ou pontos de origem e as escolas para as quais os alunos devem ser transportados.

### **Etapa 2: Georreferenciamento da rede viária, escolas e pontos de embarque dos alunos**

O georreferenciamento da rede viária disponível para o tráfego de veículos do transporte escolar rural é a parte fundamental para a solução do problema, pois é a partir deste mapeamento que se pode ter uma visualização geral do problema, permitindo a obtenção das distâncias reais e o cálculo dos tempos de deslocamento na rede viária.

Tendo em vista que dificilmente as vias da zona rural encontram-se digitalizadas, torna-se necessário realizar o georreferenciamento, que pode ser efetuado com uma tecnologia simples do tipo GPS (*Global Positioning System*) de mão. Para isto é necessário percorrer as vias utilizadas pelo transporte escolar e as demais vias da zona rural portando um GPS e registrar no aparelho os pontos de embarque e desembarque. Adicionalmente, pode-se aproveitar esta etapa para levantar outras informações, tais como a quantidade de alunos que embarca em cada ponto de parada e a localização das escolas para as quais os alunos são deslocados.

### **Etapa 3: Preparo das bases e montagem do banco de dados georreferenciado**

Normalmente, um software SIG para leitura das informações acompanha o aparelho GPS, permitindo a criação do banco de dados georreferenciado. Desta forma, é possível obter as distâncias e os tempos de deslocamento entre os pontos de parada identificados. Portanto, é possível calcular a distância real entre os pontos, ao invés da distância linear, a qual não considera as condições de sinuosidade e relevo da via.

O próximo passo consiste em associar a base georreferenciada a um banco de dados com as características de cada elemento. É possível preencher o banco de dados com as informações operacionais do problema de transporte, como, por exemplo, as velocidades de percurso e as condições das vias para cálculo dos tempos de deslocamento entre pontos consecutivos. Cabe destacar que a base precisa ser atualizada somente quando forem construídas ou utilizadas novas vias. Por outro lado, o banco de dados pode ser constantemente atualizado em relação à velocidade de percurso e às condições de trafegabilidade das vias.

### **Etapa 4: Definição das restrições de tempo de embarque e capacidade dos veículos**

No transporte escolar rural, pode-se dizer que uma das restrições importantes do problema é o tempo de permanência do aluno no veículo enquanto outros alunos são coletados ao longo do percurso. Portanto, vale fazer uma distinção entre o Tempo Desejado (TD) e o Tempo Aceitável (TA) de permanência do aluno no veículo: o TD é utilizado para o planejamento das rotas iniciais, enquanto que o TA é utilizado no caso da necessidade de ajuste no sistema de rotas proposto inicialmente.

A exemplo do que permite a heurística de Clarke e Wrieth, restrições adicionais como a capacidade dos veículos, custo, atendimento preferencial de alunos ou de escolas, entre outras, podem ser associadas ao método proposto neste trabalho.

### **Etapa 5: Aplicação do Método RRST (*Routerization of Rural School Transportation*)**

O método proposto neste trabalho, o RRST (*Routerization of Rural School Transportation*), segue os cinco passos descritos a seguir (mas descrito na íntegra em Silva e Tedesco, 2007):

*Passo 1:* Calcular os ganhos ( $S_{i,j}$ ) decorrentes da ligação entre dois pontos consecutivos numa mesma viagem, conforme apresentado na equação:

$$S_{i,j} = L_a - L_b = 2.d_{D,i} + 2d_{D,j} - [d_{D,i} + d_{i,j} + d_{D,j}] = d_{D,i} + d_{D,j} - d_{i,j}, (i, j = 1, \dots, n)$$

e ordená-los de forma decrescente, ou seja, do maior para o menor ganho.

*Passo 2:* Iniciar a rota pelo par de pontos ( $i,j$ ) que apresente o maior ganho  $S_{i,j}$  em relação ao ponto de origem/destino (*ponto 0*). Verificar se o tempo de percurso entre ( $i,j$ ) não ultrapassa o tempo desejado, ou seja:

$$T_{i,j} < TD$$

Caso não ultrapasse, adicionar novos pares ( $(i,k)$  ou  $(j,l)$ ) à rota, obedecendo à seqüência de maiores ganhos, e a regra de  $k$  ou  $l$  pertencer a um extremo da rota, contanto que não ultrapasse o tempo desejado:

$$T_{i,j,k,\dots,n} < TD$$

*Passo 3:* A próxima rota será iniciada quando o tempo da rota anterior atingir o limite do tempo desejado. O par ( $i,j$ ) de maior ganho que estiver mais próximo (menor tempo de deslocamento) do ponto de origem/destino do que de qualquer ponto de outra rota já definida, sem que pertença às rotas anteriores, será o par inicial da próxima rota. Repetir o passo até que todos os ganhos  $S_{i,j}$  sejam analisados.

