

SIG APLICADO A ROTEIRIZAÇÃO DO TRANSPORTE PÚBLICO EXCLUSIVO PARA PESSOAS PORTADORAS DE NECESSIDADES ESPECIAIS

GIS APPLIED TO THE PUBLIC TRANSPORTATION ROUTING ONLY FOR PEOPLE WITH SPECIAL NEEDS

Marcos Esdras Leite

Professor Doutor Departamento de Geociências
Bolsista Produtividade FAPEMIG
marcosesdras@ig.com.br

Simone Narciso Lessa

Professora Doutora do Departamento de História
monelessa@uol.com.br

Narciso Ferreira dos Santos Neto

Professor Mestre do Departamento de Administração
narciso_santos1@yahoo.com.br

Daniela Aniceto

Administradora de empresas
danyaniceto@hotmail.com
Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES

RESUMO

O presente trabalho consistiu na aplicação do SIG para roteirização do transporte exclusivo para pessoas com necessidades especiais na cidade de Montes Claros, conhecido como Transpecial. Atualmente a definição das rotas que os veículos deste transporte devem percorrer é feita de forma manual e empírica. Devido a alta complexidade de resolução do problema de roteirização de passageiros, conhecido como *dial-a-ride*, não existem programas computacionais que realizam diretamente esse problema. Sendo assim, se justificou a criação de um procedimento operacional que utiliza Sistemas de Informações Geográficas – SIG como ferramenta para o planejamento da roteirização. Foi realizada uma simulação com os dados reais do Transpecial que apresentou resultados satisfatórios por conseguir atender todas as restrições encontradas no problema: precedência de embarque e desembarque, limites de janela de tempo e limites de capacidade. Foi feita uma sugestão para melhoria do atendimento fazendo com que novos usuários sejam atendidos, aumentando a satisfação dos clientes e melhorando o transporte exclusivo em geral. Conclui-se que o procedimento proposto conseguiu ser uma ferramenta de auxílio ao planejamento das rotas.

Palavras-chave: Transporte, Sistemas de Informação Geográfica, Roteirização

ABSTRACT

The present work consisted in the application of GIS for transportation routing exclusively for people with special needs in the city of Montes Claros, known as Transpecial. Currently the definition of the routes that vehicles must follow this transport is done manually and empirical. Due to the high complexity of solving the routing problem passengers, known as *dial-a-ride*, there are computer programs that perform this problem directly. Thus, it justified the creation of an operational procedure that uses Geographic Information Systems - GIS as a tool for planning the routing. We performed a simulation with real data showed that the Transpecial achieve satisfactory results meet all the constraints encountered in trouble: Precedence of embarkation and disembarkation, maximum time window and capacity constraints. The suggestion was made to improve service so that new users are met, increasing customer satisfaction and improving transportation in general unique. It is concluded that the proposed procedure could be a tool to support planning of routes.

Keywords: Transport, Geographic Information Systems, Routing, Dial-a-Ride

Recebido em: 10/01/2012

Aceito para publicação em: 30/04/2012

INTRODUÇÃO

A acessibilidade, diz respeito à condição de utilização, com segurança e autonomia, dos espaços urbanos, das edificações, dos transportes e dos sistemas e meios de comunicação, por pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida (Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000). É uma importante prerrogativa, dado que, envolve a garantia de direitos fundamentais como: direito à liberdade, saúde, educação, cultura, esporte e lazer, profissionalização, trabalho, assistência social, transporte entre outros.

As pessoas com deficiência física encontram maior dificuldade de acessibilidade/mobilidade, o que justifica o interesse do setor público que regulamenta o transporte dessas pessoas, por meio de leis e normas específicas. Mesmo com estas leis, grande parte das cidades brasileiras se vê distante de proporcionar serviços de deslocamento com qualidade satisfatória às pessoas com dificuldade de mobilidade.

Poucas são as medidas que estão sendo adotadas pelos administradores públicos para criar acessibilidade e proporcionar transportes para pessoas portadoras de deficiência física. Na maioria das vezes o oferecimento deste transporte surge em função de pressão pública ou determinação jurídica e não por entender que os portadores de deficiência têm o direito de circular e, o governo, o dever de oferecer esta condição.

Enquanto os resultados demonstram o alto número de deficientes e seu crescimento nos números relacionados a circulação, algumas dúvidas cada vez mais necessitam ser respondidas: Onde estão estes cidadãos e cidadãs? Estão trabalhando? Estão na escola? Têm acesso à saúde? (HECK, 2002). Descobrir o hábito dos portadores de deficiência, ou seja, as características individuais e quais são as barreiras que enfrentam, auxiliam os planejadores a aproveitar os recursos existentes para oferecer uma condição melhor de transporte e buscar eliminar essas barreiras, oferecendo a possibilidade de integrar essas pessoas à sociedade.

De acordo com Fu (2002) nos Estados Unidos, os custos operacionais para o funcionamento do serviço de transporte de pessoas portadoras de necessidades especiais ultrapassou 1,2 bilhão de dólares. E de acordo com a Associação Canadense de Trânsito Urbano, as despesas de funcionamento total de 50 agências paratransit canadense em 1997 ascenderam a 146,5 milhões de dólares, dos quais apenas 10 % foi recuperado das receitas de tarifas e os 90% restante foi subsidiado (FU, 2002).

Alguns autores, como Teal (1993) e Fu (2002) descrevem em seus trabalhos a tentativa de encontrar uma solução para atenuar este problema, através de tecnologias avançadas de informação, tais como localização automática de veículos (AVL), telecomunicações digitais e computadores. Com a habilidade de rastrear as localizações do veículo, comunicar com os motoristas e clientes, além de acessar informações de tráfego em uma base contínua, os sistemas de atendimento a pessoas com necessidades especiais são aguardados para operar a um nível significativamente de confiabilidade e produtividade com melhorias contínuas.

Na cidade de Montes Claros o serviço de transporte especial (Transpecial) foi criado para garantir o exercício da cidadania aos deficientes físicos que utilizam cadeiras de rodas e às pessoas com mobilidade reduzida permanente que têm dificuldades de utilizar o serviço de transporte coletivo urbano (Decreto Nº 2.305, de 12 de dezembro de 2006). A roteirização dos itinerários realizados pelo Transpecial é realizada atualmente de forma empírica e manual, o que acarreta desperdícios e perdas.

Este artigo objetivou criar um procedimento operacional para geração de novas rotas para o transporte de pessoas com necessidades especiais na cidade de Montes Claros, com aplicação do Sistema de Informação Geográfica – SIG. No desenvolvimento do trabalho foi atualizada a base geográfica digital do sistema viário da cidade de Montes Claros com banco de dados do nome das ruas, CEP, mão de direção e bairros. Com isso, foi criada a rede (*network*) e inserido o banco de dados georreferenciados de todos os usuários cadastrados no Transpecial de Montes Claros e dos pontos de visita. Por fim, esse conjunto de dados permitiu realizar simulação e avaliação do procedimento proposto.

O presente trabalho se justifica por desenvolver um procedimento operacional que auxilia a roteirização dos veículos do Transpecial, além de fornecer a primeira catalogação georreferenciada de todos os usuários cadastrados no Transpecial de Montes Claros e dos pontos de visita como: hospitais, escolas, empresas, clínicas, ambientes de recreação etc; com o intuito de proporcionar um atendimento mais efetivo ao usuário.

