



INSTITUTO POLITÉCNICO DE COIMBRA
INSTITUTO SUPERIOR DE CONTABILIDADE E ADMINISTRAÇÃO DE COIMBRA

Plano de trabalho da parte não letiva
ESTUDO DE CASO

**GESTÃO DE TRANSPORTES URBANOS
COLETIVOS – UTILIZAÇÃO DE MODELOS
DE OTIMIZAÇÃO**

Paulo Júlio Pinheiro e Pina Barreto
Aluno n.º 12557

Projeto realizado no Mestrado em Gestão Empresarial com
a Orientação de:

Professor Manuel de Sá e Souza de Castelo Branco

Maio de 2013

Agradecimentos

A realização deste trabalho não seria possível sem a ajuda e contributo de algumas pessoas às quais dirijo os meus profundos agradecimentos.

Agradeço ao meu orientador, Professor Manuel de Sá e Souza de Castelo Branco, pelo apoio e incentivo dado para a realização deste trabalho, e à Professora Ana Cristina dos Santos Amaro, pela disponibilidade e colaboração, nomeadamente na aplicação prática efetuada neste documento.

Agradeço também à minha família e amigos, pelo apoio dado ao longo de mais esta etapa da minha vida.

Resumo

A sustentabilidade das organizações empresariais deve constar sempre do pensamento económico-social, merecendo particular acuidade a situação das organizações portuguesas públicas de transportes, que têm sido atualmente, neste propósito, bastante questionadas, especialmente devido ao estado das finanças públicas nacionais, tornando-se portanto urgente melhorar a sua gestão. Ao longo deste documento, apresenta-se um contributo para a consecução deste desiderato, discutindo-se diferentes modelos de otimização que poderão ser aplicados a este setor, sendo um destes modelos materializado num estudo de caso. Esta otimização deverá contribuir para uma melhoria na gestão destas organizações, tornando-as mais eficientes e mais eficazes, com reflexos nos seus resultados operacionais.

Palavras-chave: sustentabilidade; finanças públicas; sistemas de transportes públicos; otimização.

Abstract

Sustainability of business organizations should always be part of socio-economic thinking. Currently, the situation of Portuguese public transport operators deserves a special attention, since they have been questioned, specially, because of the state of public finances in Portugal and therefore, it is urgent to improve their management.

In this paper, we make a contribution to achieve this goal. We present different optimization models that can be implemented on these organizations and one of these models is applied in a case study.

This optimization should contribute to improve the management of these organizations, making them more efficient and more effective, with a positive impact on their operating results.

Keywords: sustainability; public finances; public transportation systems; optimization.

Índice

1. Introdução	1
2. Enquadramento Teórico	4
2.1 Acesso e Acessibilidade	9
2.2 Modelos de Otimização.....	13
3. Metodologia.....	19
3.1 Estudo de Caso.....	19
3.2 Método de recolha de dados para estudo de caso	22
3.3 Tratamento de dados	23
4. Apresentação da organização em estudo	27
5. Aplicação Prática.....	33
5.1 Aplicação do Modelo LSCP à Área A.....	37
5.2 Aplicação do Modelo LSCP à Área B.....	39
5.3 Aplicação do Modelo LSCP às Áreas A e B.....	40
6. Discussão de resultados	42
6.1 Discussão dos resultados obtidos - Área A.....	42
6.2 Discussão dos resultados obtidos - Área B.....	43
6.3 Discussão dos resultados obtidos - Áreas A e B.....	43
6.4 Considerações gerais	44
7. Conclusão	46
8. Bibliografia.....	48
9. Anexos	53

Índice de Figuras

Figura 1 – Congestionamento citadino (Fonte: http://topicos.estadao.com.br , 15/10/2012)	5
Figura 2 – Eficiência e Eficácia (Fonte: http://artigoscronicasecontos.blogspot.pt , 15/11/2012)	9
Figura 3 – Redundância de cobertura	10
Figura 4 - Acesso	11
Figura 5 - Acessibilidade	12
Figura 6 – Áreas selecionadas para o estudo (Adaptado de: http://www.bing.com/maps , 7/9/2012)	21
Figura 7 – Área A e zonas de procura selecionadas (Adaptado de: http://www.bing.com/maps , 7/9/2012)	21
Figura 8 – Área B e zonas de procura selecionadas (Adaptado de: http://www.bing.com/maps , 7/9/2012)	22
Figura 9 – Imagem aérea de Coimbra, Portugal (Fonte: www.bing.com/maps , 7/9/2012)	23
Figura 10 – Zonas de procura e paragens nas áreas de estudo (Adaptado de: http://www.bing.com/maps , 7/9/2012)	25
Figura 11 – Organograma dos SMTUC (Fonte: http://www.smtuc.pt , 11/09/2012)	28
Figura 12 – Rede geral dos SMTUC (Fonte: http://www.smtuc.pt , 05/07/2012)	31
Figura 13 – Rede complementar dos SMTUC (Fonte: http://www.smtuc.pt , 05/07/2012)	31
Figura 14 – Relação entre diferentes áreas e matrizes-distância utilizadas na aplicação do modelo LSCP	36

Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Relação entre o passivo corrente e as vendas e serviços de algumas organizações de transportes públicas no ano de 2011 (Adaptado de: Carvalho <i>et al</i> , 2012)	4
Gráfico 2 – Número de paragens necessárias obtidas através da aplicação do modelo LSCP à Área A	38
Gráfico 3 – Distância média de uma zona de procura a uma paragem selecionada através da aplicação do modelo LSCP à Área A	38
Gráfico 4 - Número de paragens necessárias obtidas através da aplicação do modelo LSCP à Área B	39
Gráfico 5 – Distância média de uma zona de procura a uma paragem selecionada através da aplicação do modelo LSCP à Área B	40
Gráfico 6 - Número de paragens necessárias obtidas através da aplicação do modelo LSCP às Áreas A e B	41
Gráfico 7 - Distância média de uma zona de procura a uma paragem selecionada através da aplicação do modelo LSCP às Áreas A e B.....	41

Índice de Quadros

Quadro 1 - Resultados Operacionais antes de gastos de financiamento e impostos no ano de 2010 de algumas organizações de transportes públicos em milhões de euros (Fonte: Relatório e Contas do ano de 2011 das organizações referidas)	5
Quadro 2 – Modelos de Otimização e respetivo objetivo (Adaptado de: Murray, 2003)	18

1. Introdução

Este documento, com o tema “Gestão de Transportes Urbanos Coletivos – Utilização de Modelos de Otimização”, foi elaborado no âmbito da parte não letiva do Mestrado em Gestão Empresarial do Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra. Como tal, abordar-se-ão ao longo do mesmo, a gestão de transportes urbanos coletivos, procurando-se analisar *modelos de otimização* que permitam otimizar a gestão dos mesmos.

No ano de 2011, o Estado Português foi obrigado a solicitar ajuda externa a Instituições Internacionais, para a resolução urgente de problemas financeiros que atingiram o país. Esta situação evidenciou a necessidade de efetuar algumas alterações estruturais no país, destacando-se os transportes coletivos como um dos setores onde estas mudanças têm vindo a ser consideradas urgentes. Estas devem-se, em grande parte, ao défice operacional que as organizações deste setor têm evidenciado ao longo das últimas décadas, colocando em causa a sua sustentabilidade financeira (Governo de Portugal, 2011).

É inquestionável que os transportes coletivos são um elemento-chave para a coesão social e territorial de um país, tal como para o seu desenvolvimento económico e para a melhoria das condições de vida das populações, tornando-se portanto urgente encontrar caminhos para atingir a sua sustentabilidade financeira, garantindo assim a sua continuidade futura.

Um destes caminhos assenta na otimização dos recursos existentes, nomeadamente através da correção de eventuais redundâncias da cobertura atual e, ao mesmo tempo, possibilitando a abrangência de zonas que não são presentemente apropriadamente servidas, contribuindo deste modo para o aumento da utilização dos transportes coletivos e conseqüentemente para melhorar os seus resultados operacionais.