*Passo 4:* Se ao final do processo ainda restarem pontos ainda não classificados em qualquer das rotas definidas, alocá-los à rota mais próxima (menor tempo de deslocamento), atendendo à restrição de não ultrapassar o tempo aceitável:

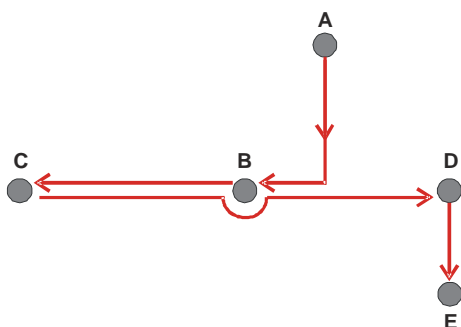
$$T_{i,j,\dots,n} < TA$$

Neste passo estão consideradas transferências dos pontos extremos de uma rota para outra, tendo como objetivo o encaixe dos pontos ainda não classificados, de forma que nenhuma das rotas ultrapasse o tempo aceitável.

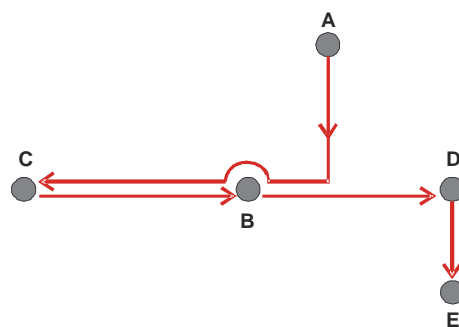
*Passo 5:* Caso os pontos não classificados não atendam à restrição do passo anterior, criar nova rota incluindo esses pontos. Fim do processo.

### **Etapa 6: Seqüenciamento dos pontos de embarque das rotas**

Considerando que no ambiente rural não estão disponíveis muitas opções de caminhos e que, numa mesma viagem, o veículo pode passar pelo mesmo ponto mais de uma vez, esta etapa visa definir o seqüenciamento dos pontos de embarque definidos pelo RRST. Ou seja, esta etapa permite alterar a seqüência de atendimento pré-determinada (Figura 4) se e somente se ocorrerem situações em que um ponto pode ser atendido em um ou mais momentos, desde que seja integralmente mantido o itinerário inicial e os pontos de atendimento (Figura 5). Vale ressaltar que a definição da seqüência é facilitada com a utilização do mapa da linha.



**Figura 4:** Sequência pré-determinada: pontos A – B – C – D – E.



**Figura 5:** Sequenciamento alternativo: pontos A – C – B – D – E.

## 5. ESTUDO DE CASO

A metodologia proposta foi testada no Município de Santana do Araguaia, no Estado do Pará. Este Município foi selecionado por apresentar elevado tempo médio de permanência dos alunos nos veículos (68 minutos ou 1h08). Além disto, dentre os municípios pesquisados (FNDE, 2007b), apresenta uma das maiores linhas (149 quilômetros de extensão percorrida em uma viagem entre a garagem e as escolas) e um dos maiores tempos de permanência no veículo (239 minutos ou 4 horas). As etapas da metodologia estão descritas a seguir.

### **Etapa 1: Definição da área de estudo**

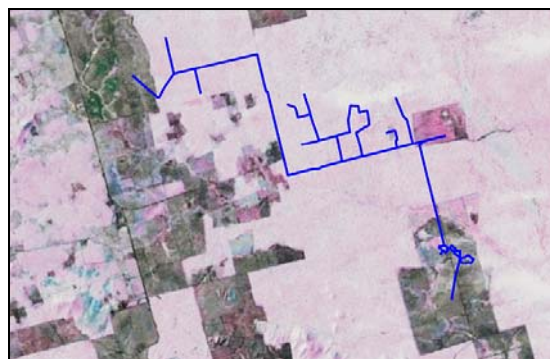
Foi selecionada a linha de maior extensão no Município de Santana do Araguaia. Os alunos transportados por esta linha tinham como destino escolas localizadas no centro urbano. A área de estudo definida abrange, portanto, o ponto de saída do veículo (origem da rota), os pontos de embarque destes alunos na área rural, as vias percorridas pelo transporte e as escolas para as quais os alunos se deslocam no centro do Município.