REFERENCIAL TEÓRICO

O transporte para portadores de necessidades especiais

A acessibilidade é abordada como tema de políticas públicas há pouco tempo no Brasil. Atualmente a legislação sobre o assunto é vasta, entretanto para atingir este coeficiente foi preciso que o governo, a sociedade, os estudiosos e profissionais envolvidos colaborassem no processo de inclusão da pessoa com deficiência e na criação de uma estrutura legal que equalizasse os seus direitos (COSTA *et al.* 2005).

Faz-se necessário, então, descrever o histórico e os avanços ocorridos no tratamento das pessoas deficientes no país. Ao analisar a evolução na abordagem da deficiência desde o início da civilização humana Hazard (2004) afirma que a deficiência era atribuída a um castigo divino, as pessoas eram maltratadas, abandonadas ou presas. Apenas no fim do século XIX insurgiu a criação de serviços de internação para essas pessoas, geralmente de origem religiosa. Após as duas guerras mundiais surgiu uma nova visão levando a um "modelo médico da deficiência" onde se preocupava com o tratamento médico e reabilitação dessas pessoas. "Essas duas visões, uma paternalista e outra médica, perpassam até hoje no imaginário coletivo brasileiro, tendo se transformado nos velhos conceitos e preconceitos que animam a sociedade até hoje" (HAZARD, 2004, p. 2).

De acordo com Sassaki (2004) *apud* Boareto (2005), podem-se distinguir três períodos na história atual no atendimento de pessoas com deficiência. O primeiro momento é caracterizado pela chamada segregação social, ocorreu no final do século XIX até a década de 1940, foi marcado por grandes abrigos beneficentes isolados da sociedade, objetivando cuidar e alimentar essas pessoas permanentemente. No segundo período, que abrange as décadas de 1950 a 1980, grandes centros de atendimento buscavam a reabilitação, aliado a uma visão assistencialista. A pessoa com deficiência devia se adequar aos padrões determinados, ajustando-se a uma sociedade predeterminada e supostamente correta.

Na década de 1980 surgiu o conceito de integração social provindo, principalmente da dispersão de informações sobre direitos, deveres e potenciais das pessoas com deficiência, além da criação de organizações, aprovação de leis específicas, e cláusulas específicas inseridas na Constituição. O terceiro período é marcado pela inclusão social na década de 1990 e começo do século XXI. Nesta época foram criadas novas alternativas em reabilitação, permitindo que a pessoa com deficiência defina os seus próprios objetivos, a independência e a autonomia são difundidas, o ideal é a criação de uma sociedade com a participação de todos, com ou sem deficiência.

O sistema de transporte coletivo leva acesso às distintas atividades espalhadas no ambiente urbano. Este acesso deve atender a toda população, inclusive quem precisa de atendimento diferenciado por possuir dificuldade de locomoção, como o caso das pessoas com deficiência.

Nos países ocidentais, várias autoridades locais estão criando um serviço de atendimento exclusivo para pessoas com restrição de mobilidade ou estão revendo os sistemas existentes, em resposta à crescente demanda. Este fenômeno pode ser atribuído em parte ao envelhecimento da população, mas também a uma tendência para o desenvolvimento e melhoria dos serviços de saúde. Alguns sistemas já existentes, mas as empresas não conseguem atender a demanda e há uma verdadeira necessidade de sistemas confiáveis e com baixo custo (CORDEAU e LAPORTE, 2003).

A criação de um serviço de transporte exclusivo busca minimizar as dificuldades de locomoção e acessibilidade encontradas por pessoas com deficiência ou com restrição de mobilidade, atendendo assim, um número limitado de usuários. Para a implantação deste serviço é preciso que existam veículos adaptados com elevadores, que os locais de parada sejam adequados e que o pessoal operacional seja treinado e conscientizado para oferecer maior segurança. A organização do transporte exclusivo passa pelas fases de: processo de cadastro, agendamento em função de solicitações, roteirização e operação. No processo de cadastro os usuários se inscrevem requerendo o serviço, apresentando seus dados pessoais e de familiares, finalidade da viagem, pontos de atração e horários mais convenientes.

Na fase de agendamento o usuário reserva o serviço, fazendo-se necessário verificar a legalidade do passageiro e depois documentar as suas informações com os dados da viagem, como origem, destino e horário desejado. Cria-se uma lista de paradas de todos os usuários cadastrados no dia e, a partir disso, define-se uma rota com horários pré-definidos. Esta é a

etapa mais complicada do processo, pois deve se levar em conta a priorização dos objetivos da viagem, as restrições do sistema, as políticas do serviço e incertezas. Na etapa de operação ocorre o monitoramento do veículo e o ajuste do agendamento, esta fase é administrada praticamente em tempo real, é preciso essa adaptação para resolver problemas de atrasos, desistências, bem como problemas técnicos do veículo, entre outros. Para uma melhor operacionalização do transporte é necessário que se crie um banco de dados sobre a viagem (origem e destino) do usuário. E esses dados devem estar integrados ao sistema de informação geográfica.

Sistemas de Informação Geográfica aplicado ao transporte/ SIG-T

Até pouco tempo a coleta de dados sobre distribuição geográfica era feita somente em documentos e mapas em papel, o que dificultava a análise e combinação dos dados. Com o aprimoramento da informática pode-se armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do Geoprocessamento. A expressão Geoprocessamento envolve a área que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), comportam desempenhar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados (CÂMARA, 2001).

De acordo com Pereira (2007) os SIGs são tecnologias de Geoprocessamento que trabalham com informação na configuração de dados geográficos. Estes dados se classificam como dados espaciais e dados geográficos. Permitem que se distinga a composição geométrica de entes espaciais (casa, rua, rio, parcela de solo, etc.), assim como sua posição no espaço geográfico. Rosa e Brito (1996) afirmam que SIG é um sistema destinado à entrada, armazenamento, manipulação, análise e visualização de dados geográficos ou espaciais. Estes dados são representados por pontos, linhas e áreas nos quais são associados atributos, características de cada representação.

Grande parte das informações relacionadas ao espaço urbano tem associadas algumas formas de referência geográfica, como o endereço, o bairro, o CEP, cruzamento de vias, nome de ruas entre outras. Como forma de integrar as bases de dados específicos de transporte criou-se os Sistemas de Informação Geográfica aplicado ao Transporte conhecidos como SIG-T. São desenvolvidos especificamente para uso de profissionais de transportes para armazenar, mostrar, gerenciar e analisar dados de transportes. Reúne as capacidades de um SIG com procedimentos de modelagem em uma única plataforma.

Algumas ferramentas são encontradas num SIG-T, como ferramentas de mapeamento e visualização, extensões especiais, matrizes origem/destino, redes, rotas, dados linearmente referenciados e módulo para roteirização, modelagens de demanda e de localização. Muitos são os aplicativos computacionais desenvolvidos especificamente para a área de transporte, como por exemplo, o TransCAD, o Trucks, o Truckstops, o Roadshow, o ROTAcerta, o ArcLogistics Route, entre outros. Um dos mais importantes SIG-T utilizados em todo o mundo é o software TransCAD. De acordo com a Caliper Corporation, empresa que desenvolveu o programa, é um sistema desenvolvido especificamente para uso por profissionais de transporte para armazenar, exibir, gerenciar e analisar dados de transporte. Combina as capacidades de modelagem em uma plataforma única e integrada, pode ser usado para todos os modais de transporte, em qualquer escala ou nível de detalhe.