Em tese, o problema pode ser equacionado da seguinte forma: necessidade de tornar mais simples e rápido o acesso aos transportes através da colocação de mais paragens nos respetivos percursos, garantindo ao

mesmo tempo que as paragens não sejam em número tão elevado que aumentem a duração do tempo de viagem, afastando potenciais utilizadores (Murray, 2003).

Assim, optou-se por apresentar um estudo de aplicação a um caso concreto, tendo escolhido para o efeito o serviço de transportes urbanos coletivos de Coimbra, mais concretamente aos Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra (SMTUC).

Desta forma, os objetivos gerais definidos para este documento traduzem-se na apresentação e discussão de diferentes modelos de otimização que possam contribuir para melhorar a gestão e a sustentabilidade financeira das organizações de transportes urbanos coletivos, fazendo a aplicação prática de um dos modelos apresentados aos transportes urbanos coletivos da cidade de Coimbra.

Em termos de objetivos específicos, pretende-se analisar a redundância de cobertura do serviço existente no presente, perceber quais as zonas de procura que estão atualmente servidas e verificar se é possível servir o mesmo número de potenciais utentes com um menor número de paragens.

Assim, podem ser definidas como premissas de partida para o estudo as seguintes questões:

- Será possível atingir a sustentabilidade das organizações de transportes urbanos coletivos?
- Será que com menos paragens é possível servir o mesmo número de potenciais utentes ou um número ainda maior de potenciais utentes?
- Será possível reduzir os tempos de viagem, continuando a servir o mesmo número de utentes?
- Será possível reduzir o consumo de combustível através da redução do número de paragens?

Para o efeito, este documento foi estruturado da seguinte forma:

- *Introdução*, onde é abordado o assunto proposto para o estudo, são explicados quais são os objetivos e as questões de investigação que se pretende alcançar, bem como a estrutura o trabalho;

- *Enquadramento Teórico*, onde serão abordados alguns conceitos relevantes conexos com este trabalho, nomeadamente: sustentabilidade, sistema de transportes urbanos coletivos, serviço público, eficiência, eficácia, acesso e acessibilidade. Este capítulo integra também a apresentação e discussão de diferentes modelos de otimização para a gestão de transportes coletivos, nomeadamente o *location set covering problem*, o *maximal coverage location problem* e o *hybrid set covering problem*;

- *Metodologia*, onde será feita uma apresentação do modelo de otimização a utilizar, tal como a metodologia usada para recolha e tratamento de dados;

- *Apresentação da organização em estudo*, mais concretamente dos SMTUC;

- *Aplicação Prática*, que consistirá na aplicação de um modelo de otimização a uma parte da rede dos SMTUC;

- *Discussão de resultados*, onde será feita uma análise crítica, diagnóstico de eventuais problemas, síntese entre as visões da literatura em comparação com a realidade da organização e medidas de desenvolvimentos futuros;

- *Conclusão*, em que serão evidenciados os ensinamentos obtidos com este “estudo de caso”, as boas e más práticas, bem como as ilações retiradas e a enunciação de possíveis caminhos futuros;

- *Bibliografia*;

- *Anexos*.

2. Enquadramento Teórico

A sustentabilidade de uma organização pode ser definida como sendo a capacidade de produzir bens sem esgotar a capacidade de continuidade, ou seja, é o uso adequado dos bens disponíveis, impedindo que fatores externos possam interferir no seu ciclo de vida ou perpetuação pretendida (Andrade, 2007).

No caso das organizações portuguesas públicas de transportes, esta sustentabilidade tem vindo a ser posta em causa, uma vez que em diversas organizações deste setor, no ano de 2011, as dívidas de curto prazo eram superiores às vendas e prestações de serviços, tal como se verifica no Gráfico 1 (Carvalho *et al*, 2012).

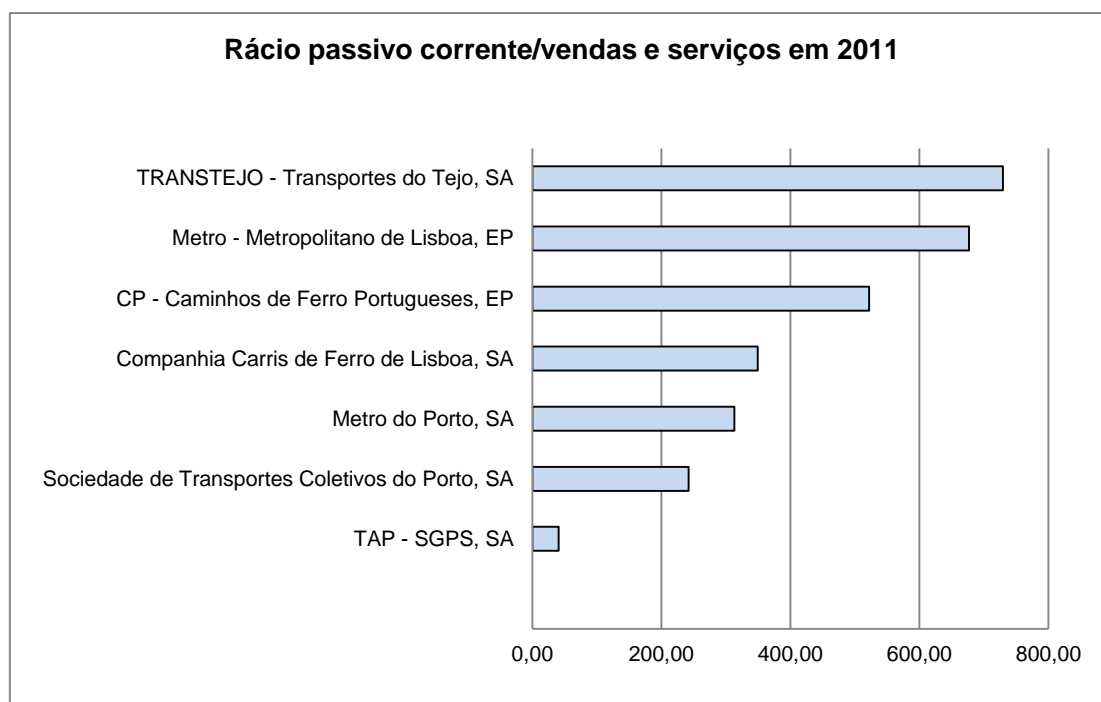


Gráfico 1 – Relação entre o passivo corrente e as vendas e serviços de algumas organizações de transportes públicas no ano de 2011 (Adaptado de: Carvalho *et al*, 2012)

Para além disso, os seus resultados operacionais, antes de gastos de financiamento e impostos, foram também negativos (Quadro 1), contribuindo igualmente para que a sua sustentabilidade seja questionada (Carvalho *et al*, 2012).

Quadro 1 - Resultados Operacionais antes de gastos de financiamento e impostos no ano de 2010 de algumas organizações de transportes públicos em milhões de euros (Fonte: Relatório e Contas do ano de 2011 das organizações referidas)

Organização	Resultados Operacionais (antes de gastos de financiamento e impostos) - EBIT em milhões de euros (ano 2010)
Metro do Porto, SA	-244,754
CP - Caminhos de Ferro Portugueses, EP	-48,999
Metro - Metropolitano de Lisboa, EP	-96,107
TAP - SGPS, SA	-0,421
TRANSTEJO - Transportes do Tejo, SA	-7,890
Companhia Carris Ferro Lisboa, SA	-17,724
MoveAveiro - Empresa Municipal de Mobilidade, EEM	-0,940
SMTUC	-1,557

Nas organizações de transportes urbanos coletivos, a perpetuação da sua existência é especialmente importante, uma vez que através de uma maior utilização de transportes urbanos coletivos, é possível interferir positivamente em outros fatores importantes da vida quotidiana cidadina, nomeadamente na redução dos congestionamentos de tráfego, promovendo um acréscimo na segurança rodoviária (Figura 1), bem como reduzir os custos das viagens e a poluição sonora/atmosférica (André e Villanova, 2004).