### **Etapa 2: Georreferenciamento da rede viária, escolas e pontos de embarque dos alunos**

Para o georreferenciamento foi utilizado um GPS (Garmin, 2007) percorrendo a linha desde o seu início até o final, captando, por meio do sinal do GPS, o itinerário percorrido. Ao longo da viagem foram marcados os pontos de embarque, desembarque, escolas e garagem. Verifica-se na Figura 6 algumas estradas utilizadas para o transporte escolar rural no Município Santana do Araguaia, e na Figura 7, o mapeamento feito pelo GPS da maior linha de transporte do Município, objeto do estudo de caso.



**Figura 6:** Foto de satélite das estradas em Santana do Araguaia.



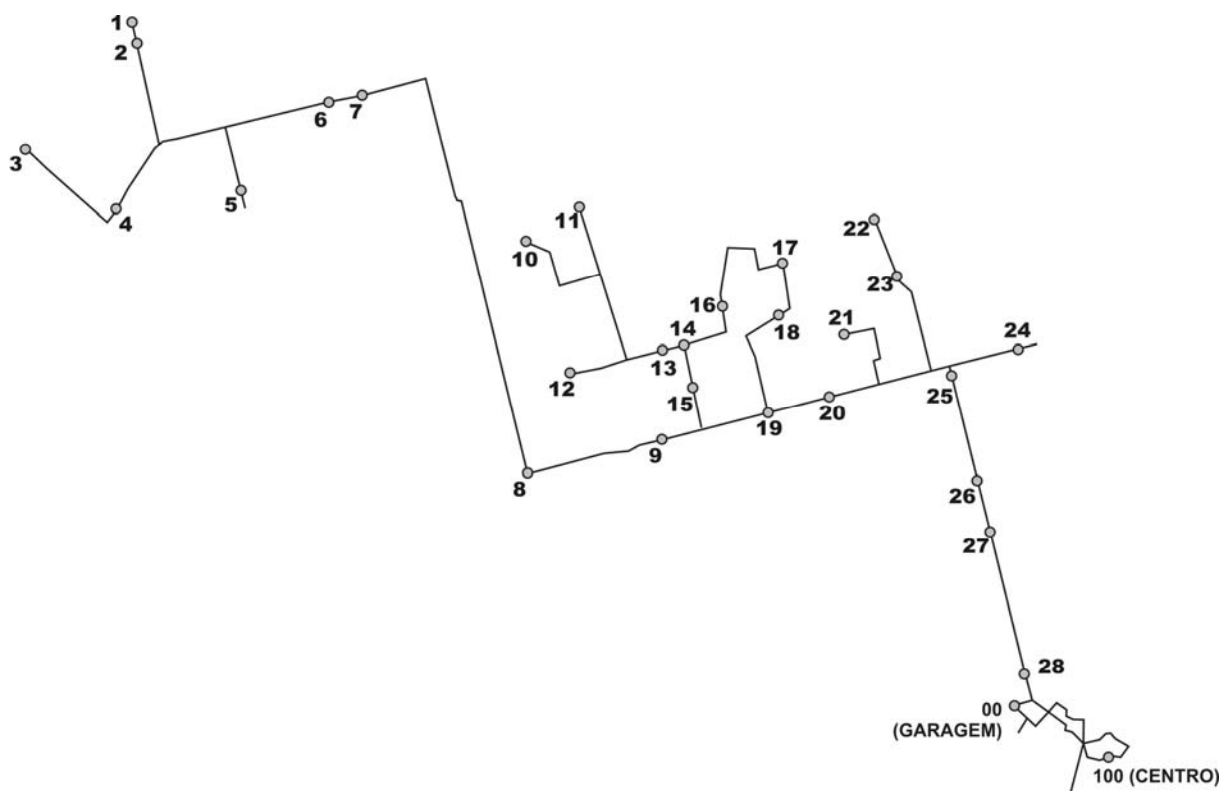
**Figura 7:** Linha de transporte escolar do Município de Santana do Araguaia.

### **Etapa 3: Preparo das bases e montagem do banco de dados georreferenciado**

O software utilizado para leitura dos dados georreferenciados foi o MapSource, fornecido junto com o GPS. Ele permite o cálculo das velocidades médias de percurso (total ou por trechos). Uma vez mapeada a linha, foram obtidas as distâncias reais entre os pontos.

