



# **RACIONALIZAÇÃO DE REDES DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PASSAGEIROS – UM ESTUDO APLICADO AO TRANSPORTE INTERMUNICIPAL**

**Giovanna Megumi Ishida Tedesco**

**Erika Cristine Kneib**

**Elaine Radel**

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-87893-17-8



# **RACIONALIZAÇÃO DE REDES DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PASSAGEIROS – UM ESTUDO APLICADO AO TRANSPORTE INTERMUNICIPAL**

**Giovanna Megumi Ishida Tedesco**

Instituto Federal de Brasília - IFB

**Erika Cristine Kneib**

Universidade Federal de Goiás - UFG

**Elaine Radel**

Confederação Nacional do Transporte - CNT

## **RESUMO**

A operação eficiente de redes de transporte possibilita a redução dos custos, melhorias na prestação do serviço e a manutenção da competitividade. Contudo, obter um modelo de rede eficiente não é um processo simples e envolve a compreensão e análise de diversos aspectos relacionados à estrutura e operação do sistema. Nesse sentido, este trabalho apresenta uma proposta metodológica para racionalização de redes de transporte rodoviário de passageiros, baseado na análise de redes já existentes e em operação. Considera-se aqui, a melhoria de fatores de natureza endógena, de modo a propiciar eficiência produtiva e de consumo, por meio da redução dos custos operacionais (e, conseqüentemente, redução das tarifas), melhoria do nível de serviço e garantia da qualidade oferecida aos usuários. Para melhor compreensão e avaliação da metodologia proposta, é apresentado um estudo aplicado ao Transporte Rodoviário Intermunicipal de Passageiros.

## **ABSTRACT**

The efficient operation in transportation networks allows the reduction of costs, improving services and the consequently maintenance of the market competitiveness. However, reaching an efficient transportation network isn't a simple process and concerns the understanding and analysis of several aspects related to the structure and operation of the system. This paper presents a methodology for the rationalization of road passenger transportation networks, based on the analysis of existing networks. We consider the improvement of endogenous facts in order to provide economic benefits to the firm and the consumption, by reducing operating costs (and consequently, reducing the tariffs), improving the service, and assuring the quality offered to the consumer. For a better understanding and evaluating of the proposed methodology, we present a case of the Intercity Road Passenger Transportation.

## **1. INTRODUÇÃO**

A busca pela eficiência na operação de redes de transporte de passageiros tem sido tema recorrente nas últimas décadas, como meio de reduzir custos (resultando na redução das tarifas cobradas aos usuários), promover melhorias na oferta do serviço e garantir a competitividade do setor.

Segundo a Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU, 2004), as ineficiências produtivas na operação das redes de transporte oneram os custos e, em função deles, as tarifas aos usuários. Esses são fatores endógenos relacionados aos elevados valores cobrados dos usuários – os quais podem ser reduzidos a partir da racionalização da rede. Já os fatores de natureza exógena, que também afetam as tarifas, são aqueles que estão fora do controle dos gestores: alta nos preços de alguns insumos, incidência elevada de tributos e taxas, dentre outros.

A qualidade relacionada aos fatores endógenos deriva da própria rotina de operação das redes de transporte: baixas frequências, atrasos, interrupções de viagens, problemas de segurança, entre outros, afetam a qualidade do serviço ofertado. Logo, uma rede eficiente resulta da racionalização desses fatores, por meio de uma combinação entre eficiência produtiva e eficiência de consumo (NTU, 2004). Eficiência produtiva é entendida como a utilização

racional dos recursos disponíveis para a produção dos serviços de transporte; é fundamental na medida em que condiciona os custos (e, portanto, os preços) e sua sustentabilidade econômico-financeira no longo prazo. Eficiência de consumo, por sua vez, é o que se denomina qualidade do serviço, geralmente associada a variáveis como cobertura do serviço, horários, tempo de viagem, segurança, lotação, confiabilidade.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta uma proposta metodológica para racionalização de redes de transporte rodoviário de passageiros, a partir da análise de fatores endógenos, visando atingir eficiência produtiva e de consumo. A metodologia desenvolvida é aplicada ao transporte intermunicipal de Goiás e os resultados da racionalização proposta são avaliados por meio de análise comparativa com a rede de transporte atual. Assim, observou-se que a aplicação da metodologia resultou na redução do número de linhas, da quilometragem percorrida e da frota necessária à operação da rede, bem como no aumento do Índice de Passageiros por Quilômetro (IPK), que indica ganhos de produtividade do sistema de transporte de passageiros.

## **2. REDES**

Nos últimos anos evidenciou-se um pluralismo teórico crescente no campo da teoria de redes. Nohria (1992), afirma que pelo menos desde 1950 o conceito de redes tem ocupado lugar de destaque em diversos campos de estudo, como antropologia, psicologia, sociologia e biologia molecular. Segundo Huapu e Ye (2007), uma rede é composta de vértices e arestas. Dessa forma, o interesse de diversas ciências em redes se justifica pelo fato de muitos sistemas no mundo real poderem ser descritos como redes, com os atores representando os vértices e as relações mútuas entre os indivíduos representando as arestas.