Figura 1 – Congestionamento citadino (Fonte: <http://topicos.estadao.com.br>, 15/10/2012)

Por outro lado, importa aqui enunciar os conceitos de *finanças públicas* e de *finanças privadas*. Existem principalmente três grandes diferenças entre as estas, que se podem assim resumir (Teixeira Ribeiro, 1997):

- O Estado dispõe de impostos: A maior parte dos recursos aplicados à cobertura das despesas públicas provêm da cobrança de impostos, meio de financiamento que não existe para uma organização privada. Deste modo, uma organização privada está sempre dependente de uma relação de troca, sendo que os preços representam sempre a contraprestação, enquanto no Estado tal não sucede.

- Nas finanças do Estado, não são as receitas que determinam as despesas: Uma organização privada precisa de restituir o valor dos capitais utilizados na produção através da venda de produtos e/ou serviços, levando a que tenha que pautar as suas despesas pelas receitas que possa obter de modo a garantir a sua sustentabilidade. Isto não sucede com o Estado, uma vez que pode lançar impostos, levando a que as suas despesas não estejam subordinadas às suas receitas. Pode-se então concluir, que nas finanças privadas as receitas determinam as despesas, enquanto no Estado não.

- O Estado propõe-se a satisfazer necessidades: As organizações privadas procuram trabalhar ao mínimo custo e transacionar as mercadorias pelo máximo preço, tendo como objetivo o lucro. Já o Estado, procura também trabalhar ao mínimo custo. No entanto, ou não vende os bens que produz (bens públicos, que apenas satisfazem necessidades coletivas como, por exemplo, no exército), ou os vende a um preço que não é estabelecido com o objetivo de obter lucro, mas sim satisfazer as necessidades individuais consideradas convenientes (bens semipúblicos, que satisfazem, além das necessidades coletivas, necessidades individuais, gratuitamente ou a um preço inferior ao custo, sendo disso exemplo o ensino superior). Assim, as finanças do Estado têm como objetivo satisfazer necessidades, enquanto as finanças da empresa têm como objetivo o lucro.

Entra-se então no conceito de *serviço público* muitas vezes associado a estas organizações.

Serviço público pode ser definido como o modo de atuar da autoridade pública para facultar, por modo regular e contínuo, a quanto deles careçam, os meios idóneos para satisfação de uma necessidade coletiva individualmente sentida (Caetano, 1991). Esta necessidade pode ser satisfeita através do fornecimento de bens ou serviços abaixo do seu preço (Bilhim, 2000).

Quem decide sobre a existência de necessidades coletivas e sobre a conveniência da sua satisfação é o Estado, mais propriamente os Órgãos do Estado que exercem o poder político. A escolha das necessidades coletivas a satisfazer pelo Estado encerram em si uma decisão de carácter eminentemente político, obedecendo a critérios variáveis de época para época, consoante a força relativa dos grupos e classes sociais (Teixeira Ribeiro, 1997).

Até ao momento, as empresas de transportes urbanos coletivos têm vindo a ser consideradas como um bem semipúblico, uma vez que satisfazem tanto as necessidades coletivas, como as necessidades individuais, sendo cobrado um preço pela sua utilização individual, que no entanto é inferior ao seu custo.

Estas empresas prestam um serviço especialmente importante para determinados extratos da população que devido às suas precárias condições económicas e financeiras nunca o conseguiriam usufruir.

Assim, se por um lado se verifica que analisando estas organizações pelo prisma das finanças privadas, a sustentabilidade das mesmas está completamente posta em causa, por outro lado, uma análise pela ótica das finanças públicas, indica que não será obrigatória a obtenção de resultados operacionais positivos, pois o objetivo deste tipo de organizações não é o lucro.

Importa ainda referir que os impostos, sendo um meio de financiamento que apenas o Estado dispõe, não podem ser infinitamente aumentados de modo a cobrir todas as despesas necessárias para a produção de bens pelo

dito Estado. Isto é especialmente importante na conjuntura atual, uma vez que a carga fiscal em Portugal aumentou muito nos últimos anos (<http://expresso.sapo.pt/portugal-com-o-maior-aumento-da-carga-fiscal-na-uniao-europeia=f803491>, 2013).

Deste modo, uma visão que coloca em causa a sustentabilidade das organizações de transportes públicos poderá ser interpretada como sendo uma decisão política. No entanto, mesmo que a visão política continue no sentido de que a prestação destes serviços deva continuar a ser assegurada pelo Estado, e especialmente tendo em conta a situação atual das finanças públicas portuguesas, realçadas pelo pedido de ajuda financeira externa efetuada no ano de 2011, torna-se urgente a melhoria dos seus resultados operacionais.

Considerando que o Estado, tal como as organizações privadas, também tenta reduzir ao mínimo as suas despesas com a produção de bens, e ao mesmo tempo, que os serviços de transportes públicos continuam politicamente a ser considerados bens semipúblicos, pode-se indicar que a redução das despesas necessárias para o seu funcionamento não deverá passar pelo aumento significativo do preço a cobrar pelo serviço prestado. Para além disso, considerando que se pretende aumentar o número de utilizadores, o aumento substancial do preço deve ser colocado de parte logo à partida, uma vez seria um forte entrave para a concretização deste desiderato.

O caminho a percorrer para esta redução de despesas, deverá então estar baseado numa gestão apropriada dos sistemas de transportes urbanos coletivos, que assegurem a oferta de um sistema de transportes adequado e ao mesmo tempo competitivo com outros meios de transporte (Newman e Kenworthy, 1999).

Para abordar esta problemática, importa aqui evidenciar os conceitos de eficácia e de eficiência.

Eficiência está genericamente relacionada com o modo como se obtêm determinados resultados. Uma organização é mais eficiente do que outra se para atingir o mesmo resultado exigir menor dispêndio de recursos, ou seja,

obter o mesmo *output* com uma menor quantidade de *input*, ou obter um maior *output* com a mesma quantidade de *input*. Trata-se de um conceito relativo e não absoluto, isto é, não é possível definir uma organização só por si como sendo eficiente, mas apenas através da comparação com outra ou outras (Robalo, 1995).

Já a *eficácia* refere-se ao facto de se atingir ou não o objetivo e se esse objetivo é realmente o objetivo a atingir (Robalo, 1995).

Uma organização pode ser bastante eficiente e no entanto não ser eficaz, ou seja, pode fazer bem aquilo que faz e no entanto, não fazer aquilo que deveria (Drucker, 2007).



Figura 2 – Eficiência e Eficácia (Fonte: <http://artigoscronicasecontos.blogspot.pt>, 15/11/2012)

Verifica-se, portanto, que para melhorar os resultados operacionais, torna-se urgente melhorar a gestão destas organizações, promovendo o aumento das suas receitas e a redução das suas despesas através da otimização dos seus recursos existentes, tornando assim as organizações mais eficientes e ao mesmo tempo mais eficazes.

2.1 Acesso e Acessibilidade

Tanto os horários, como a frequência e o tamanho da frota, são importantes para uma gestão eficiente dos recursos disponíveis (Ibeas *et al*, 2010). No entanto, a apropriada localização de "paragens" é indispensável,

tanto na introdução de um novo sistema de transportes, como na modificação de um sistema existente (Vuchic, 1981).

Quando a distância entre as paragens aumenta, a distância a percorrer até uma paragem também aumenta. O oposto também é verdade, isto é, se a distância entre paragens é reduzida, a distância a percorrer a pé até uma paragem também se reduz, mas os autocarros têm que parar mais vezes, aumentando o tempo de viagem (Giannopoulos, 1990). Esta situação tem assim uma grande influência na dimensão das frotas.

As redes de transportes urbanos coletivos não são estanques, procurando acompanhar a evolução das cidades, nomeadamente através da criação de novas rotas ou através da modificação de rotas anteriormente existentes. Esta volatilidade leva muitas vezes à existência de redundâncias de cobertura, principalmente porque estas alterações não são analisadas no contexto global das redes de transportes, mas sim, avaliadas pontualmente (Delmelle *et al*, 2012).