Cada elemento georreferenciado possui associado a si um banco de dados coletados durante a viagem. Para os pontos de parada são acumuladas informações relativas à quantidade de alunos que embarcam, as condições de infraestrutura do abrigo, o momento exato da passagem do veículo etc. Cada trecho (distância entre paradas sucessivas) possui informações relativas ao tipo e condição do pavimento, velocidade média etc.

Na Figura 8 estão representados os pontos de parada (de embarque dos alunos), as escolas e a garagem. No total, a linha possui 28 pontos de parada e um total de 50 alunos transportados, tendo início e fim no centro da cidade, onde ficam localizadas também as escolas.



**Figura 8:** Linha digitalizada de transporte escolar do Município Santana do Araguaia.

Atualmente a Prefeitura do Município disponibiliza um ônibus para o transporte de todas as crianças em uma só viagem. O veículo utilizado pela Prefeitura possui somente 42 assentos (Figura 9). Em função da restrição de capacidade do veículo, alguns alunos são transportados em pé, contrariando a regulamentação. Além disto, a extensão da viagem faz com que o primeiro aluno embarcado permaneça no veículo por 4 horas até chegar à escola de destino.



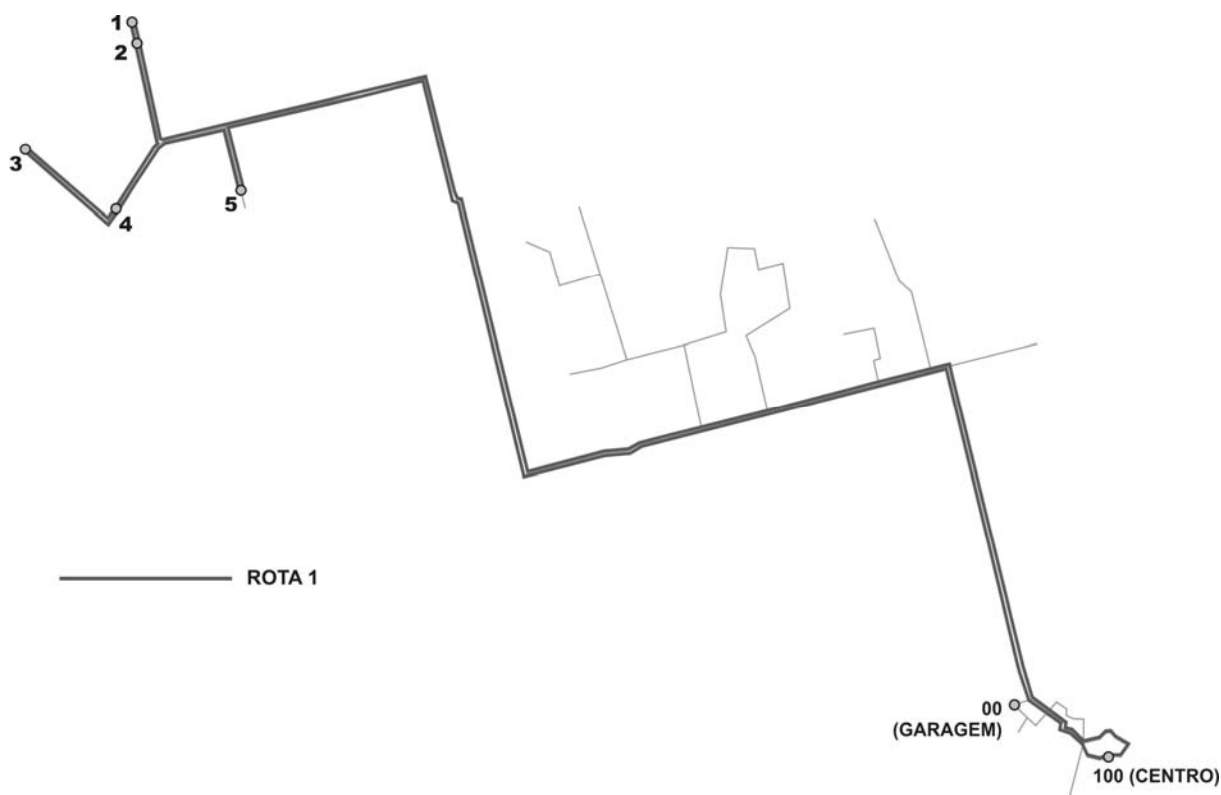
**Figura 9:** Assentos disponíveis no veículo utilizado.