O TransCAD realiza diferentes análises e possui um banco de dados projetado para capturar e analisar dados de transportes. Estes dados podem ser: de redes de transportes, fluxos de carga, rotas, programação, análise de transportes, demanda de passageiros, desempenho do sistema de transportes entre outros. Podem ser armazenados, visualizados e analisados em qualquer escala espacial. No sistema, a localização geográfica de elementos de transporte, assim como as infraestruturas relacionadas, podem ser combinadas com os dados que as mencionam. Os dados podem ser associados a pontos, linhas, áreas, redes ou rotas (ROSE, 2001).

Problemas de Roteirização de Veículos

Problemas de roteirização aparecem em uma série de serviços, como entrega de mercadorias, serviços de correios, rotas de ônibus escolar, coleta de lixo, operações de frete etc. Os problemas de roteirização e programação (*scheduling*) têm por objetivo a solução destes problemas, buscando suavizar em alto grau o custo de distribuição, acarretando em economia

para empresas e governos (LORENA, 2002). De acordo com Cunha (2000), o termo roteirização de veículos, embora não encontrado em dicionários de língua portuguesa, é análogo ao termo em inglês “*routing*” referindo à criação de uma ou mais rotas ou sequências de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota. Um problema real de roteirização é definido pelos fatores: decisões, objetivos e restrições (RAIA Jr, 2007):

As decisões se referem à definição do grupo de clientes que deverão ser atendidos, à quantidade de veículos e motoristas e a ordem e programação das visitas. Os objetivos em geral buscam aliar alto nível de atendimento ao cliente com menores custos operacionais. Por último, as restrições levam em consideração os recursos disponíveis, os limites de tempo, as restrições de trânsito no que se refere às velocidades máximas, horários de carga/descarga, mão de direção entre outros. Bodin (1983) *apud* Neto e Lima (2006) classifica os problemas de roteirização em: problemas de roteirização pura de veículos, problemas de programação de veículos e tripulações e problemas combinados de roteirização e programação de veículos.

O clássico problema do caixeiro viajante foi o primeiro a ser estudado, tem como objetivo solucionar o roteiro de cidades a serem visitadas por um caixeiro viajante que minimize a distância total percorrida e assegure que cada cidade seja visitada exatamente uma vez (CUNHA, 2000). É um problema de cobertura de nós e que admite que o veículo não seja limitado por restrições de tempo e de capacidade. Outro problema de roteirização pura de veículos é o problema do carteiro chinês, que objetiva encontrar a menor rota, dentro de uma área, passando ao longo de cada arco pelo menos uma vez, traduzindo-se em um problema de cobertura de arcos (RAIA Jr, 2007). A estes problemas foram inseridas novas restrições quanto à quantidade de veículos, quantidade de depósitos e quanto à capacidade de cada veículo.

Raia Jr (2007) descreve que os problemas de programação de veículos e de tripulações podem ser considerados como problemas de roteirização com restrições adicionais relacionadas aos horários em que várias atividades devem ser executadas. Cada tarefa realizada terá um período de execução, pois, cada ponto de parada pode solicitar que o atendimento seja feito em um horário específico. As condicionantes temporais devem ser consideradas explicitamente no tratamento do problema.

O problema combinado de roteirização e programação de veículos é uma importante variação do problema de roteirização clássico. Existe quando as restrições de janelas de tempo (horário de atendimento) e de precedência de tarefas (coleta deve preceder a entrega e ambas devem estar alocadas ao mesmo veículo) são estabelecidas ao mesmo tempo (NETO e LIMA, 2006; RAIA Jr, 2007). Os pontos para atendimento têm uma ou mais janelas de tempo durante o qual o serviço pode ser executado. O cliente pode desejar que as entregas de mercadorias sejam feitas entre 7:00 horas e 8:00 horas. Desta forma, qualquer rota que envolva esta tarefa deve assegurar que o tempo de entrega esteja dentro dos limites de tempo especificados.

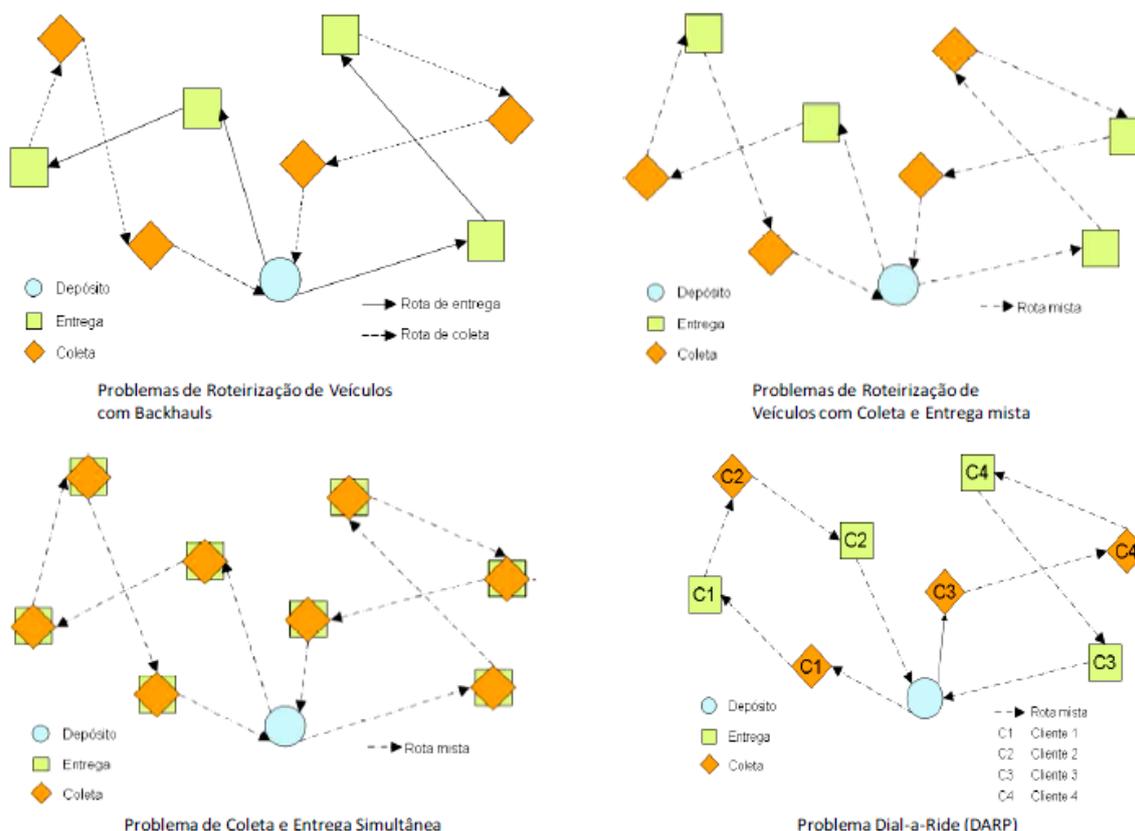
Subramanian (2008) divide os problemas que envolvem coleta e entrega em quatro situações, como ilustrado pela figura 1:

- 1) Problemas de Roteirização de Veículos com Backhauls quando os clientes são divididos em linehauls (clientes que recebem mercadorias) e backhauls (clientes que enviam mercadorias) e os veículos só podem pegar as mercadorias após terem acabado de entregar toda a sua carga.
- 2) Problemas de Roteirização de Veículos com Coleta e Entrega mista é um problema onde a coleta e a entrega pode acontecer em qualquer ordem e os veículos partem e chegam do mesmo depósito.
- 3) Problema de Coleta e Entrega Simultânea trata da situação, em que os veículos partem do depósito com os itens a serem entregues e retornam ao depósito com itens coletados ao longo da rota.
- 4) O Problema *Dial-a-Ride* (DARP) nesse tipo a cargas não é mercadoria, mas pessoas, isto é, os clientes. Neste tipo de transporte podem ser feitos vários carregamentos ou descarregamentos sucessivos. O objetivo é a elaboração de rotas, a um custo mínimo, capazes de acomodar o maior número de passageiros sob certas condições restritivas.