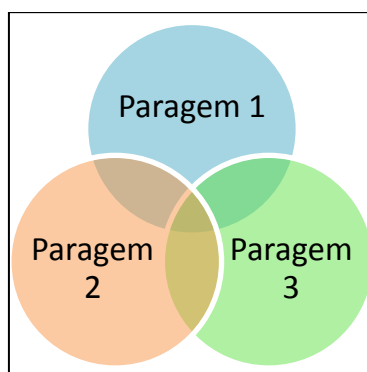


Figura 3 – Redundância de cobertura

Estas redundâncias indicam que não existe uma otimização dos recursos existentes, uma vez que o mesmo local pode ser apropriadamente servido por mais do que uma paragem de transportes (Figura 3). Para além disso, são afastados potenciais utilizadores, tanto devido ao substancial aumento dos tempos de viagem, como devido à dificuldade na identificação da paragem a que se devem dirigir para entrar na rota que os leva ao destino pretendido, afetando novamente os seus resultados operacionais (Furth e Rahbee, 2000; Saka, 2001). Esta situação contribui também para o aumento do

consumo de combustível, originando, conseqüentemente, aumento dos custos operacionais (van Nes e Bovy, 2000).

Se por um lado, os potenciais utilizadores procuram poder aceder facilmente a uma paragem, por outro pretendem chegar o mais rapidamente possível ao destino pretendido.

Neste contexto, é importante abordar dois conceitos: acesso e acessibilidade.

O *acesso* tem tipicamente a ver com a proximidade e custo do serviço, enquanto a *acessibilidade* tem a ver com a capacidade do sistema de transportes para deslocar pessoas desde o local de embarque até ao local de desembarque numa quantidade de tempo razoável. Tendo em conta esta interpretação, são ambos elementos essenciais da prestação do serviço (Murray *et al*, 1998).

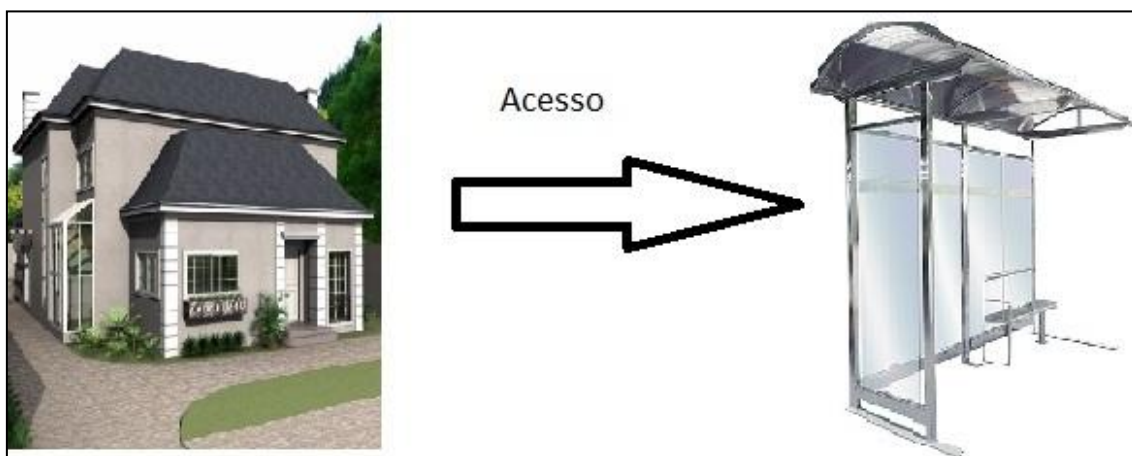


Figura 4 - Acesso

Uma consideração do acesso no uso potencial do transporte público é a distância ou tempo de viagem de uma residência (origem) a uma paragem de autocarro, enquanto outra condicionante importante é a distância que medeia entre a saída numa paragem de autocarro e o destino pretendido (Figura 4).

A maioria das organizações de transportes considera *400 metros* como sendo uma distância de caminhada aceitável (Demetsky e Lin, 1982).

Quanto à acessibilidade, existem diversos fatores importantes a considerar, tal como o tempo de viagem, o número de transferências necessárias e a frequência do serviço (Figura 5). Dependendo do contexto que se está a analisar, dever-se-ão ter em conta diferentes formas de se avaliar a acessibilidade (O'Sullivan *et al*, 2000; Kwan *et al*, 2003).



Figura 5 - Acessibilidade

Tendo como objetivo melhorar o serviço de transportes públicos de forma a aumentar a sua utilização, a acessibilidade pode ser focalizada no aspeto do tempo/velocidade da viagem, sendo a minimização do número de paragens uma das formas de reduzir o tempo de viagem.

As organizações de transportes europeias possuem diferentes padrões para o espaçamento entre as paragens de autocarro, sendo usual, verificar-se a existência entre duas a três paragens por cada quilómetro. Já nos Estados Unidos da América, são colocadas quatro a seis paragens por quilómetro (Reilly, 1997)

Cada organização tem os seus próprios padrões e escolhe-os tendo em conta as necessidades locais. Mesmo dentro de cada organização, a distância padrão entre paragens pode ser variável. Geralmente, a distância entre paragens é inversamente proporcional à densidade de desenvolvimento, variando muito desde as áreas centrais até às zonas rurais (Benn, 1995)

Ammons (2001) estudou o espaçamento padrão entre paragens de autocarro de diversas organizações de transportes e concluiu que estas distam entre 200 e 600 metros em meio urbano, contradizendo a distância padrão acima mencionada.

Van Nes e Bovy (2000) introduziram uma série de fórmulas otimizadoras para novas rotas. Com estas, estimaram o valor recomendado para duas cidades holandesas, chegando à conclusão que o espaçamento existente, entre 300 e 450 metros, deveria passar para 500 a 800 metros.

2.2 Modelos de Otimização

A otimização do afastamento das paragens tem sido especialmente importante no planeamento de transportes, uma vez que, conforme se referiu, esta componente de planeamento operacional tem um impacto direto no tempo/velocidade da viagem, levando a que a maioria das regiões urbanas tentem estabelecer padrões para o afastamento das paragens de transportes públicos (Saka, 2001).

Deste modo, ao longo do tempo surgiram *modelos* que permitem avaliar a eficiência da localização de uma paragem, tendo a primeira abordagem de modelação sido proposta por Toregas *et al* em 1971, sendo mais tarde utilizada por diferentes autores, como Gleason (1975) e Murray (2001). Esta modelação é denominada *Location Set Covering Problem* (LSCP), e a sua formulação encontra-se seguidamente descrita:

$$\text{Função Objetivo:} \quad \text{Minimizar } \sum_j x_j \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 \quad \forall i, \quad (2)$$

$$x_j = (0,1) \quad \forall j. \quad (3)$$

Em que:

i : índice das zonas servidas com acesso apropriado

j : índice das paragens de transportes coletivos

x_j : $\begin{cases} 1, \text{ se a paragem de transportes coletivos existente } j \text{ vai ser incluída no sistema} \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases}$

N_i : $\{j \mid d_{ij} \leq S\}$

d_{ij} : distância mais curta entre a zona de procura i e a paragem j

S : distância padrão para o acesso

Este modelo tem como objetivo (1) minimizar o número de paragens necessárias, sendo que a restrição (2) assegura que cada zona, atualmente

coberta pelo serviço na região de análise, continua a ser servida corretamente através de um número reduzido de paragens, e a restrição (3) impõe que uma paragem se mantém no sistema ou é removida (Toregas *et al*, 1971).

O LSCP fornece assim uma forma de cobertura eficiente através da atual (ou proposta) localização de paragens de transporte coletivo, para além de que em regiões com baixa utilização do transporte, permite indicar a extensão onde melhorias de desempenho poderiam ser obtidas (menos paragens ao longo das rotas).

Os dados de base necessários para a aplicação deste modelo são: a localização das paragens (j) e das zonas de procura (i) com cobertura adequada, a distância (d_{ij}) mais curta entre a zona de procura (i) e a paragem (j) e a distância padrão de acesso (S).

A vantagem deste modelo é permitir identificar a remoção individual de paragens existentes no sistema, tendo como base a melhoria do desempenho do sistema. Em termos de limitações, pode-se considerar o facto de exigir que todas as zonas de procura servidas atualmente se mantenham servidas, apesar de algumas delas não serem viáveis devido à sua baixa utilização (Murray, 2003).