#### **Etapa 4: Definição das restrições de tempo de embarque e capacidade dos veículos**

O valor adotado como tempo desejado (TD) para o estudo de caso foi de 30 minutos. Foi considerada uma margem de variação e ajuste de 10%, totalizando 33 minutos. O Tempo Aceitável (TA) considerado foi de 45 minutos. Não foram pré-determinadas restrições de capacidade dos veículos, sendo a escolha destes resultantes da restrição de tempo.

#### **Etapa 5: Aplicação do Método RRST (*Routerization of Rural School Transportation*)**

Foram calculados os ganhos em relação ao ponto 100 – ponto de saída/chegada (Figura 8), conforme apresentado na Equação 2, sendo posteriormente ordenados de forma decrescente.

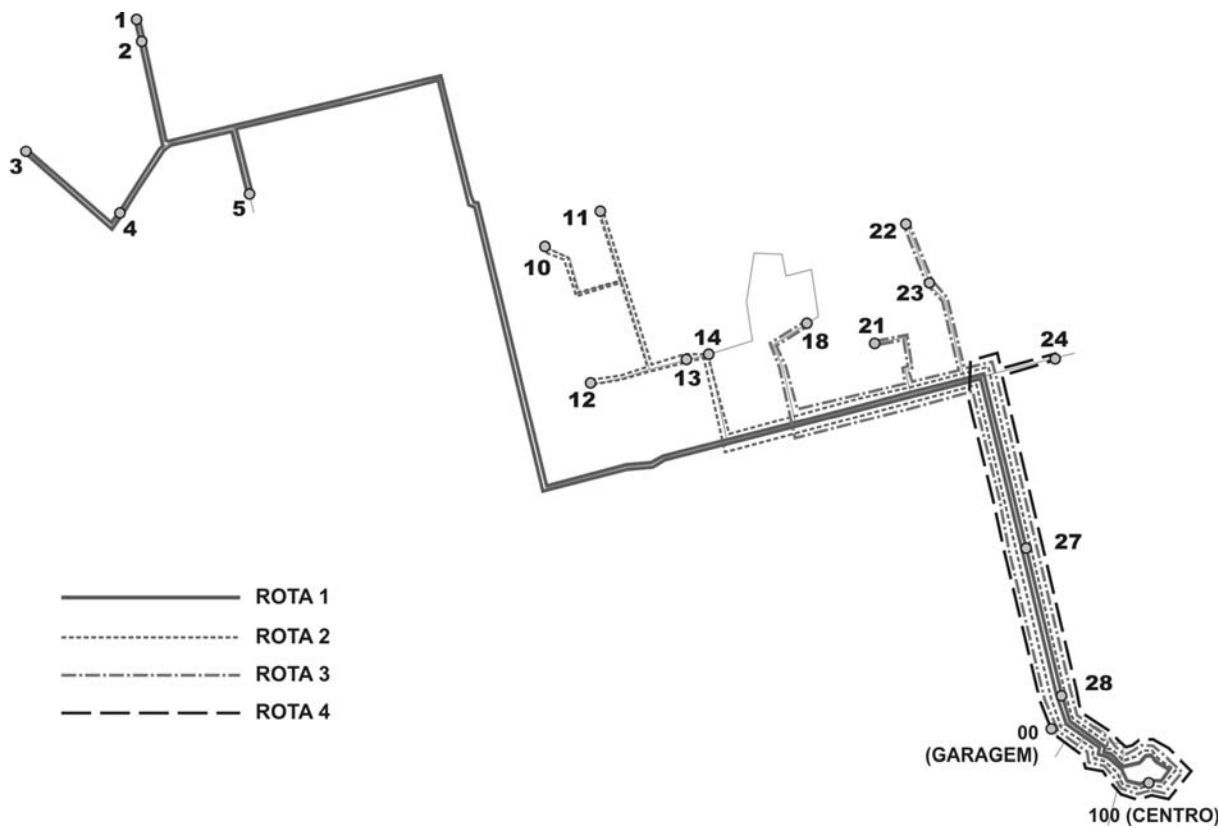


**Figura 10:** Rota 1 definida pela aplicação dos passos 1 e 2.



A Rota 1 foi iniciada pelo par de maior ganho (Pontos 1 e 2), em relação ao ponto de origem/destino. Atendendo ao tempo desejado, definido na Etapa 4, foram adicionados os pontos 3, 4 e 5 à rota, obedecendo à seqüência de maiores ganhos e à regra de pertencerem a um extremo da rota, além de não ultrapassar o tempo desejado. Concluídos os passos 1 e 2, a primeira rota resultante atendia aos pontos 1, 2, 3, 4 e 5 (Figura 10).