O problemas do tipo “*dial-a-ride*” comumente envolvem o transporte porta-a-porta de pessoas idosas e deficientes (ZNAMENSKY e CUNHA, 1998). A expressão *dial-a-ride* vem do inglês e é empregada para indicar o transporte do tipo “porta em porta”. Em uma tradução literal pode ser percebida como “pedir um passeio”. Essa expressão define um

serviço de transporte de porta-a-porta para pessoas portadoras de necessidades especiais, idosos ou pessoas com problemas de saúde, enfim, aquelas que são incapazes de se deslocar por meio do serviço de transporte público. Deste modo, tem sua maior aplicação em serviços sociais (HAIDEMANN, 2007).

Figura 1- Problemas de roteirização de veículos com coleta e entrega



Fonte: Adaptado de Subramanian, 2008

O "Dial-a-Ride Problem" (DARP) consiste em determinar as rotas de veículos, respeitando os horários de atendimento para cada um dos usuários que especificam as coletas (embarques) e entregas (desembarques). Com objetivo de planejar um conjunto de rotas de custo mínimo, capaz de acomodar tantos usuários quanto possível, levando em consideração um conjunto de restrições. Muitas vezes, o mesmo usuário terá dois pedidos no mesmo dia: um pedido de saída de casa para um destino (por exemplo, um hospital), e um pedido para a viagem de regresso (CORDEAU e LAPORTE, 2003).

De acordo com Kaiser (2009), pode ser intuitivo dizer que os problemas *dial-ride* são apenas problemas de roteirização e programação. No entanto, apesar de possuir características análogas ao serviço de coleta e entrega, existem outros aspectos que os tornam mais complexos. Como o DARP é qualificado pelo transporte, em que as cargas são pessoas e não objetos, a qualidade dos serviços prestados é um fator primordial que necessita ser considerado.

Para Znamensky e Cunha (1998) as restrições de atendimento no DARP podem ser: limitações de capacidade nos veículos; restrições temporais; tempo máximo de permanência de cada passageiro dentro do veículo em trânsito; se possuem um veículo ou múltiplos veículos; uma garagem ou múltiplas garagens. Nesse método os serviços são divididos em coletas e entregas, por isso, é imprescindível que os embarques precedam os desembarques. O problema de roteirização ainda pode, segundo Cordeau e Laporte (2003), ser classificado em modo estático ou dinâmico. No primeiro caso, todas as solicitações de transporte são

conhecidas de antemão, enquanto no segundo os pedidos são realizados ao longo do dia e as rotas dos veículos são ajustadas em tempo real para atender a demanda.

De acordo com Haidemann (2007) o uso de janelas de tempo torna a proposta mais robusta. No entanto, essas janelas de tempo não são as mesmas aplicadas aos problemas de roteirização do transporte de cargas, visto que cada cliente possui duas janelas de tempo: uma associada a sua coleta e outra a sua entrega.

Na literatura são encontradas diversas técnicas utilizadas para a solução de problemas de roteirização (RIBEIRO, 2002). A primeira delas é a exata, que tem como objetivo encontrar a solução ótima para o problema, mas devido à complexidade de alguns problemas, sua utilização é limitada. A segunda é a heurística, que procura encontrar uma solução possível e boa para o problema, mas não necessariamente a ótima. Essa técnica é de grande vantagem, pois pode ser aplicada em vários tipos de problemas. A terceira é a metaheurística que se caracteriza por dar menor rigidez no trato com os problemas gerando uma maior flexibilidade frente aos demais métodos heurísticos. A quarta é o método iterativo que envolve a simulação e montagem de cenários. Esse tipo de técnica permite ao usuário manipular as variáveis do problema. Normalmente, é aplicada a problemas mais reais, porém, a solução encontrada não necessariamente é a ótima, mas em geral, é bem aceitável. A quinta e última técnica é o método combinado que nada mais é do que a utilização de dois ou mais tipos de técnicas de solução (RIBEIRO, 2002).

Devido à complexidade encontrada para a resolução e aplicação de soluções computacionais do problema *dial-a-ride*, para este trabalho foi criado um procedimento operacional que combina a heurística de roteirização de veículos encontrada no TransCAD, como forma de distribuição dos veículos, com uma técnica de ordenamento dos usuários de acordo com o horário de cada requisição.

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O trabalho foi desenvolvido a partir de um levantamento sobre o que há disponível na literatura referente às condições de acessibilidade encontradas atualmente, bem como, as leis que regulamentam o transporte de deficientes em âmbito federal e municipal. Além do uso de Sistemas de Informações Geográficas e a roteirização de pessoas, conhecido como *dial-a-ride*.

Objetivando estabelecer uma integração dos dados em um ambiente de SIG foi definido o procedimento operacional, o qual possibilitou a resolução do problema de roteirização dos passageiros do Transpecial. O procedimento auxiliou na roteirização dos usuários maximizando a satisfação da demanda. Para tanto, dimensionou a frota e escolheu a melhor rota que os veículos devem percorrer, buscando minimizar o tempo total de viagem respeitando o horário de atendimento de todos os clientes.

As informações necessárias para o processo de roteirização do transporte exclusivo de Montes Claros foram: localização das garagens, cadastro georreferenciado de todos os usuários cadastrados e dos destinos de suas viagens (hospitais, clínicas de fisioterapia, faculdade, escolas etc), definição dos clientes atendidos, restrição de horário de atendimento da garagem e dos clientes, rede viária da cidade de Montes Claros e veículos disponíveis.

O procedimento para resolução do problema de roteirização dos passageiros do Transpecial foi criado para o planejamento de um dia normal de funcionamento e foi dividido em cinco etapas:

1. Identificar os usuários que agendaram viagem. Os passageiros devem agendar as viagens com antecedência, informando o destino e os horários de atendimento, geralmente um usuário solicita duas viagens, uma de ida e uma de volta.

2. Dividir as solicitações dos usuários em N rotas. N equivale ao número de veículos disponíveis. Cada veículo ficará responsável por atender uma determinada rota de passageiros.

3. Definir rotas de atendimento. Consiste em determinar quais serão os usuários que cada veículo atenderá. Esta distribuição foi realizada por meio da opção de roteirização de veículos disponível no software TransCAD.

4. Definir o percurso e o horário de todos os ônibus tendo como principal objetivo atender os horários estabelecidos pelas janelas de tempo de cada passageiro. Para isso será necessário ordenar os usuários do primeiro a ser atendido até a última solicitação. Logo após deve-se definir o percurso de cada rota respeitando os horários de cada usuário através da

ferramenta *Shortest Path*, encontrada no TransCAD, que determina o caminho mínimo percorrido em um menor tempo.