Por outro lado, a análise do acesso ao serviço de transportes, pode ser conseguida examinando a proximidade dos locais de interesse (casas, serviços, entre outros) às paragens de transportes coletivos, obtendo-se assim a proporção da população ou potenciais utilizadores coberta pelo sistema de transportes coletivos.

Neste caso, pode-se aplicar o *Maximal Coverage Location Problem* (MCLP), que diminui a exigência da continuação do serviço nas zonas de procura servidas atualmente. A formulação do MCLP é a seguinte (Church e ReVelle, 1974; Murray, 2001):

$$\text{Função Objetivo:} \quad \text{Maximizar } \sum_i a_i y_i \quad (4)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i \quad \forall i, \quad (5)$$

$$\sum_j x_j = p, \quad (6)$$

$$x_j = (0,1) \quad \forall j \quad y_i = (0,1) \quad \forall i. \quad (7)$$

Em que:

i : índice das zonas servidas com acesso apropriado

j : índice das paragens de transportes coletivos

N_i : $\{ j \mid d_{ij} \leq S \}$

d_{ij} : distância mais curta entre a zona de procura i e a paragem j

S : distância padrão para o acesso

a_i : atual/potencial número de utilizadores na zona de procura i

p : número de paragens de transportes coletivos selecionadas

x_j : $\begin{cases} 1, & \text{se a paragem de transportes coletivos existente } j \text{ vai ser incluída no sistema} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

y_i : $\begin{cases} 1, & \text{se a zona } i \text{ tem acesso apropriado a uma paragem} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

O modelo MCLP tem como objetivo (4) maximizar a proporção da população total que irá continuar a receber a cobertura do serviço. A restrição (5) impõe quais as zonas de procura cobertas pelas paragens de transporte que devem permanecer no sistema. A restrição (6) especifica que devem ser selecionadas p paragens. A restrição (7) impõe que uma paragem se mantém no sistema ou é removida, e impõe que uma zona de procura é apropriadamente servida ou não é apropriadamente servida (Church e ReVelle, 1974).

Os dados necessários para a aplicação deste modelo são: a localização das paragens (j) e das zonas (i) com cobertura adequada, a distância (d_{ij}) mais próxima entre a zona (i) e a paragem (j), a distância padrão de acesso (S), o

atual/potencial número de utilizadores nas diferentes zonas de procura (a_i) e o número de paragens a implementar (p).

Este modelo tem como principal vantagem permitir identificar as zonas que devem continuar a ser servidas, levando assim a reduções de custo superiores às do LSCP. No entanto, apresenta como limitação, não permitir cobrir zonas de procura que não estão atualmente servidas, assegurando apenas a abrangência das zonas de procura atualmente servidas (Murray, 2003).

Assim, uma consideração relevante seria definir quais as localizações potenciais das paragens que permitem alargar o serviço às zonas de procura que não são atualmente servidas. Assumindo que estas potenciais paragens são identificáveis, poder-se-ia aplicar o modelo LSCP à cobertura existente, seguido da aplicação de um LSCP ou de um MCLP estruturado às zonas de procura sem cobertura atual. Isto identificaria uma solução possível deste problema, mas careceria de uma decisão integrada, e conseqüentemente, demasiadas paragens seriam identificadas, levando a uma certa redundância de cobertura (Murray, 2003).

Para este efeito, existe uma abordagem melhorada, que estende o LSCP (ou o MCLP) de modo a dirigir-se à expansão do acesso e à acessibilidade melhorada, denominada de *Hybrid Set Covering Problem* (HSCP), que tem a seguinte formulação (Murray, 2003):

Função Objetivo: $\text{Maximizar } \sum_l a_l \hat{y}_l$ (8)

Sujeito a:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 \quad \forall i, \quad (9)$$

$$\sum_{k \in N_k} \hat{x}_k \geq \hat{y}_l \quad \forall l, \quad (10)$$

$$\sum_j x_j + \sum_k \hat{x}_k = p, \quad (11)$$

$$x_j = (0,1) \quad \forall j, \quad y_i = (0,1) \quad \forall i, \quad (12)$$

$$\hat{x}_k = (0,1) \quad \forall k, \quad \hat{y}_l = (0,1) \quad \forall l.$$

Em que:

i : índice das zonas servidas com acesso apropriado

j : índice das paragens de transportes coletivos

l : índice das zonas de procura não servidas pelas paragens existentes

k : índice das potenciais novas paragens

a_l : atual/potencial número de utilizadores na zona de procura l

p : número de paragens de transportes coletivos selecionadas

$N_i: \{ j \mid d_{i,jk} \leq S \}$

$d_{i,jk}$: distância mais curta entre as zonas de procura i e l , e as paragens j e k

S : distância padrão para o acesso

$x_j: \begin{cases} 1, & \text{se a paragem existente } j \text{ vai ser incluída no sistema} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

$y_i: \begin{cases} 1, & \text{se a zona } i \text{ tem acesso apropriado a uma paragem} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

$\hat{y}_l: \begin{cases} 1, & \text{se a zona } l \text{ anteriormente não servida passa a ser servida por uma paragem} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

$\hat{x}_k: \begin{cases} 1, & \text{se a paragem } k \text{ proposta vai ser incluída no sistema} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

O objetivo (8) deste modelo é maximizar o acesso adicional através de novas paragens de transportes coletivos. A restrição (9) impõe que cada zona de procura atualmente servida, deve continuar a ser coberta adequadamente por pelo menos uma paragem de transportes coletivos. Note-se que N_i inclui tanto as paragens existentes como as potenciais novas paragens. Quanto à restrição (10), esta explica a cobertura adicional fornecida por novas paragens de transportes coletivos. Já a restrição (11) indica o número de paragens de transportes coletivos (existentes e novas) a serem selecionadas. As restrições (12) impõem que uma paragem é selecionada para o sistema ou não é, e impõe que uma zona de procura é ou não apropriadamente servida.

Os dados necessários para a aplicação deste modelo, são: a localização atual das paragens (j) e das zonas (i) com cobertura adequada, a localização das zonas sem cobertura adequada (l) e de potenciais novas paragens de transportes coletivos (k), a distância ($d_{il,jk}$) mais próxima entre as zonas (i) e (l) e a paragem (j) e (k), a distância padrão de acesso ao serviço (S), o uso potencial do serviço nas zonas atualmente não servidas (a) e o número de paragens a implementar (p).

A grande vantagem deste modelo é assegurar a cobertura às zonas de procura atualmente servidas, minimizando as paragens de transportes coletivos necessárias, tal como o LSCP, e ao mesmo tempo, também seleciona novas paragens a estabelecer para expandir o serviço de transportes coletivos a zonas que não são atualmente servidas (Murray, 2003).

Para além dos anteriormente referidos, existem outros modelos que podem ser aplicados à otimização do acesso e da acessibilidade, sendo que se optou por fazer referência a estes três modelos por permitirem analisar diferentes realidades, podendo estas ser resumidas conforme se observa no Quadro 2.

Quadro 2 – Modelos de Otimização e respetivo objetivo (Adaptado de: Murray, 2003)

Modelo de Otimização	Objetivo
Modelo LSCP	Servir as zonas que são atualmente servidas, com o menor número de paragens possível.
Modelo MCLP	Servir as zonas que são atualmente servidas, com o menor número de paragens possível.
Modelo HSCP	Servir as zonas que são atualmente servidas e analisar a expansão do serviço para zonas que não são atualmente servidas.

De seguida, irá ser apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste documento.

3. Metodologia

A metodologia deste trabalho começou por incidir numa pesquisa documental e bibliográfica, seguida da sua aplicação materializada num “estudo de caso”.

Deste modo, esta pesquisa foi efetuada através da consulta de livros, artigos técnicos e científicos, publicações periódicas, relatórios de contas e relatórios de gestão de diversas organizações, com o objetivo de obter o máximo de informação possível sobre a temática em análise. Para o efeito, recorreu-se diversos *sites* da internet, destacando-se a Biblioteca do Conhecimento Online (<http://www.b-on.pt>) e o Repositório Científico de Acesso Aberto de Portugal (<http://www.rcaap.pt>). Para além disso, também se recorreu a bibliotecas públicas, mormente à biblioteca do Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra (ISCAC).