A rota 2 foi iniciada pelo próximo par (Pontos 10 e 11), satisfazendo as condições do Passo 3 do RRTST. Seguindo o estabelecido nas Etapas 2, 3 e 4, foram obtidas 4 rotas (Figura 11), que atendiam aos pontos especificados na Tabela 1.



**Figura 11:** Rotas 1, 2, 3 e 4 definidas pela aplicação dos passos 1, 2 e 3.

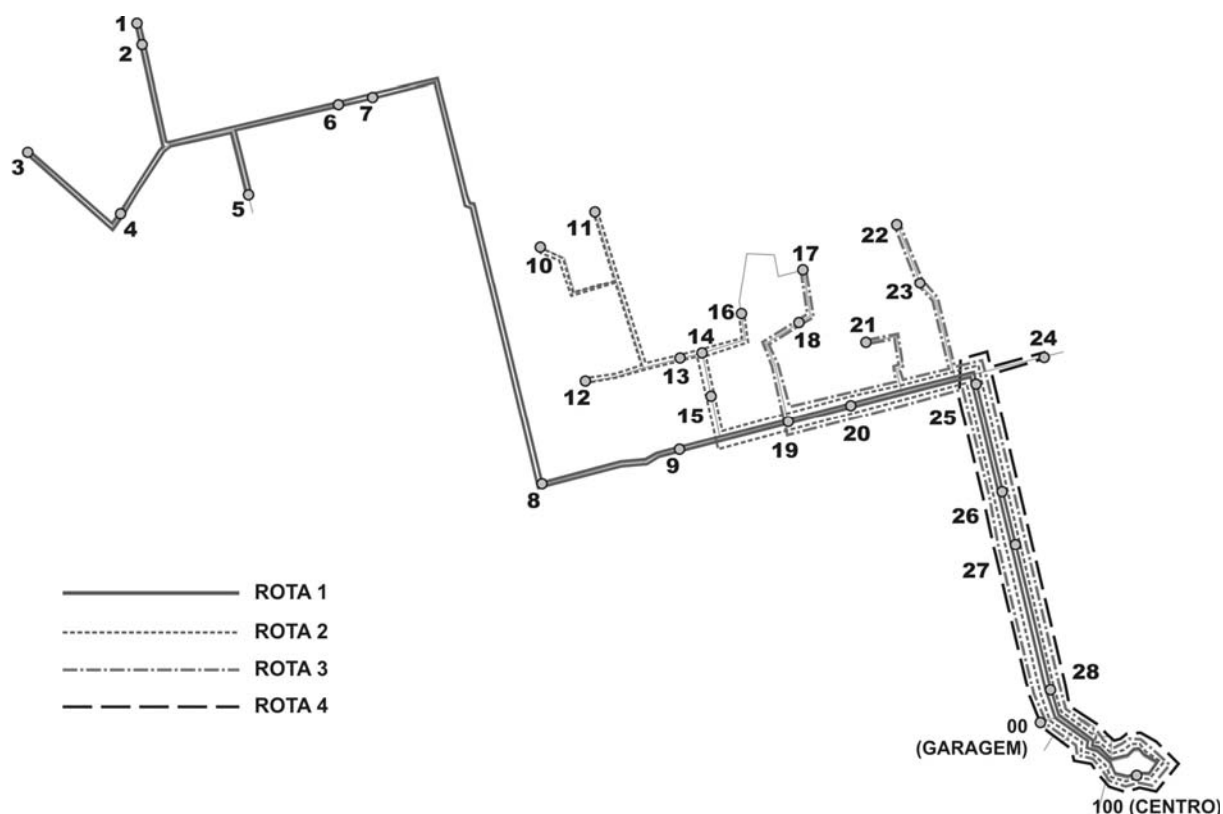
**Tabela 1:** Pontos atendidos por cada rota definida.