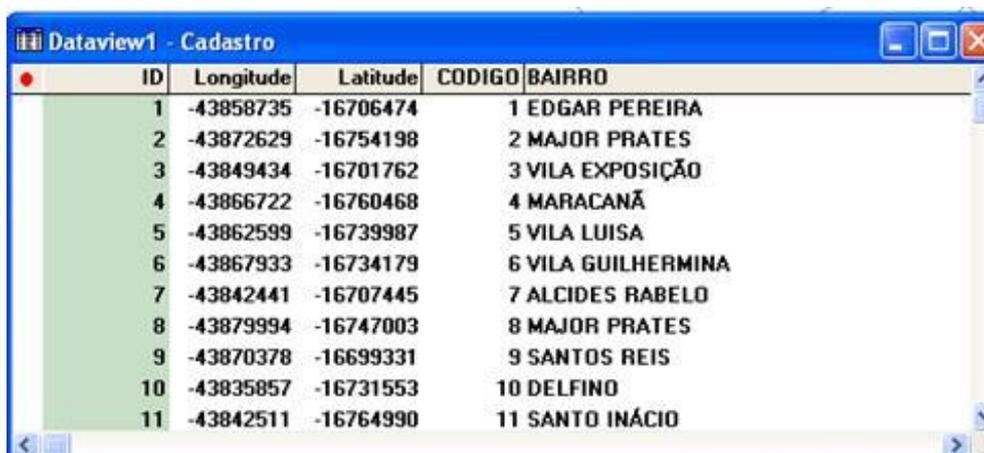
5. Analisar cada rota de atendimento criada. Observar se as janelas de tempo e restrições de capacidade foram respeitadas, se existe algum tempo ocioso no veículo e se novas solicitações podem ser inseridas nesta rota.

Para aplicar o procedimento definido foi necessário criar a base cartográfica georreferenciada do sistema viário urbano de Montes Claros. A Base cartográfica construída software Auto CAD Map 2000, a partir da imagem Quick Bird, com resolução espacial de 0,61 metros. O georreferenciamento dessa base foi no sistema de projeção UTM, fuso 23, com datum de referência o SAD 69, tendo assim um arquivo de saída no formato Shapefile. E com auxílio de ferramentas do *software* TransCAD, foi construída a rede de trabalho de forma a conectar os pontos de embarque e desembarque dos usuários do Transpecial.

A etapa seguinte consistiu na configuração desta rede de acordo com o sentido de fluxo das ruas e avenidas da cidade. É de grande importância o sentido em que são construídas as ligações (*links*) da rede, pois representa uma restrição de via e é essencial para um bom processo de roteirização de veículos. Para que todos os *links* sejam representados como uma rede é necessário criar a Rede de Trabalho.

Com o intuito de obter o banco de dados geográficos confiável dos usuários do Transpecial, criou-se uma catalogação georreferenciada do endereço de todos os cadastrados, contendo o código de identificação utilizado pela empresa pública de transporte de Montes Claros, a MCTrans, o nome completo, a rua, o número da casa e o bairro. Foi criada uma camada de ponto, para este *layer* o *software* automaticamente cria três campos no *dataview*: longitude, latitude e o ID. Os endereços dos usuários e dos pontos de desembarque foram fornecidos pela MCTrans. Esses dados geográficos foram georreferenciados, através de trabalho de campo com receptor geodésico do sistema GPS. A Figura 2 ilustra o banco de dados criado (os nomes e endereços foram ocultados para preservar as identidades).

Figura 2 - Transcad – Cadastro dos usuários do Transpecial



ID	Longitude	Latitude	CODIGO	BAIRRO
1	-43858735	-16706474	1	EDGAR PEREIRA
2	-43872629	-16754198	2	MAJOR PRATES
3	-43849434	-16701762	3	VILA EXPOSIÇÃO
4	-43866722	-16760468	4	MARACANÃ
5	-43862599	-16739987	5	VILA LUISA
6	-43867933	-16734179	6	VILA GUILHERMINA
7	-43842441	-16707445	7	ALCIDES RABELO
8	-43879994	-16747003	8	MAJOR PRATES
9	-43870378	-16699331	9	SANTOS REIS
10	-43835857	-16731553	10	DELFINO
11	-43842511	-16764990	11	SANTO INÁCIO

Para realizar a roteirização de veículos é necessário preparar o *network*, para isso, dois campos novos precisaram ser inseridos no *layer* de linha, o campo contendo a velocidade permitida em cada via - 40 km/h (este valor representa a velocidade máxima permitida em grande parte das vias da cidade), e o campo TIME_MIN, que representa o tempo em minutos necessário para percorrer cada trecho da rede a uma velocidade de 40 km/h.

Também foi preciso preparar os dados a serem usados no *layer* de pontos que representa as localizações dos usuários. Para isto foi necessário inserir mais sete campos. O campo CAPACIDADE indica a capacidade de um depósito (garagem) que é de onde saem os veículos. Neste caso, por exemplo, o ponto com ID =368 é uma garagem com capacidade de 15 unidades. O campo DEMANDA indica a quantidade a ser entregue ou coletada em cada

cliente. Os campos *open_time* e *close_time* indicam os horários de abertura e fechamento das janelas de tempo. O valor 1200, por exemplo, no campo *open_time* indica que o ponto abre às 12:00 horas. O campo *NODE_ID* representa o número do ID da interseção mais próxima ao usuário em questão. Os campos *TEMPOFIXO* e *TEMPOUNIDAD* indicam respectivamente os tempos fixos e por unidade gastos para o atendimento. Nesse caso, todos os pontos demandam um tempo fixo de 5 minutos para o atendimento mais 5 minutos por unidade entregue ou coletada.

Através da opção *Routing/Logistics-Vehicle Routing*, encontrada no TransCAD pode-se resolver o Problema de Roteirização. Nesta etapa são definidas as informações necessárias para o processo de roteirização. Na aba *Mode*: primeiramente se define qual o modo de operação. Logo após, na aba *Depot* é informado quais são os dados referentes aos depósitos (garagens). A aba *Stop*, a terceira informação, é sobre os cadastrados, na qual deve se definir quais viagens se quer roteirizar. A quarta opção, aba *Matrix*, cria a matriz de destinos, que é o tempo mínimo entre todas as garagens e cadastrados através da rede criada. Na última opção, aba *Vehicle* deve se informar os dados sobre os veículos a serem utilizados constando o ID da garagem de origem, a capacidade e a quantidade de veículos. Após serem detalhados todos os elementos necessários para o processo de Roteirização de Veículos, o *software* apresenta um roteiro que deverá ser seguido pelo veículo de entrega/coleta. Nesse roteiro há informações sobre o horário de chegada e saída em cada parada, quantidade entregue, carga total por veículo, distância total percorrida, entre outras.

Como o problema proposto neste trabalho buscou melhorar o atendimento para os usuários do Transpecial, foi usado a ferramenta Menor Caminho (*Shortest Path*), para encontrar o caminho que minimiza o valor total do tempo. Isto porque, se for minimizado o tempo o período restante poderá ser utilizado para o atendimento de novos usuários melhorando o transporte como um todo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo de caso do presente trabalho foi realizado no Transpecial, Transporte Especial para Deficientes Físicos Cadeirantes e Pessoas com Mobilidade Reduzida, na cidade de Montes Claros. O serviço funciona de segunda a sexta-feira, no horário de 06:00 às 23:00 horas, e transporta pessoas que utilizam cadeiras de rodas, próteses ou que tenham a mobilidade reduzida permanentemente, tendo dificuldade de utilizar um ônibus convencional do transporte coletivo urbano. Os veículos utilizados são adaptados com elevadores e, em alguns casos, possuem auxiliares para embarque e desembarque de usuários.