3.1 Estudo de Caso

Para a parte prática, foi utilizada a metodologia de “estudo de caso”. Yin (1994), define o “estudo de caso” como sendo uma investigação empírica que investiga um fenómeno contemporâneo dentro do seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenómeno e o contexto não estão claramente definidos.

Coutinho e Chaves (2002) referem que quase tudo pode ser um “caso”: um indivíduo, um personagem, um pequeno grupo, uma organização, uma comunidade ou mesmo uma nação.

Benbasat *et al* (1987) consideram que um “estudo de caso” deve possuir as seguintes características:

- fenómeno observado no seu ambiente natural;
- dados recolhidos utilizando diversos meios (observações diretas e indiretas, entrevistas, questionários, registos de áudio e vídeo, diários, cartas, entre outros);

- uma ou mais entidades (pessoa, grupo, organização) são analisadas;
- a complexidade da unidade é estudada aprofundadamente;
- pesquisa dirigida aos estágios de exploração, classificação e desenvolvimento de hipóteses do processo de construção do conhecimento;
- não são utilizadas formas experimentais de controlo ou manipulação;
- o investigador não precisa especificar antecipadamente o conjunto de variáveis dependentes e independentes;
- os resultados dependem fortemente do poder de integração do investigador;
- podem ser feitas mudanças na seleção do caso ou dos métodos de recolha de dados à medida que o investigador desenvolve novas hipóteses;
- pesquisa envolvida com questões "como?" e "porquê?", ao contrário de "o quê?" e "quantos?".

O "estudo de caso" irá incidir sobre uma organização, mais concretamente sobre os Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra (SMTUC). Os SMTUC são uma organização vocacionada para assegurar o serviço público de transporte de passageiros na região de Coimbra, sendo a apresentação mais pormenorizada desta organização feita no capítulo seguinte.

Para a realização deste estudo, foram selecionadas duas áreas da cidade de Coimbra, atualmente servidas pelos SMTUC, que se denominaram de Área A e Área B (Figura 6).



Figura 6 – Áreas selecionadas para o estudo (Adaptado de: <http://www.bing.com/maps>, 7/9/2012)

Estas áreas englobam não só zonas residenciais, como também centros comerciais, escolas e instalações desportivas, tendo sido subdivididas em cento e cinquenta e uma zonas de procura, das quais cinquenta e nove são na Área A e noventa e duas na Área B (Figura 7 e Figura 8).

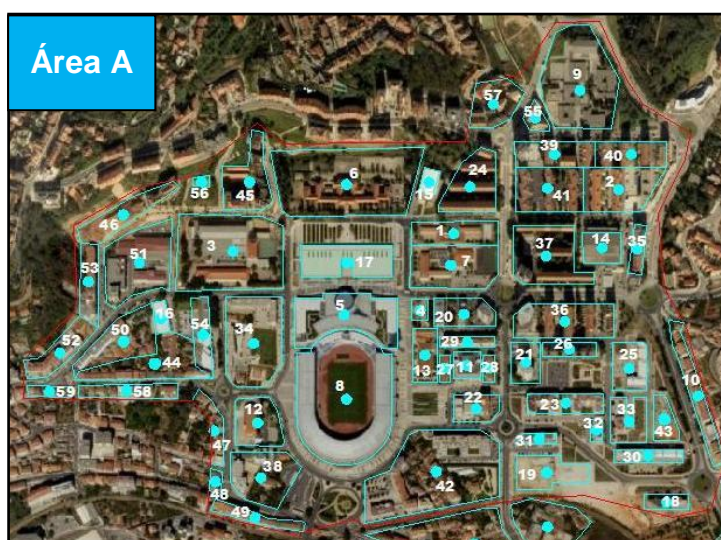


Figura 7 – Área A e zonas de procura selecionadas (Adaptado de: <http://www.bing.com/maps>, 7/9/2012)



Figura 8 – Área B e zonas de procura selecionadas (Adaptado de: <http://www.bing.com/maps>, 7/9/2012)

Escolheu-se a aplicação do modelo LSCP, anteriormente apresentado, uma vez que se pretende servir todas as zonas de procura atualmente servidas e consideraram-se diversos valores para o raio de cobertura de uma paragem, de acordo com a bibliografia consultada. Para além disso, as localizações escolhidas para as paragens serão diversas ao longo das aplicações, subdividindo-se estas nas que existente atualmente, nas que poderiam existir ao longo das rotas atuais e nas que poderiam existir fora das rotas atuais.

Os resultados expectáveis deverão indicar uma diminuição no número de paragens necessárias, comparativamente às atualmente existentes.

3.2 Método de recolha de dados para estudo de caso

Para a aplicação prática da otimização, torna-se necessária a pesquisa e recolha de diversos dados. Esta recolha foi feita através do método de observação direta, e ainda através de observação indireta, utilizando sistemas de informação geográfica como o *Google Maps* (<http://maps.google.pt>) e o *Bing Maps* (<http://www.bing.com/maps>), e a página da internet dos SMTUC (<http://www.smtuc.pt>).

Assim, procedeu-se à recolha de vários dados quantitativos sobre os transportes urbanos coletivos de Coimbra, nomeadamente: localização das

paragens atualmente existentes, possível localização de novas paragens, identificação de zonas de procura, rotas atualmente existentes e arruamentos.

Estes dados incidiram sobre uma parte da cidade de Coimbra, mais precisamente sobre a Área A e a Área B, anteriormente descritas.

3.3 Tratamento de dados

Os dados quantitativos recolhidos serviram para construir uma base de dados, que permitiu alimentar um programa que foi desenvolvido a partir de aplicações informáticas existentes (*Microsoft Excel* e *Xpress-IVE*) e que foram utilizados como ferramentas de otimização.

Para além disso, foi necessário adquirir uma cartografia da cidade de Coimbra (Figura 9), mais concretamente da área da cidade que será alvo deste estudo, tendo esta sido obtida através de um sistema de informação geográfico existente, nomeadamente através do *site Bing Maps* (<http://www.bing.com/maps>). Esta cartografia também poderia ter sido obtida através de outras fontes, nomeadamente através do *site do Google Maps* (<http://maps.google.pt/>). Saliente-se que a utilização deste método apresenta como principais vantagens, a possibilidade de ser facilmente aplicável a qualquer parte do Mundo que possua imagens aéreas num dos referidos *sites*, e permitir identificar com maior facilidade os diferentes componentes do meio urbano.

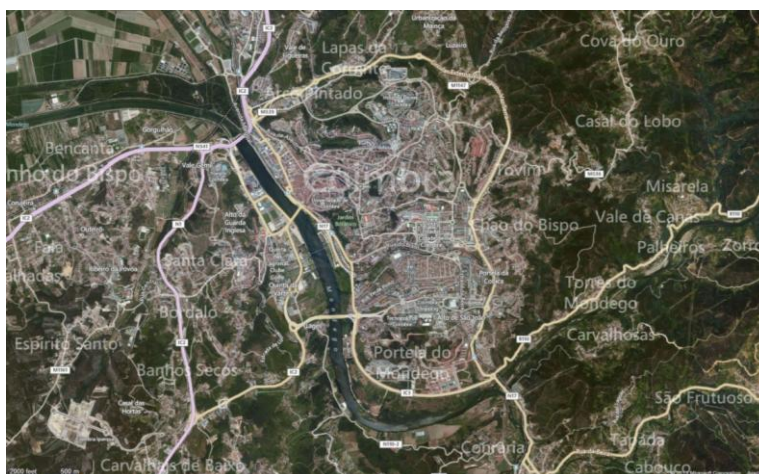


Figura 9 – Imagem aérea de Coimbra, Portugal (Fonte: www.bing.com/maps, 7/9/2012)

De seguida, foram identificadas na cartografia obtida, as diferentes zonas de procura através de um *centróide* (que poderá ser uma escola, um centro comercial ou um conjunto de edifícios), bem como a localização das paragens atualmente existentes e a possível localização de novas paragens, com o auxílio de uma ferramenta CAD.