Esse interesse geral em redes é considerado recente por Ferber *et al.* (2009). Em seus estudos, o autor classifica as redes como provenientes de sistemas naturais ou resultantes da ação do homem sobre a natureza. Como exemplo de redes resultantes da ação do homem, ou redes projetadas, apresentam-se as redes de energia, *internet*, redes de telefone e redes de transporte. Por outro lado, as redes metabólicas e as redes neurais são exemplos de redes naturais.

Independentemente do campo de estudo, ressalta-se o caráter sistêmico da abordagem de redes: uma rede é entendida como um conjunto de elementos interdependentes, que interagem por meio de processos para produzir um resultado ou uma saída (Chiavenato, 2000; Maximiano, 1997). Relacionando a abordagem sistêmica de Bertalanffy (2010) com o estudo de redes, tem-se que as redes são conjuntos de unidades relacionadas, seguindo os princípios de finalidade e de totalidade. A finalidade está relacionada ao objetivo da rede e determina a combinação que visa alcançá-lo. Por sua vez, a totalidade, ou globalismo, considera que “o todo” representa mais que a soma de suas partes, de modo que alterações em qualquer parte do sistema afetem todas as partes da rede, devido às relações existentes entre elas.

### **2.1. Classificação de redes**

Quanto à classificação de redes, Mello *et al.* (2010) explica que existem diferentes critérios, relacionados aos aspectos de suas estruturas. Assim, redes podem ser:

- i. Direcionadas ou não direcionadas: se as arestas apresentam ou não um sentido definido;
- ii. Ponderadas ou não ponderadas: se existe uma escala de “importância” associada às conexões entre os nós da rede (nas redes não ponderadas, todas as conexões têm a

- mesma importância);
- iii. Esparsas ou densas: se os vértices apresentam uma quantidade pequena ou significativa do total de ligações;
- iv. Conectadas ou não conectadas: se existem nós isolados ou se toda rede está conectada em um grande cluster;
- v. Dinâmicas ou estáticas: se as redes evoluem ao longo do tempo (ou seja, se as conexões são diferentes em instantes diferentes) ou são estáticas.

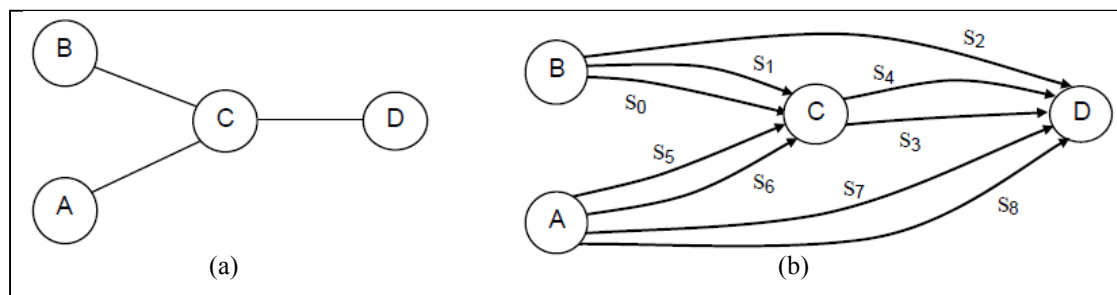
Além das características estruturais, conforme afirma Izawa (2010), outras propriedades das redes são importantes, tais como subgrafos, comprimento, coeficiente de aglomeração, entre outros. Não obstante, Santos (1996), no campo da geografia, e Nohria (1992), ao estudar a teoria das organizações, atentam para o cuidado que se deve ter ao utilizar o conceito de redes. De acordo com tais autores, o fato de o termo ser frequentemente empregado nas ciências sociais, nas ciências exatas, e na vida real, pode causar algumas imprecisões ou ambiguidades. Dessa forma, torna-se necessário analisar a pertinência da aplicação do conceito de redes no contexto estudado (racionalização de redes de transporte), e definir as características inerentes ao objeto de estudo.

Destaca-se que as redes constituem objetos de análise multidisciplinares e multifacetados, de modo que são analisadas de acordo com a ótica utilizada por cada ciência. Nesse artigo o conceito de redes será aplicado à análise de sistemas de transportes.

## 2.2. Redes de transporte

Conforme explica Márquez (2011), uma rede de transporte consiste em um grafo  $G(N, A)$ , onde  $N$  é o conjunto de nós e  $A$  é o conjunto de arcos. Os arcos representam a infraestrutura combinada de transporte e os nós unem os arcos adjacentes, caracterizando o que o autor chama de *topologia da rede*. Existem, segundo o autor, alguns nós especiais, denominados *centroides*, que representam, por exemplo, os pontos que geram ou atraem maior demanda; estes centroides estão conectados à rede por meio de arcos também especiais, denominados *conectores de centroide*. Estes seriam arcos fictícios de acesso e saída da rede.