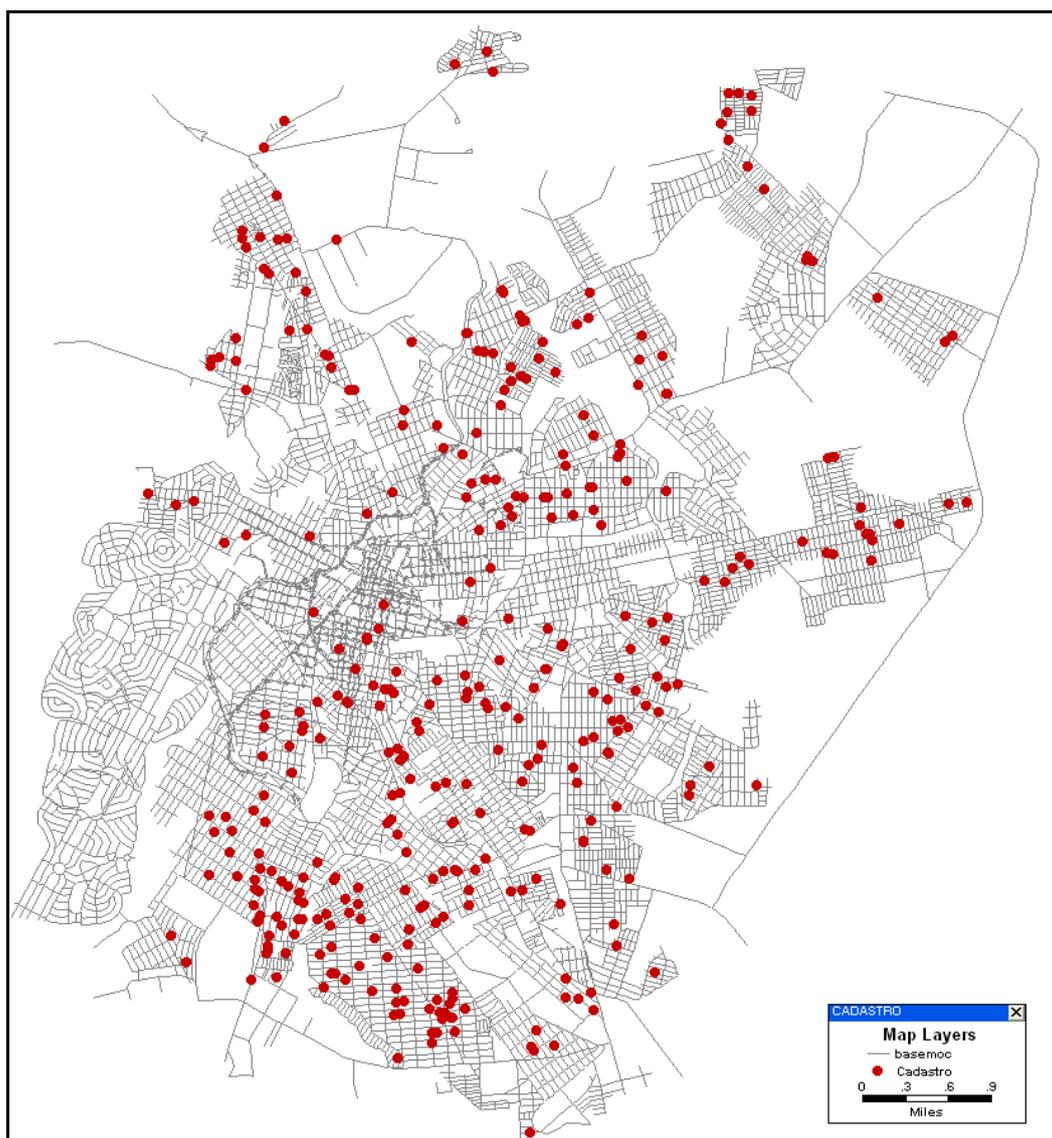
Atualmente, o transporte especial para deficientes possui 376 usuários cadastrados, conforme ilustrado na Figura 3. A frota de veículos é composta por seis microônibus adaptados com lugar para cinco cadeirantes com acompanhantes. Esses veículos fazem o percurso em toda a cidade e vão de porta em porta atendendo às necessidades dos portadores de necessidades especiais, relacionadas à saúde, educação, trabalho e lazer.

Na cidade de Montes Claros o transporte exclusivo para pessoas com restrição de mobilidade é regido pela lei nº 3.580 de 09 de junho de 2006. Essa lei autoriza o poder executivo municipal a criar condições especiais no transporte coletivo urbano para atender, com isenção de tarifa, os deficientes físicos residentes em Montes Claros que utilizam cadeiras de roda ou possuem mobilidade reduzida permanente.

Para aplicação do procedimento operacional proposto foi utilizado o agendamento do período matutino de um dia normal de funcionamento do Transpecial, realizado através do disque Transpecial, serviço realizado com dois dias de antecedência. De acordo com as informações coletadas foram extraídos os seguintes dados: neste dia foram cadastradas 55 requisições de atendimento, sendo 55 viagens de ida e 50 viagens de volta. As requisições foram divididas em 23 no turno matutino, 24 no período vespertino e 9 no noturno. É indispensável constar que as solicitações listadas neste trabalho se referem apenas aos agendamentos que foram aceitos seguindo o critério de atendimento na seguinte ordem: atendimento relativo à saúde, trabalho, educação e lazer.

Para melhor análise e visualização dos dados simulação com o procedimento foi aplicado apenas no turno matutino. Analisando as restrições de janelas de tempo e limitações de capacidade dos veículos que foram respeitadas, bem como a restrição de precedência dos embarques aos desembarques.

Figura 3 - Distribuição dos usuários cadastrados no Transpecial



Para definir as rotas de atendimento foi utilizado a opção de roteirização de veículos encontrada no TransCAD. Através dos dados geográficos de usuários gerou-se um mapa de distribuição contendo seis rotas de atendimento, como exposto na figura 4.

Os microônibus que percorrem as rotas de atendimento 1, 2 e 3 têm como ponto de partida e retorno a garagem da empresa Alprino, localizada no Bairro JK. Já os microônibus das rotas de atendimento 4, 5 e 6 a garagem da empresa Transmoc, no bairro cidade industrial, ambas companhias ficam na parte norte da cidade de Montes Claros.

Na etapa seguinte, que pode ser considerada a etapa mais importante, definiu-se a ordem de embarque e desembarque dos usuários em cada uma das rotas de atendimento e o itinerário que cada ônibus percorrerá. Para isso foi necessário, primeiramente, ordenar os embarques por horário crescente de cada rota de atendimento.