Procurou-se, sempre que possível, considerar as paragens como sendo duplas, ou seja, identificaram-se essas duas paragens atualmente existentes pelo ponto médio entre as mesmas, uma vez que normalmente existe uma paragem de autocarro para cada sentido de uma rota existente. Geralmente, estas duas paragens encontram-se bastante próximas uma da outra, mas em alguns casos este problema não é assim tão fácil de resolver, principalmente em arruamentos de sentido único de circulação, podendo levar a que o ponto representativo destas duas paragens se encontre inevitavelmente fora de um arruamento.

Assim, na Área A identificaram-se catorze paragens de autocarro atualmente existentes, tendo na Área B, sido consideradas vinte e duas paragens atualmente existentes na Área B.

Identificaram-se também, potenciais locais para a implantação de novas paragens de autocarro, subdividindo-se estas, entre as que se encontram nas rotas atualmente efetuadas pelos serviços dos SMTUC e nas que se encontram fora destas mesmas rotas.

Os locais escolhidos para estas potenciais novas paragens foram o início/final dos arruamentos e o seu ponto médio. Para além disso, procurou-se apenas escolher como locais para potenciais novas paragens, os arruamentos com largura suficiente, uma vez que se torna quase sempre impraticável a colocação de paragens de transportes públicos em arruamentos estreitos. Todos os pontos identificados deverão ser considerados mais uma vez como sendo uma paragem dupla, isto é, que em cada um desses pontos irão existir duas paragens, permitindo assim no mesmo local, o acesso aos dois sentidos das rotas de autocarros.

Na Área A identificaram-se onze locais para potenciais novas paragens nas rotas existentes e seis locais para potenciais novas paragens fora das rotas existentes. Já na Área B selecionaram-se vinte e dois locais para potenciais novas paragens nas rotas existentes e vinte sete locais para potenciais novas paragens fora das rotas atualmente existentes.

Na Figura 10 é possível visualizar as diferentes áreas de estudo, encontrando-se a azul claro as zonas de procura consideradas, a amarelo a localização das paragens de autocarro atualmente existentes, a vermelho a localização de potenciais novas paragens nas rotas existentes e a verde a localização de potenciais novas paragens fora das rotas atualmente existentes.

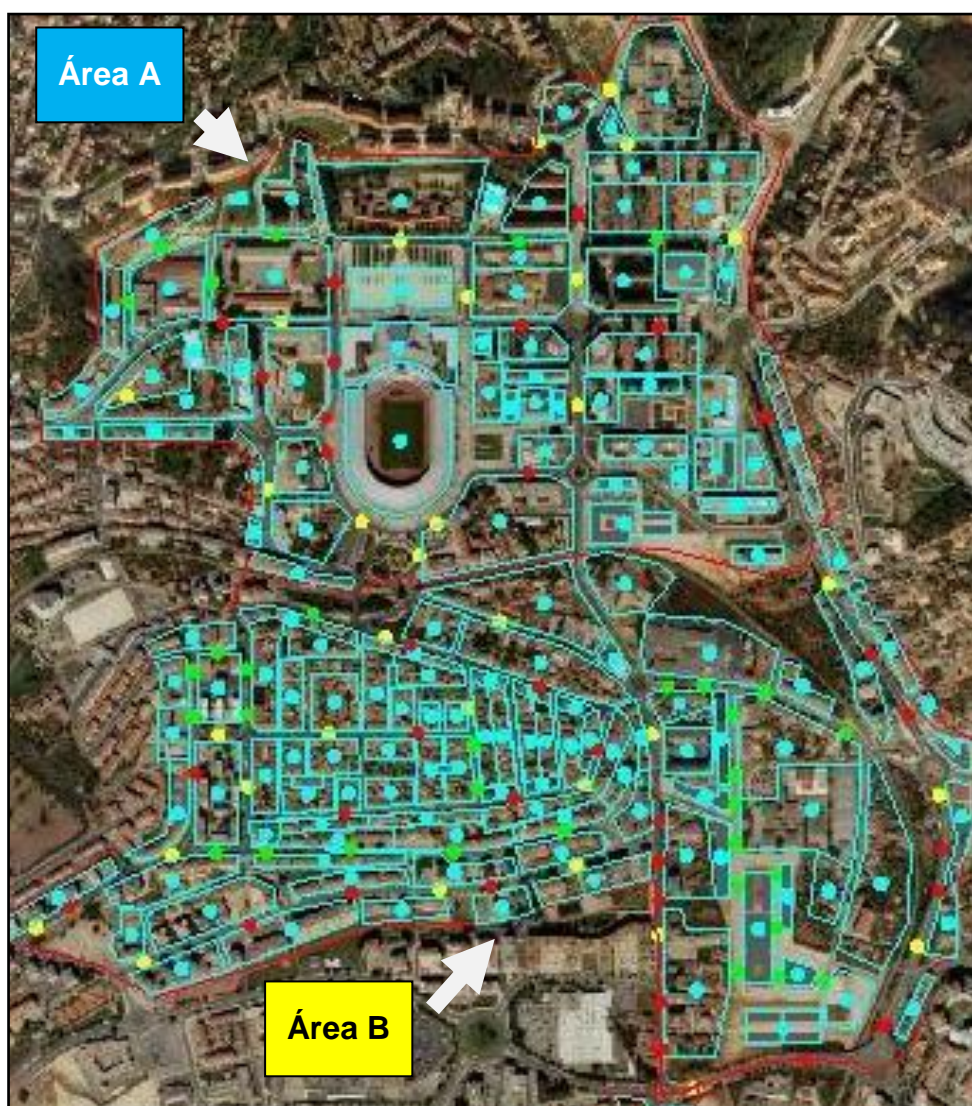


Figura 10 – Zonas de procura e paragens nas áreas de estudo (Adaptado de: <http://www.bing.com/maps>, 7/9/2012)

Para construir a *matriz-distância*, a utilizar no processo de otimização, foram determinadas as diferentes coordenadas dos centróides que identificam as diferentes zonas de procura, tal como as coordenadas das paragens existentes e potenciais novas paragens. Após a obtenção destas coordenadas, foram então determinadas as distâncias entre todas as zonas de procura e todas as localizações de paragens atualmente existentes, e as potenciais localizações de novas paragens.

Por último, foram feitas diferentes aplicações do modelo de otimização LSCP com o auxílio de programas informáticos, sendo os resultados destas apresentados no capítulo “Aplicação Prática”.

No capítulo seguinte, irá ser apresentada a organização que irá ser alvo deste estudo, ou seja, os SMTUC.

4. Apresentação da organização em estudo

Os SMTUC são uma estrutura Municipal vocacionada para assegurar o serviço público de transporte de passageiros na região de Coimbra.

Atualmente a sua frota conta com cento e trinta e três viaturas de transporte urbano, quatro miniautocarros de transporte especial e um miniautocarro de turismo. Para além disso, são também responsáveis pelo elevador do Mercado D. Pedro V (<http://www.smtuc.pt>, 2012). Deste modo, podem-se indicar como alternativas a este serviço dentro da cidade de Coimbra, tanto as viaturas particulares, como os serviços de táxis, uma vez que também permitem a deslocação de pessoas de uma determinada origem até a um destino pretendido (Tavares, 2010).

Conforme indicado no “Relatório de Gestão e Documentos Financeiros 2011” dos SMTUC, esta empresa é também responsável pela gestão do estacionamento público pago na cidade de Coimbra, revertendo as receitas a seu favor, como forma de compensar o custo social do transporte público de passageiros, sendo que as receitas de taxas de bloqueamento, remoção e aparcamento, entram nos SMTUC sob a forma de “subsídio à exploração”, já que as mesmas são cobradas pelo Serviço de Policia Municipal. Este não é o *core business* desta organização, estando apenas sob a sua alçada por decisão política, de forma a providenciar mais receitas que permitam, de certo modo, tentar compensar os preços praticados abaixo do custo no serviço de transporte de passageiros. Ainda assim, nesta área em concreto, tem como concorrentes os parques de estacionamento pago privados, destacando-se que pela sua dimensão, quer pela sua localização, o parque de estacionamento localizado junto à Loja do Cidadão de Coimbra, gerido pela Braga Parques (Tavares, 2010).