Já Crainic (2003) apresenta uma abordagem diferenciada, em que explica que uma rede de transportes pode representar tanto uma estrutura física quanto uma rede de serviços. Graficamente, as duas estruturas apresentam a mesma composição: existem nós (ou vértices) e ligações (arestas ou arcos), conforme representado na Figura 1.



**Figura 1:** Exemplo de rede física (a) e a correspondente rede de serviços (b)

Aplicando o conceito de Crainic (2003) ao transporte ferroviário, Campos *et al.* (2010) explicam que os arcos na rede física representam as vias de circulação (linhas férreas), ao

passo que os arcos na rede de serviços representam diferentes tipos de serviços ofertados; em ambos os grafos, os nós representam, para o caso analisado, pátios ferroviários. Assim, conforme demonstrado na Figura 1, os nós são constantes nos dois tipos de redes, enquanto os arcos divergem entre elas.

Huapu e Ye (2007) apresentam algumas propriedades das redes de transporte público, sob a ótica da rede de serviços anteriormente definida. Assim, redes de transporte público consistem, basicamente, de dois elementos: linhas de ônibus (os arcos) e estações de ônibus (os nós da rede). Uma rota ou linha é formada por um número de estações. Sob circunstâncias normais, passageiros podem movimentar-se da estação “A” à estação “B” ao longo de uma via (o que remete ao conceito de rede física) e, então, movimentar-se da estação “B” à estação “A” utilizando a mesma via. Portanto, segundo os autores, redes de serviço de transporte público são geralmente tratadas como grafos não-direcionados.

Huapu e Ye (2007) destacam ainda, que redes de transporte público geralmente apresentam duas propriedades comuns, independente do caso analisado: de crescimento e de “ligações preferenciais”. Os autores explicam que, assim como a expansão das cidades e decorrente aumento do tráfego, o crescimento da rede de transporte também é inevitável (propriedade de crescimento). No entanto, esse aumento não é ilimitado e o processo de crescimento inclui mudanças, acréscimo e exclusão de linhas e rotas. Há, também, nas redes de transporte público, alguns *centros* que, por exercerem papel chave nas redes de transporte, atraem a criação de novas estações ou novas linhas, gerando um crescimento da rede nem sempre linear. Assim, a probabilidade de um nó novo, decorrente do crescimento da rede, conectar-se ao nó existente não é uniforme, mas existe uma tendência ou probabilidade maior de um nó conectar-se ao nó que já tem um grande número de conexões (propriedade de ligações preferenciais).

### **3. RACIONALIZAÇÃO DE REDES**

Em decorrência do pluralismo teórico acerca da teoria de redes, a racionalização e a melhoria na eficiência de redes apresentam-se como interesses comuns em diferentes áreas do conhecimento, como telecomunicações, redes de distribuição de água, construções de estradas, administração logística e sistemas de transporte. Em cada uma dessas áreas pode-se observar características diferentes em relação ao processo de melhoria, que em muitos casos busca a otimização na operacionalização dos serviços.

Na área de telecomunicações, por exemplo, a melhoria da rede está ligada à “maximização da utilização dos equipamentos presentes para a interligação dos clientes às estruturas de transmissão e, minimização dos custos inerentes (pessoal, equipamentos)” (Ferreira, 2000, p. 12). Em redes de distribuição de água, a melhoria refere-se às cargas hidráulicas, consumos dos nós e as vazões e diâmetros dos trechos (Tebcharani, 2007). Nesse tipo de rede, a relação antagônica entre custo e confiabilidade faz com que a maximização da confiabilidade aumente o custo da rede, enquanto custos menores implicam na diminuição dos diâmetros dos trechos, prejudicando a confiabilidade da rede.

Por outro lado, em redes de rodovias os principais fatores a serem considerados na racionalização são: (i) a minimização do custo total de construção e manutenção das rodovias e (ii) a minimização do esforço de se alcançar qualquer destino a partir da origem, através da ligação mais curta entre os pontos (Schweitzer, Ebeling, Rose, & Weiss, 1998).

A partir dos exemplos citados é possível observar que as redes possuem características próprias, relacionadas à estrutura, funções, dinâmica, entre outras. Contudo, algumas questões são comuns no que se refere ao processo de racionalização de redes. Assim, de acordo com Gupte *et al.* (2005), independentemente da rede que será modificada:

- i. a estrutura de conectividade e a capacidade do nó são cruciais para o desempenho e eficiência da rede;
- ii. a análise simultânea da capacidade e conectividade podem otimizar o desempenho, de modo a se obter uma visão sistêmica de todo o processo de melhoria;
- iii. as características distintas da estrutura da rede tem consequências cruciais para diversos processos, de modo que as estratégias de racionalização devem considerar tanto a estrutura como a função da rede e;
- iv. diversas alternativas de redes são inexploradas no processo de melhoria.

Nesse contexto, a partir desses pressupostos básicos à racionalização e melhoria de redes, pode-se delimitar o objeto de estudo.