Na sequência operacional realizou-se a representação, no mapa de Montes Claros, de cada percurso criado utilizando ferramenta de edição de rotas disponível no TransCAD. O *software*, através da ferramenta *Shortest Path*, informa qual o tempo em minutos gasto para percorrer o itinerário que realizará o menor período de viagem. Este valor informado corresponderá ao tempo que os veículos estarão em trânsito, se somado a este valor o tempo de embarque e desembarque de cada usuário tem-se o tempo total necessário para atender as solicitações

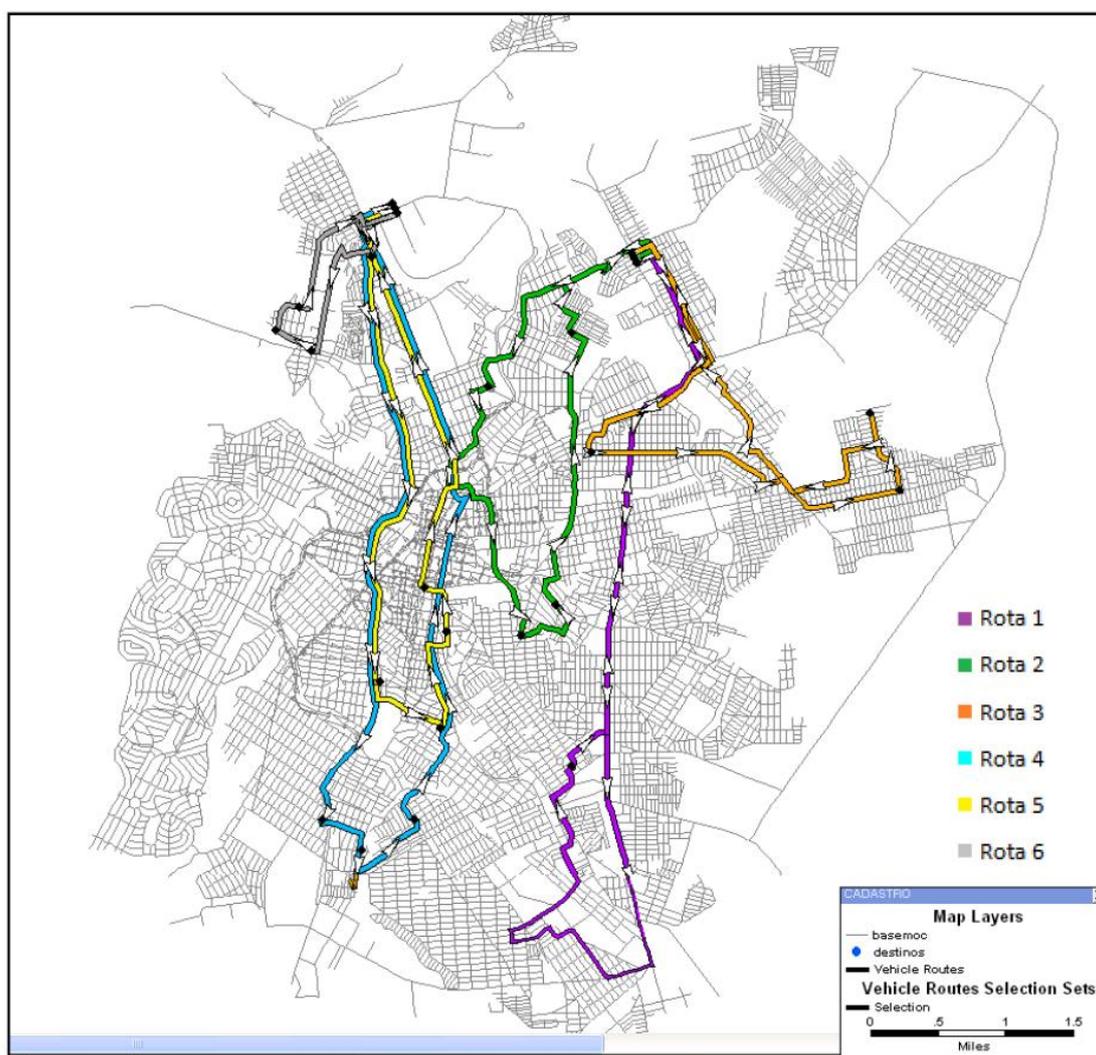
feitas. Considerou-se um tempo médio de 10 minutos para cada embarque ou desembarque. Portanto o cálculo utilizado para o tempo total é:

Tempo Total = (n° de embarques, desembarques)x10min + tempo de veículo em trânsito

A análise dos resultados gerados para o turno matutino indica que as restrições de janelas de tempo e limitações de capacidade dos veículos foram respeitadas, bem como a restrição de precedência dos embarques aos desembarques. Tendo em vista que o turno matutino possui um Tempo de Ciclo de 5 horas e 30 minutos que se inicia às 07:00h e termina às 12:30h, pode-se inferir o tempo ocioso de cada rota através da formula:

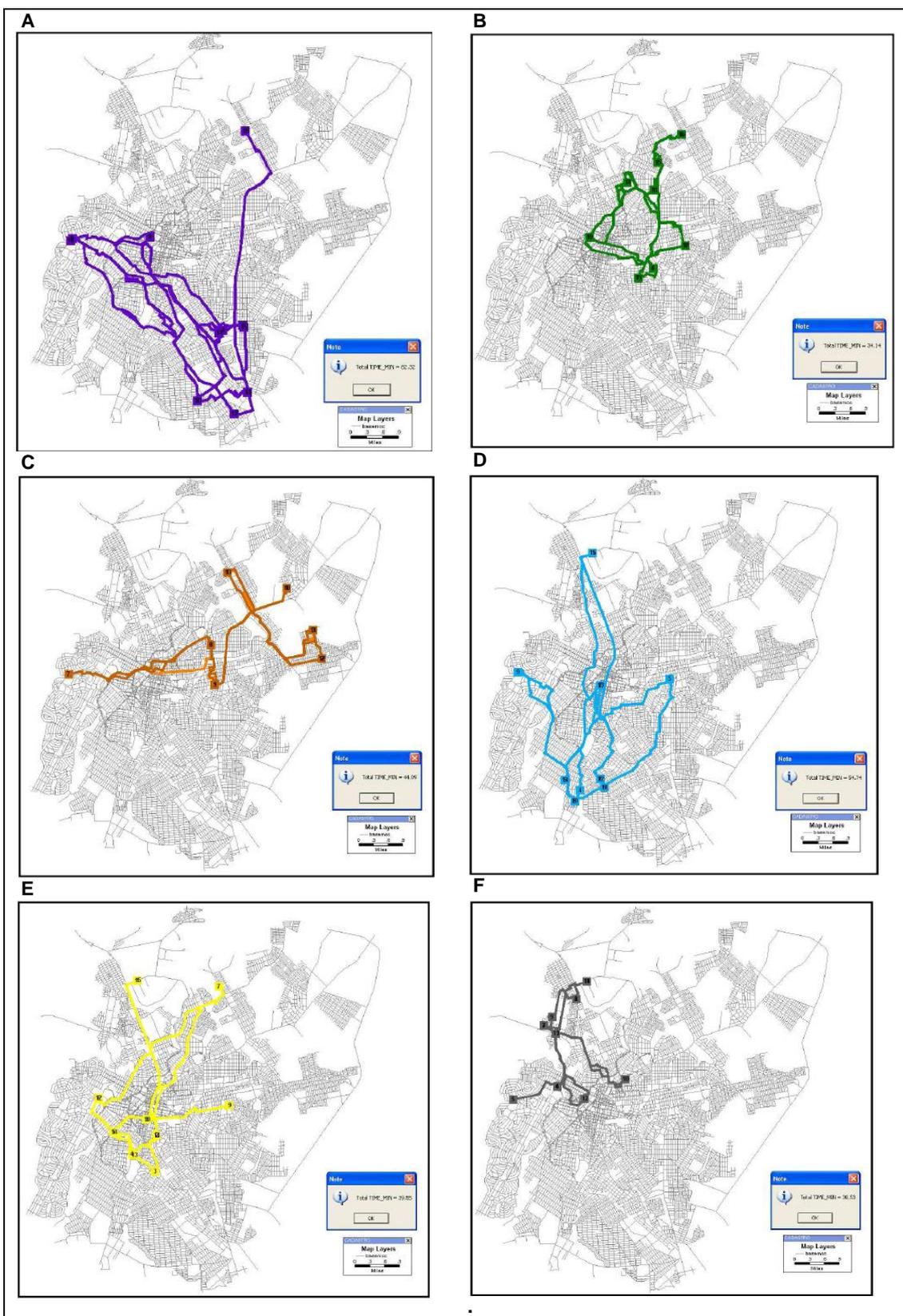
Tempo Ocioso = Tempo de Ciclo – Tempo Total