Rota	Pontos	Número de Alunos
Rota 1	1,2,3,4,5	9
Rota 2	10,11,12,13,14	6
Rota 3	21,22,23,18	9
Rota 4	24, 27,28	8

Ao final do processo de traçado das rotas iniciais, restaram os seguintes pontos não classificados: 6, 7, 8, 9, 15, 16, 17, 19, 20, 25 e 26. Estes pontos foram inclusos nas rotas, obedecendo-se aos passos estabelecidos no método RRTST. As características das rotas finais estão descritas na Tabela 2 e são ilustradas pela Figura 12.

**Tabela 2:** Características das rotas identificadas.

Rota	Tempo de Embarque	Pontos	Número Total de Alunos
Rota 1	32 minutos	1,2,3,4,5,6,7	13
Rota 2	43 minutos	8,9,10,11,12,13,14,15,16	12
Rota 3	31 minutos	17,18,19,20,21,22,23	12
Rota 4	16 minutos	24, 25,26,27,28	13



**Figura 12:** Rotas 1, 2, 3 e 4 complementadas pela aplicação dos passos 4 e 5.

### Etapa 6: Sequenciamento dos pontos de embarque das rotas

Com todos os pontos alocados em uma das rotas estabelecidas, o passo final é o sequenciamento deles, ou seja, a priorização do embarque em cada rota e sem alterações no itinerário, conforme a Tabela 3.

**Tabela 3:** Sequenciamento dos pontos de embarque, por rota.

Rota	Seqüência	Tempo Máximo de Viagem do Aluno
Rota 1	100-1-2-3-4-5-6-7-100	85 minutos
Rota 2	100-10-11-12-13-16-14-15-8-9-100	71 minutos
Rota 3	100-17-18-19-20-21-22-23-100	52 minutos
Rota 4	100-24-25-26-27-28-100	19 minutos

## 6. CONCLUSÕES

O Transporte Escolar Rural possui algumas particularidades e por isso necessita de metodologias específicas para a resolução dos muitos problemas existentes. A metodologia desenvolvida por Steiner *et al.* (2000) mostrou-se muito adequada para o transporte escolar urbano, devido a uma maior capilaridade da rede viária e pelo fato de o tempo de permanência do aluno no veículo não ser a principal restrição.

Os poucos alunos que podem vir a abandonar a escola devido ao tempo de permanência no veículo em cada cidade brasileira, possivelmente contribuem para elevar o índice de repetência e evasão escolar no Brasil (FNDE, 2007d). Por isso, as políticas públicas devem levar em consideração a situação de cada aluno em particular, visando amenizar as dificuldades cotidianas e procurando dar igualdade de condições para o acesso à escola.

A metodologia descrita nesse trabalho mostrou-se de fácil implementação e com um custo relativamente baixo, pois necessita de apenas um equipamento GPS (preço entre R\$ 300,00 e R\$ 800,00), um computador e a disponibilidade de uma pessoa para percorrer a linha de transporte escolar e as demais vias da zona rural. Neste primeiro estudo de caso, o principal aspecto que está sendo levado em consideração para uso como restrição é a redução do tempo de viagem do aluno no veículo de transporte escolar.

O resultado obtido com este estudo é uma solução de atendimento para determinados alunos, considerando, portanto, o tempo de viagem como restrição. As rotas resultantes podem ser percorridas por um único veículo. No entanto, para que seja possível permitir que estes alunos cheguem todos em horários compatíveis com as aulas, o mais indicado seria atender as rotas mais longas com veículos independentes e as rotas mais curtas em viagens combinadas de um mesmo veículo.

Neste estudo as quantidades de alunos resultantes em cada rota, considerando a restrição de tempo de permanência, são passíveis de serem transportadas por veículos pequenos, do tipo *kombi*. O tipo e capacidade do veículo não foram restrições consideradas para este estudo de caso. No entanto, conforme mencionado anteriormente, semelhante ao que permite a heurística de Clarke e Wrigth, restrições adicionais, tais como a capacidade do veículo, podem ser associadas ao método proposto neste trabalho.

A título de ilustração, um ônibus zero quilômetro (capaz de transportar 44 pessoas), custa em média R\$ 250.000,00 (duzentos e cinquenta mil reais), enquanto uma *kombi* nova (capaz de transportar 15 pessoas), pode ser adquirida, em média, por R\$ 48.000,00 (quarenta e oito mil reais). Para este estudo de caso, verificou-se a necessidade de três veículos *kombi*, pois mesmo havendo quatro rotas, um dos veículos poderia ser utilizado também na rota 4, a qual necessita de apenas 16 minutos para ser percorrida. Isso geraria, para este caso, um custo de aquisição de R\$ 144.000,00 (cento e quarenta e quatro mil reais), valor inferior ao de um ônibus novo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bodin, L.; Golden, B.; Assad, A.; Ball, M. (1983) *Routing and Scheduling of Vehicles and Crews – the State of the Art*. International Journal of Computers and Operations Research. Vol. 10, n. 2.
- Clarke, G. e Wright, J. W. (1964), *Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points*, Operations Research, vol. 12, n. 4, p. 568-581.