De acordo com Steenbrink (1974), as decisões acerca da racionalização de rede de transportes devem ser tomadas em função dos custos e benefícios envolvidos, de modo que os modelos devem levar em consideração as combinações desses fatores a cada modificação realizada na rede e avaliar seus ganhos em relação à eficiência.

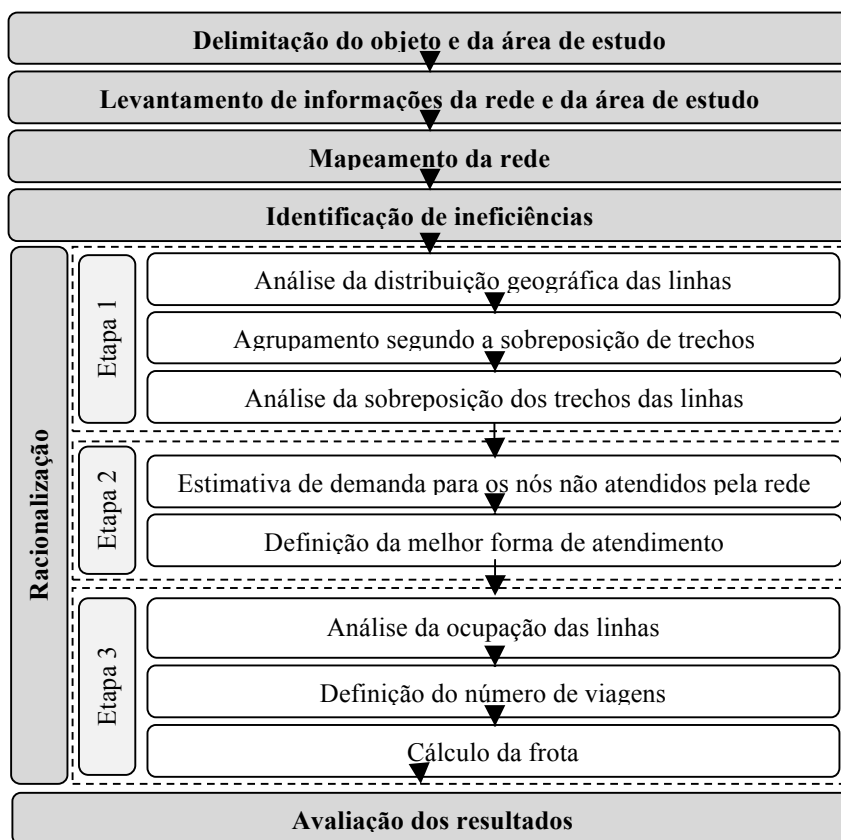
No setor de transporte de cargas o conceito da roteirização é central à questão da racionalização de redes, sendo geralmente feita com base em algoritmos específicos, por meio dos quais busca-se chegar a caminhos e custos mínimos obedecendo a uma série de restrições, tais como horários, capacidade dos veículos e dos arcos ou nós, mão-de-obra, frota disponível, entre outros. Nesse campo, há diversos estudos, tais como o de Márquez (2011) que apresenta uma modelagem aplicada ao transporte de carbono na Colômbia, utilizando o mapeamento da rede e os fluxos de oferta e demanda para identificar as melhores rotas; o de Silva e Tedesco (2007) aplicado à racionalização de rotas de transporte escolar rural e o de Lehmann, Pizzolato e Rodrigues (2009) aplicado às rotas de transporte aéreo de cargas.

Quanto ao transporte de passageiros, há relatos de experiências de planejamento, implantação e operação de redes de transporte urbano, como apresentado por Taco *et al.*, (2006) e pela compilação de casos da NTU (2004). Nesse contexto, o desenvolvimento da metodologia aqui apresentada justifica-se devido à crescente necessidade de melhoria e de redução dos custos no transporte e pelo fato de a racionalização de redes de transporte de passageiros ter sido mais estudada em redes urbanas, sendo menos frequentes os estudos aplicados em redes de transporte de passageiros com deslocamentos de média e longa distância, como é o caso do transporte intermunicipal.

#### **4. METODOLOGIA PROPOSTA E APLICAÇÃO AO OBJETO DE ESTUDO**

A metodologia para a racionalização de redes aqui proposta tem como objeto a melhoria de redes de transporte existentes, sendo que o objetivo do procedimento é obter ganhos relativos à situação atual de determinada rede, considerando aspectos estruturais e operacionais. Assim, são apresentadas, na Figura 2, as principais etapas envolvidas neste processo, iniciado a partir do diagnóstico da rede existente e finalizado com a avaliação dos resultados da racionalização desta. Cada etapa apresentada na Figura 2 é detalhada a partir de sua aplicação à rede

intermunicipal de passageiros do estado de Goiás, de modo a propiciar uma visão mais clara dos conceitos e análises realizadas.