Figura 4: Rotas de atendimento do transespecial no período matutino



A figura 5 mostra a sequência das rotas de atendimento. O veículo da rota de atendimento 1, representado pela figura 5a, ficou parado por 1 hora e 30 minutos. O veículo da rota de atendimento 2, mostrado na figura 5b, obteve um tempo ocioso de 2 horas e 16 minutos. O veículo da rota de atendimento 3, ilustrado na figura 5c, teve 2 horas e 46 minutos de tempo ocioso. O veículo da rota de atendimento 4, mostrado na figura 5d, ficou parado por 2 horas e 15 minutos. O veículo da rota de atendimento 5, representado na figura 5e, obteve um tempo parado de 2 horas e 31 minutos e o veículo da rota de atendimento 6, ilustrado pela figura 5f, ficou com o tempo ocioso de 2 horas e 40 minutos.

Figura 5 - Rotas de atendimento Matutino do transespecial de Montes Claros*



*A: Rota 1 do transespecial. B: Rota 2 do transespecial. C: Rota 3 do transespecial. D: Rota 4 do transespecial. E: Rota 5 do transespecial. F: Rota 6 do transespecial

Os resultados da roteirização e do cálculo do tempo ocioso no atendimento dos usuários do transporte para portadores de necessidades especiais revelaram que no período da manhã os veículos usados ficam 13 horas e 58 minutos ociosos. Esse tempo poderia ser utilizado para o atendimento de novas solicitações, através de criação de novas rotas, o que reduziria o tempo de espera por esse serviço.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos com a simulação do procedimento operacional proposto para a roteirização do Transporte especial para portadores de necessidades especiais – Transpecial – na cidade de Montes Claros, pode-se afirmar que o procedimento criado conseguiu atender as restrições inerentes ao processo de roteirização *dial-a-ride*. Sendo elas a restrição de precedência de embarque e desembarque, os limites de janela de tempo e limites de capacidade.

A quantidade de tempo ocioso de todos os veículos no turno matutino totalizou em 13 horas e 58 minutos. Atualmente existem solicitações realizadas pelos usuários do Transpecial que não são atendidas. Se for considerado a implementação do procedimento operacional este tempo ocioso poderia ser utilizado para atender estes usuários. A partir do procedimento o órgão gestor poderia planejar o atendimento buscando atender mais pessoas.

Uma alternativa, como sugestão, para atender maior número de pessoas seria criar cadastro de reserva diário. Se após a aplicação do procedimento descrito, respeitando a ordem de prioridade para o atendimento, existir tempo ocioso, essas pessoas não atendidas poderiam ser inseridas nas rotas existentes, conseguindo atender um maior número de usuários, melhorando o transporte exclusivo em geral. Neste trabalho não pôde ser realizada a simulação com os usuários do cadastro de reserva porque esses dados não são computados pela MCTrans. Através da aplicação do procedimento operacional pode-se também realizar o planejamento em um período menor, não necessitando de dois dias de antecedência para o agendamento o que melhora as condições de atendimento dos usuários.

Agradecimento

Agradecemos a FAPEMIG pelo apoio financeiro e pelas bolsas de pesquisa.

REFERÊNCIAS

BOARETO, R. **A política de mobilidade urbana e a acessibilidade das pessoas com deficiências**. I Conferência Nacional dos direitos da pessoa com deficiência “Acessibilidade: você também tem compromisso”. Brasília: CONADE, 2005.

BRASIL. **Lei Federal 10.098 de 19 de dezembro de 2000**. Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.lei.adv.br/6766-79.htm>. Acesso em: 15/10/2010.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, S. A. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CARRARA, C. M. **Uma aplicação do SIG para a localização e alocação de terminais logísticos em áreas urbanas congestionadas**. 246p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia de São Carlos/USP. São Carlos, 2007.

COSTA, G. R. V.; MAIOR, I. M. M. de L.; LIMA, N. M. de. Acessibilidade no Brasil: uma visão histórica. In Seminário e Oficina Acessibilidade, TI e Inclusão Digital, III, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP/Faculdade de Saúde Pública, 2005. 1 Cd-Rom.

CORDEAU, J. F.; LAPORTE, G. The Dial-a-Ride Problem (DARP): Variants, modeling issues and algorithms. **4OR - Quarterly Journal of the Belgian, French and Italian Operations Research Societies**, v. 1. Schloss Dagstuhl and Trier University. 2003. p. 89-101

CUNHA, C. B. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. **Revista Transportes da ANPET**. v. 8, n. 2, 2000, p. 51-74

FU, L. A Simulation Model for Evaluating Advanced Dial-A-Ride Paratransit Systems. **Transportation Research**, Part A, Vol. 36. NSERC. 2002. p. 291-307

HAIDEMANN, P. H. **O Problema Dial-a-Ride Estático**: Estudo de Caso Para o Transporte Escolar. 148p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal do Paraná: Curitiba, 2007.

- HAZARD, D. **Direitos à vista no Brasil da Deficiência**. Salvador: Associação VIDA BRASIL, 2004.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/08052002tabulacao.shtm>. Acesso em: 07/11/2011.
- KAISER, M. S. **Aplicação de Metaheurística Híbrida na Resolução do Problema Dial-a-Ride**. 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro, 2009.
- LOPES, D. P. **Análise dos Deslocamentos dos Usuários do Serviço de Transporte Público para Portadores de Deficiência de Locomoção no Município do Rio de Janeiro**. 96p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro, 2009.
- NETO, A. F.; LIMA, R. da S. Roteirização de Veículos de de uma Rede Atacadista Com o Auxílio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). **Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção**. n. 5, 2006, p.8-39.
- PEREIRA, C. M. C. **Contribuição para modelagem da divisão modal multinomial com base em estimativa de valor do tempo em transportes associada a um Sistema de Informação Geográfica**. 148p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro, 2007.
- RAIA Jr, A. A. **Logística - Notas de Aula**. Apostila. Ufscar, São Carlos, 2007. Disponível em <http://pt.scribd.com/doc/43698047/APOSTILA-DE-LOGISTICA>. Acesso: 20/12/2011.
- RIBEIRO, G. M. **Modelo de apoio ao planejamento de distribuição de carga em área urbana**. 121p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Instituto Militar de Engenharia/IME, Rio de Janeiro, 2002
- ROSA, R.; BRITO, J.L.S. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica**. Uberlândia: Ed. UFU, 1996.
- ROSE, A. **Uma avaliação comparativa de alguns Sistemas de Informação Geográfica Aplicados aos Transportes**. 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia de São Carlos/USP. São Carlos, 2001.
- SUBRAMANIAN, A. **Metaheurística Iterated Local Search aplicada ao Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultânea**. 188p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). PPGE/UFPB, João Pessoa, 2008.
- TEAL, R. F. Implications of Technological Developments for Demand Responsive Transit. **Transportation Research**. v. 1390. Transportation Research Board: Washington, DC, 1993, pp. 33-42.
- ZNAMENSKY, A.; CUNHA, C. B. Um modelo para o problema de roteirização e programação do transporte de deficientes. In Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, XIII, **Anais...** Fortaleza, ANPET, 1998.