- Edmonds, J. e Johnson, E. (1973) *Tours and The Chinese Postman Problem*. *Mathematical Programming*, Vol. 5, pp. 88-124.
- FNDE (2007a), Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, *Levantamento de Dados para a Caracterização do Transporte Escolar: Caracterização do Transporte Escolar Brasileiro, Produto 1, Volume 1, Questionário WEB*.
- FNDE (2007b), Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, *Levantamento de Dados para a Caracterização do Transporte Escolar: Caracterização do Transporte Escolar nos Municípios, Produto 2, Volume XII, Município de Santana do Araguaia (PA)*.
- FNDE (2007c), Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, *Levantamento de Dados para a Caracterização do Transporte Escolar: Caracterização do Transporte Escolar nos Municípios, Produto 2, Volume 1, Amostra Total*.
- FNDE (2007d), Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, *Levantamento de Dados para a Caracterização do Transporte Escolar: Caracterização do Transporte Escolar Brasileiro, Produto 1, Volume 1, Contextualização do Transporte Escolar*.
- GARMIN (2007). [www.garmin.com](http://www.garmin.com). Acesso em: 19 jun. 2007.
- GEIPOT (1999), Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Discussão dos 10 Aspectos mais Relevantes do Transporte Rural Escolar. Disponível em: <[www.geipot.gov.br/estudos\\_realizados/transporte\\_rural/aspectos\\_relevantes.doc](http://www.geipot.gov.br/estudos_realizados/transporte_rural/aspectos_relevantes.doc)>. Acesso em 20 dez. 2006.
- GEIPOT (1999a), Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Considerações Sobre o Transporte Rural Escolar. Disponível em: <[novaescola.abril.com.br/ed/170\\_mar04/html/Sintese.doc](http://novaescola.abril.com.br/ed/170_mar04/html/Sintese.doc)>. Acesso em 20 dez. 2006.
- Gillet, B. E. e Miller, L. R. (1974) *A Heuristic Algorithm for the Vehicle-Dispatch Problem*. *Operations Research*. Vol. 22, pp. 340-349.
- Golden, B. L. e Assad, A. A. (1986) *Perspectives on Vehicle Routing: Exciting New Developments*. *Operations Research* vol. 34, pp. 803-810.
- Laporte, G., Nobert, Y.; Desprochers, M. (1985) Optimal Routing Under Capacity and Distance Restrictions. *Operations Research*, Vol. 33, pp. 1050-1073.
- Silva, A. R. da; Tedesco, G. M. I. (2007), *New Algorithm for Routerization of Rural School Transportation*, submetido para publicação na Revista *Computers & Operations Research*.
- Sanches, S. P. e Ferreira, M. A. G. (2006), *Avaliação Multicriterial de um Sistema de Transporte de Alunos da Zona Rural*. Anais do XX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Brasília, v.2.
- Steiner, M. T. A.; Zamboni, L. V. S.; Costa, D. M. B.; Carnieri, C. Silva, A. L. da (2000), *O problema de Roteamento no Transporte Escolar*, *Pesquisa Operacional*, vol. 20, n.1, p. 83-99.

---

<sup>1</sup> Alan Ricardo da Silva ([alansilva@ceftru.unb.br](mailto:alansilva@ceftru.unb.br))  
Fones: (61) 3307-2057 (Ramal 222)

<sup>2</sup> Giovanna Megumi Ishida Tedesco ([g.tedesco@yahoo.com.br](mailto:g.tedesco@yahoo.com.br))  
Fones: (61) 3307-2057 (Ramal 222)

<sup>3</sup> Yaeko Yamashita ([yaeko@unb.br](mailto:yaeko@unb.br))  
Fones: (61) 3307-2714 (Ramal 22)

<sup>4</sup> Sérgio Ronaldo Granemann ([sergiog@unb.br](mailto:sergiog@unb.br))  
Fones: (61) 3307-2714 (Ramal 20)