**Figura 2:** Metodologia proposta para racionalização de redes de transporte rodoviário de passageiros

#### 4.1. Delimitação do objeto e da área de estudo

A primeira etapa da metodologia desenvolvida diz respeito à definição do objeto e da área de estudo. Considerando que o objeto de estudo é uma determinada rede de transportes, cabe definir a abrangência da rede a ser modificada (identificando seus nós e ligações) e sua delimitação geográfica.

No presente trabalho, o objeto de estudo constitui-se de uma rede de transporte rodoviário intermunicipal de passageiros que apresenta os limites do estado de Goiás como sua área de abrangência (limite de atuação da rede intermunicipal). A importância da delimitação da área e dos limites geográficos da rede se dá pelo fato de os nós e ligações afetarem e serem afetados pelo ambiente em que estão inseridos.

#### 4.2. Levantamento de informações

O levantamento de informações acerca do objeto de estudo constitui etapa primordial do diagnóstico de uma rede de transportes que, por sua vez, é a base para a realização do processo de racionalização com a busca de melhorias em relação à situação presente. Isto porque, como afirma Tedesco (2008, p. 155), “não é possível estruturar um processo de planejamento condizente, para melhoria do sistema de transportes, sem o conhecimento do estado em que se encontra este sistema”.

Assim, as informações levantadas na presente etapa subsidiam o diagnóstico da rede e a identificação de suas possíveis ineficiências. Constitui-se, portanto, o *input* necessário à definição da estratégia para atingir o resultado (racionalização da rede) e diz respeito à obtenção das informações sobre a rede e o ambiente em que está inserida, que servirão de base para posteriores análises de melhoria.

Em relação ao estudo de caso aplicado à rede intermunicipal de passageiros do estado de Goiás, foram consideradas informações relativas à estrutura de linhas, dados de movimentação e dados operacionais. Os dados foram coletados junto à Agência Goiana de Regulação, Controle e Fiscalização de Serviços Públicos (AGR), Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e por meio de pesquisas de campo.

Por outro lado, os dados que caracterizam a área de estudo, ou seja, o estado de Goiás, foram coletados junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), à Superintendência de Estatísticas, Pesquisa e Informações Socioeconômicas (Sepin/Segplan), ao Departamento Nacional de Trânsito (Denatran), entre outros. Os dados incluíram variáveis demográficas (população, densidade demográfica e taxa de crescimento geométrico da população), variáveis econômicas (PIB, PIB per capita, consumo de energia elétrica industrial e comercial e a frota veicular) e variáveis socioculturais (IDH, número de estabelecimentos de ensino, número de empregos formais, rendimento médio e número de estabelecimentos hospitalares).

Ressalta-se que a lista de informações utilizada neste estudo de caso não é exaustiva, podendo estender-se de modo à melhor subsidiar a racionalização das redes de transporte.

### **4.3. Mapeamento da rede**

O levantamento de informações subsidia o mapeamento da rede (reprodução dos dados em bases espaciais). Nesta etapa, as ligações (linhas de transporte intermunicipal, neste caso), os nós (sede dos municípios) e outras informações foram georreferenciadas utilizando-se de um software de Sistema de Informações Geográficas (SIG). A importância dessa etapa está na necessidade de análise da estrutura da rede de transportes de acordo com a área em que está inserida, e também da sobreposição dos trechos e a interligação entre os componentes da rede.

### **4.4 Identificação das ineficiências**

O diagnóstico de uma rede apresenta as condições em que ela se encontra, possibilitando qualificá-la conforme os parâmetros elegidos para avaliá-la. Todas as condições operacionais discrepantes e divergentes de uma operação planejada ou ideal constituem falhas e ineficiências da rede. Identificar lacunas e partir dessas ineficiências permite direcionar esforços do processo de racionalização.

Assim, no presente estudo, após a coleta de informações e o mapeamento das linhas seguiu-se com a identificação de ineficiências da rede. Ressalta-se:

- i. Grande número de sobreposições: foram identificadas várias linhas que se sobrepõem em trechos do itinerário, inclusive com a existência de diversas linhas idênticas ou muito semelhantes. Linhas idênticas são aquelas que possuem itinerários e seções iguais (Figura 3), enquanto linhas semelhantes são aquelas que possuem elevado percentual de trechos sobrepostos (Figura 4).





**Figura 3:** Exemplo de linhas idênticas



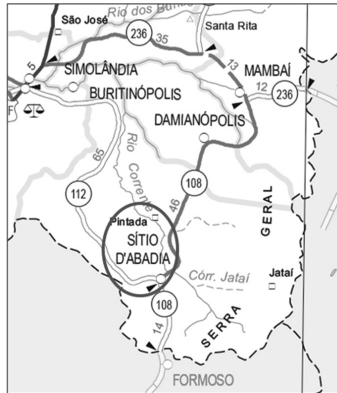
**Figura 4:** Exemplo de linhas semelhantes

- ii. Existência de linhas que não atravessam os limites municipais: o transporte intermunicipal de passageiros pode ser definido como aquele que realiza o transporte dos usuários dentro dos limites do estado, levando passageiros de um município a outro. Dessa forma, as linhas que não atravessam o limite do município não devem ser consideradas como componentes da rede de transporte intermunicipal (Figura 5).



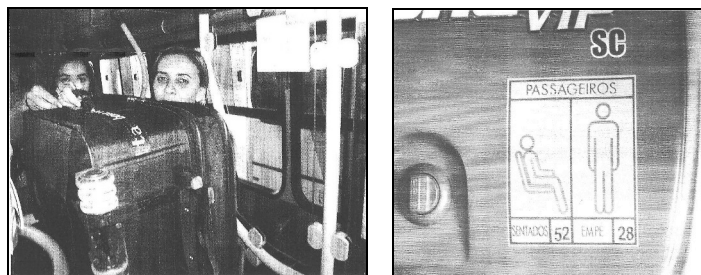
**Figura 5:** Exemplo de linha que não atravessa os limites municipais

- iii. Oferta de viagens: foram identificadas linhas que realizam apenas uma viagem por semana; demandas intermunicipais atendidas pelo sistema interestadual e linhas que apresentam itinerários diferentes, de acordo com o horário e a ocupação.
- iv. Municípios não atendidos: dos 246 municípios do estado de Goiás, observou-se que 4% não eram atendidos pela rede intermunicipal de transporte de passageiros. Guarani de Goiás, Lagoa Santa e Sítio d'Abadia (Figura 6), são exemplos de municípios não atendidos pela rede de transporte intermunicipal de passageiros.



**Figura 6:** Exemplo de município não atendido

- v. Transporte de passageiros em pé: verificou-se a existência de diversas linhas transportando passageiros em pé em viagens longas e em trechos rodoviários de alta velocidade, o que pode comprometer a segurança do usuário. Na Figura 7 observam-se passageiros sendo transportados em pé e carregando bagagens, o que pode gerar desconforto e agravar a situação em caso de acidentes.



**Figura 7:** Transporte de passageiros "em pé"

#### 4.5 Racionalização

Identificadas as ineficiências e inadequações da rede de transporte analisada, partiu-se para o processo de racionalização. Nesse contexto, fala-se em processo pela ideia sequencial de etapas realizadas para atingir algum resultado ou objetivo previamente estabelecido – no caso, a melhoria do desempenho da rede em função da redução dos custos e melhoria na qualidade da prestação do serviço ao usuário.

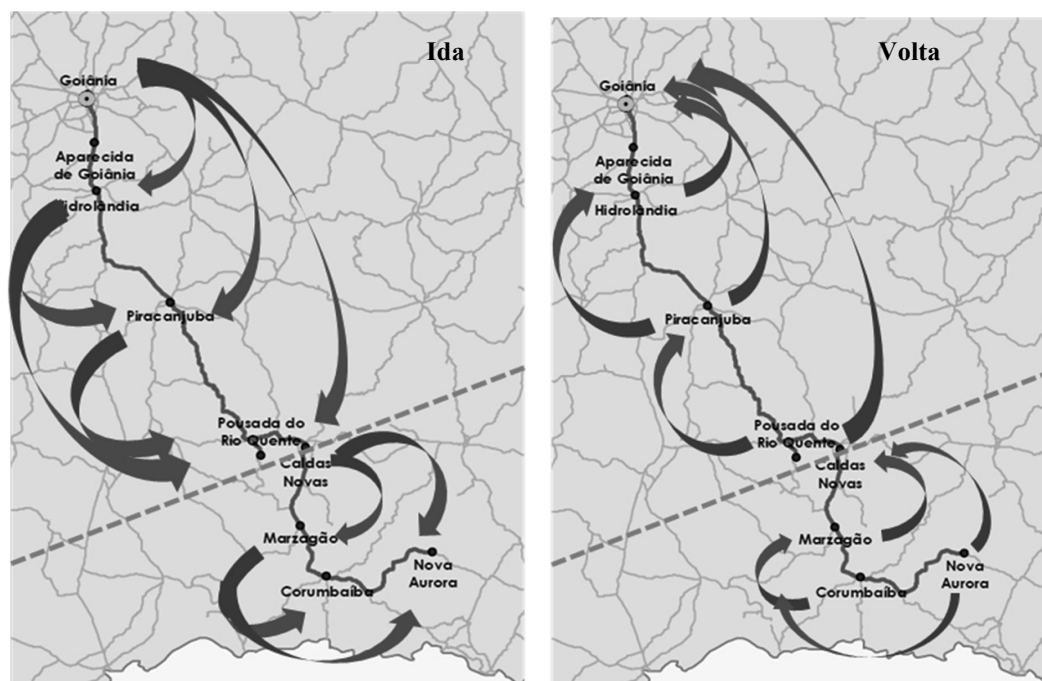
##### 4.5.1 Etapa 1

Consiste da decisão acerca da união, seccionamento ou manutenção das linhas da rede analisada. A união das linhas refere-se à junção de sua operação; o seccionamento refere-se à repartição das linhas, resultando em duas ou mais linhas mais curtas que a primeira; por fim, a manutenção refere-se a *não-modificação* das linhas existentes.

Assim, a partir das linhas georreferenciadas foi iniciada a análise estrutural da rede e o agrupamento das linhas. O principal objetivo da análise de agrupamentos foi criar conjuntos de linhas que apresentassem características similares de distribuição geográfica e trechos sobrepostos. Ressalta-se que nessa análise uma mesma linha pôde compor diversos grupos. Em seguida, as linhas idênticas foram unidas e as linhas semelhantes foram analisadas de acordo com o perfil de carregamento e as características operacionais, tais como localidades atendidas, oferta de viagens, frequência e horários, número de passageiros transportados etc.

A partir dessa análise, linhas mais curtas cujos trechos já eram atendidos por linhas mais longas e com maior frequência de viagens, dadas as mesmas características operacionais, foram unidas. Por outro lado, se as linhas mais curtas apresentavam maior frequência de atendimento comparativamente às linhas mais longas, não ocorreu união, posto que a linha resultante teria que ofertar um número maior de viagens, ocasionando ociosidade e aumento dos custos operacionais.

Posteriormente, as linhas foram analisadas quanto ao perfil de sobe-e-desce (considerando viagens de ida e volta), de modo a identificar os pares de origem-destino dentro da linha e verificar a viabilidade de seccioná-las. De modo simplificado, durante a análise da linha de denominação *Goiânia – Nova Aurora* (Figura 8), por exemplo, observou-se que nas viagens de *ida* os passageiros que subiam em Goiânia, Aparecida de Goiânia, Hidrolândia, Piracanjuba, e Rio Quente não tinham como destino municípios posteriores a Caldas Novas. Da mesma maneira, em viagens de *volta*, os passageiros com origem em Nova Aurora, Corumbaíba e Marzagão não tinham como destino municípios depois de Caldas Novas. Dessa forma, a racionalização sugere o seccionamento da linha, com a criação de duas novas: *Goiânia – Caldas Novas* e *Caldas Novas – Nova Aurora*.



**Figura 8:** Exemplo de seccionamento de linhas

#### 4.5.2 Etapa 2

Os nós não atendidos pela rede, identificados no levantamento das ineficiências, devem ter sua demanda “potencial” considerada na melhoria da rede analisada, permitindo ganhos de escala e melhoria no atendimento. No presente estudo, os municípios não atendidos (nós da rede) tiveram sua demanda estimada a partir da análise estatística e espacial comparativa com os municípios já atendidos. Estimada a demanda, foram analisadas as alternativas de atendimento, podendo resultar da extensão de ligações próximas aos municípios não atendidos ou da criação de novas linhas.

### 4.5.3 Etapa 3

Definidas as linhas que compõem a proposta de rede, parte-se para a etapa de análise de ocupação, estimativa do número de viagens e cálculo da frota que seria necessária para operação da rede. A análise de ocupação (perfil de carregamento) possibilitou a identificação dos trechos mais carregados de cada linha. Por sua vez, a estimativa da quantidade de viagens necessárias ao atendimento da demanda baseou-se nos picos de ocupação de cada linha (considerando a ocupação de viagens de ida e volta) e nas flutuações temporais observadas.

Após a estimativa do número de viagens, foi calculada a frota necessária para transportar a demanda de cada linha. Foram considerados alguns parâmetros operacionais como, por exemplo, a condição das vias, a estimativa de velocidade média de tráfego, o intervalo operacional dos veículos (tempo diário disponível para operação), o tempo médio de parada para embarque/desembarque, o tempo médio para alimentação/descanso dos passageiros e tripulação e o tipo de veículo a ser utilizado.

### 4.6 Avaliação dos resultados

A importância de avaliar o processo de melhoria está em verificar em que medida os objetivos de racionalização da rede foram alcançados. Dessa forma, a avaliação dos resultados foi realizada por meio da comparação da rede modificada com dados da rede existente. Considerando a adequação do serviço na análise de ambas as redes, no presente estudo foram definidos os seguintes parâmetros: quantidade de linhas; quilometragem percorrida; índice de passageiros por quilômetro e frota. Em comparação à rede atual (Figura 9), a racionalização da rede resultou em um modelo com quantidade de linhas 47% inferior, e com menor quantidade de veículos (25% a menos). Ademais, a rede modificada movimentou o mesmo volume de passageiros, percorrendo uma quilometragem 8% inferior, o que resulta em um IPK 14% maior.



Figura 9: Análise comparativa entre a rede existente e a proposta de racionalização

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A racionalização de redes de transporte rodoviário de passageiros mostra-se necessária devido a diversos fatores. Por um lado, se justifica pela constante necessidade de melhoria de serviços e de redução dos custos de transporte e, por conseguinte, das tarifas cobradas aos usuários. Por outro, a racionalização resulta em maior organização do sistema de transporte, facilitando a regulação e fiscalização estatal.

O processo pode ser feito com apoio de modelos matemáticos de otimização de redes, mas pode ser desenvolvido, também, com o apoio do conhecimento de especialistas, operadores e gestores da rede analisada, uma vez que nem todos os órgãos, estados e municípios envolvidos contam com softwares e técnicos especializados em processos de otimização.

Nesse sentido, a aplicação da metodologia proposta apresenta resultados consideráveis, indicando que ela pode ser uma importante ferramenta para planejamento e gestão de redes de transporte. Apesar de ainda não implementada pois o estudo encontra-se em andamento, destaca-se que esse processo possibilita a racionalização de outras redes existentes de maneira menos custosa se comparada à estruturação de uma nova rede. Ademais, a metodologia não desconsidera o processo de formação de determinada rede, facilitando, possivelmente, a aceitação e adaptação por parte dos diferentes atores.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bertalanffy, L. von. (2010). *Teoria geral dos sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações* (5th ed., p. 360). Petrópolis: Vozes.
- Campos, L. B., Monteiro, M., & Pompermayer, F. M. (2010). Modelo integrado de apoio ao planejamento da rede de serviços no transporte ferroviário de cargas: aplicação para transporte de minério de ferro. *Transportes*, v. XVIII(n. 2), 62-71.
- Chiavenato, I. (2000). *Introdução geral da administração* (6th ed., p. 700). Rio de Janeiro, RJ: Elsevier.
- Crainic, T. G. (2003). Long-haul freight transportation. In R. W. Hall (Ed.), *Handbook of Transportation Science* (2nd ed., pp. 451-516). Kluwer.
- Ferreira, S. M. (2000). *Algoritmos de otimização para redes de telecomunicações*. UFMG, Minas Gerais.
- Gupte, N., Singh, B., & Janaki, T. (2005). Networks: structure, function and optimisation. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 346(1-2), 75-81.
- Huapu, L., & Ye, S. (2007). Complexity of Public Transport Networks, 12(2).
- Izawa, M. M. (2010). *Modelagem do Sistema de Transporte Urbano do Distrito Federal por Redes Complexas*. Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Lehmann, L. B., Pizzolato, N. D., & Rodrigues, G. B. de S. (2009). Problemas de roteirização: um estudo de caso do Correio Aéreo Nacional da Força Aérea Brasileira utilizando a metodologia Clarke-Wright. *Anais do XXIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET*.
- Maximiano, A. C. A. (1997). *Teoria geral da administração: da escola científica a competitividade em economia globalizada* (p. 371). São Paulo, SP: Atlas.
- Mello, B. A., Cajueiro, D. O., Gomide, L. H. B., Vieira, R., & Boueri, R. (2010). Teoria de redes complexas e o poder de difusão dos municípios. *IPEA - Textos para discussão, TD n. 1484*.
- Márquez, L. G. (2011). Optimización de una red de transporte combinado para la exportación del carbón del interior de Colombia. *Revista EIA - Escola de Ingeniería de Antioquia*, (n. 16), 103-113.
- NTU. (2004). *Sistema Redes: construindo redes de transporte público de qualidade*. Brasília, DF: NTU - Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos.
- Nohria, N. (1992). Is a network perspective a useful way of studying organizations. In N. Nohria & R. G. Eccles (Eds.), *Leading organizations perspectives for a new era* (pp. 1-22). Boston, Massachusetts: Harvard Business School Press.
- Pimenta, D. J. (2001). *Algoritmo de Otimização para o Problema de Roteamento de Veículos no Transporte Conjunto de Cargas e de Passageiros*. Belo Horizonte, MG.
- Santos, M. (1996). *A natureza do espaço e tempo, razão e emoção*. São Paulo, SP: Hucitec.
- Schweitzer, F., Ebeling, W., Rose, H., & Weiss, O. (1998). Optimization of Road Networks Using Evolutionary Strategies. *Evolutionary Computation*, 5(4), 419-438.
- Silva, A. R. da, & Tedesco, G. M. I. (2007). Metodologia para roteirização do Transporte Escolar Rural. *Anais do XXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET*. Rio de Janeiro, RJ.
- Steenbrink, P. A. (1974). Transport network optimization in the Dutch integral transportation study. *Transportation Research*, 8(1), 11-27.
- Taco, P. W. G., Queiroz, M. P., Tedesco, G. M. I., Guerra, H. O., Teixeira, G. L., Shimoishi, J. M., & Orrico Filho, R. D. (2006). Reestruturação do transporte coletivo urbano por ônibus: um modelo funcional. *Anais do XX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET*, (1).
- Tebcharani, G. J. (2007). *Projeto ótimo de redes de distribuição de água via algoritmos genéticos multiobjetivos*. Campo Grande, MS.
- Tedesco, G. M. I. (2008). *Metodologia para elaboração do diagnóstico de um sistema de transporte*. Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- von Ferber, C., Holovatch, T., Holovatch, Y., & Palchykov, V. (2009). Public transport networks: empirical analysis and modeling. *The European Physical Journal B*, 68(2), 261-275.