As suas instalações situam-se na Guarda Inglesa - Coimbra, estando concentrados neste local todos os serviços de Administração e Direção, Serviços Técnicos e Administrativos, Secção de Bilheteiras, Serviços de Apoio à Exploração, Oficinas Gráficas e o Parque das Viaturas.

Esta organização, segundo o seu documento “Âmbito, Visão, Missão, Objetivos Estratégicos e Política da Qualidade” do Sistema da Qualidade, apresenta como *visão* ser um prestador de serviços de transportes públicos urbanos, com fortes preocupações de carácter eminentemente social, modernos, de confiança, seguros, responsáveis ambientalmente e assim contribuir para o desenvolvimento sustentável do Concelho. A sua *missão* é garantir uma oferta de transporte público adequada às necessidades das populações, desenvolvendo ações que privilegiem a opção do uso de transporte coletivo.

Este mesmo documento, indica que os seus *objetivos estratégicos* são melhorar a eficiência e a qualidade do serviço, prosseguir uma política de mobilidade sustentável, apostar na atualização tecnológica e na informação e comunicação com o cliente, promover políticas de desenvolvimento de “um transporte mais limpo e melhor”, efetuar uma contenção de custos e fomentar boas práticas de gestão, contribuir para maior fluidez e ordenamento do trânsito e do transporte público, e melhorar a articulação entre os diversos modos de transporte.

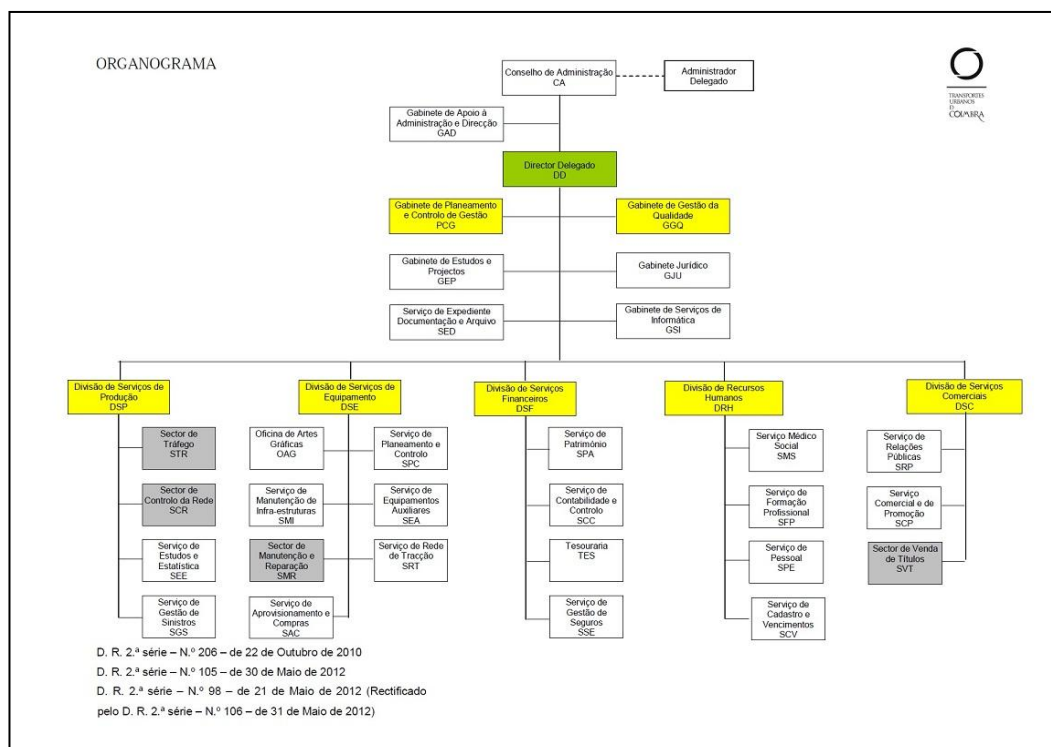


Figura 11 – Organograma dos SMTUC (Fonte: <http://www.smtuc.pt>, 11/09/2012)

A 31 de dezembro de 2012, os SMTUC tinham 457 colaboradores, estando estes divididos em agentes de tráfego, pessoal operário e outro pessoal, conforme está exposto no documento “Grandes Opções do Plano e Orçamento 2013” dos SMTUC. A estrutura orgânica da organização encontra-se no organograma exposto na Figura 11.

Os SMTUC, tal como todas as organizações, diferenciam-se da concorrência num determinado mercado, através dos seus *pontos fortes* e dos seus *pontos fracos*. Para além disso, existem fatores externos que não podem ser alterados, como é o caso das *ameaças* e das *oportunidades* (Lindon *et al*, 2008). Esta análise será feita tendo por base os documentos “Relatório de Gestão e Documentos Financeiros 2011” e “Grandes Opções do Plano e Orçamento 2013” dos SMTUC.

Começando por abordar os fatores internos, podem-se indicar como pontos fortes desta organização: o *know-how* resultante de uma longa história de atividade tal como da estabilidade dos seus recursos humanos, o seu evoluído sistema de bilhética, o sistema GESBUS que aborda de forma automática e otimizada o problema de escalonamento e gestão de viaturas, o sistema Rumos que permite planear viagens *online*, a aplicação para telemóveis SMTUC – mobile, os painéis de informação ao público, a nova aplicação para telemóveis que permite o pagamento do estacionamento através do mesmo e o simulador de condução.

Já como pontos fracos indicam-se o envelhecimento de parte da sua frota, a oferta reduzida durante o período nocturno, a existência de uma percentagem reduzida de viaturas com ar condicionado, a existência de uma percentagem reduzida de viaturas com acesso a pessoas em cadeira de rodas, a inexistência de algumas rotas noturnas e a falta de conforto de diversas paragens para os utentes que aguardam a chegada do autocarro pretendido, nomeadamente devido à inexistência de cobertura e de local para sentar.

Quanto aos fatores externos, a forte quebra sentida na aquisição de automóveis por particulares, afigura-se como uma oportunidade para os

SMTUC. A isto acresce ainda o adiamento da conclusão do projeto Metro Mondego e a redução do poder de compra dos portugueses, o que poderá levar a que a população opte por este meio de transporte em detrimento de outros mais dispendiosos, como o uso de táxis. Por outro lado, o programa de assistência financeira que vigora em Portugal, pode ser encarado como uma ameaça para os SMTUC, tendo já tido reflexos visíveis na redução da necessidade de mobilidade, por conta do aumento do desemprego. Para além disso, o atual cenário socioeconómico português, poderá também refletir-se numa redução do número de estudantes do Ensino Superior com grande peso na cidade de Coimbra, podendo ter consequências no número de potenciais utilizadores dos autocarros dos SMTUC.

Já no que concerne ao preço dos combustíveis, consubstancia um fator externo, que tanto poderá ser considerado como oportunidade ou como ameaça. Ou seja, caso ocorra um aumento significativo destes, isto poderá levar a que menos pessoas optem pela utilização do automóvel particular, optando pela utilização dos transportes públicos. Por outro lado, pode ser visto como uma ameaça, uma vez que terá um forte impacto nos gastos que os SMTUC terão que fazer com os combustíveis.

Outro fator externo nestas condições, é a política de estacionamento na cidade de Coimbra, uma vez que uma eventual redução do número de estacionamentos gratuitos em via pública (tal como na zona da Alta da cidade de Coimbra), poderá levar a um aumento da utilização dos autocarros dos SMTUC e a um aumento das receitas provenientes do estacionamento. Já um aumento do número de estacionamentos gratuitos em via pública (como por exemplo na Avenida Sá da Bandeira), terá como consequências negativas a redução das receitas provenientes do estacionamento e uma eventual redução do número de utilizadores dos autocarros dos SMTUC.

Ao longo dos anos, a cidade de Coimbra tem tido uma enorme variação na sua disposição espacial, nomeadamente no que diz respeito à rede rodoviária existente e às áreas de habitação, comércio e serviços. Assim, com

o passar dos anos, os SMTUC têm procurado servir novas zonas, quer através da colocação de novas paragens, quer através da criação de novas rotas.

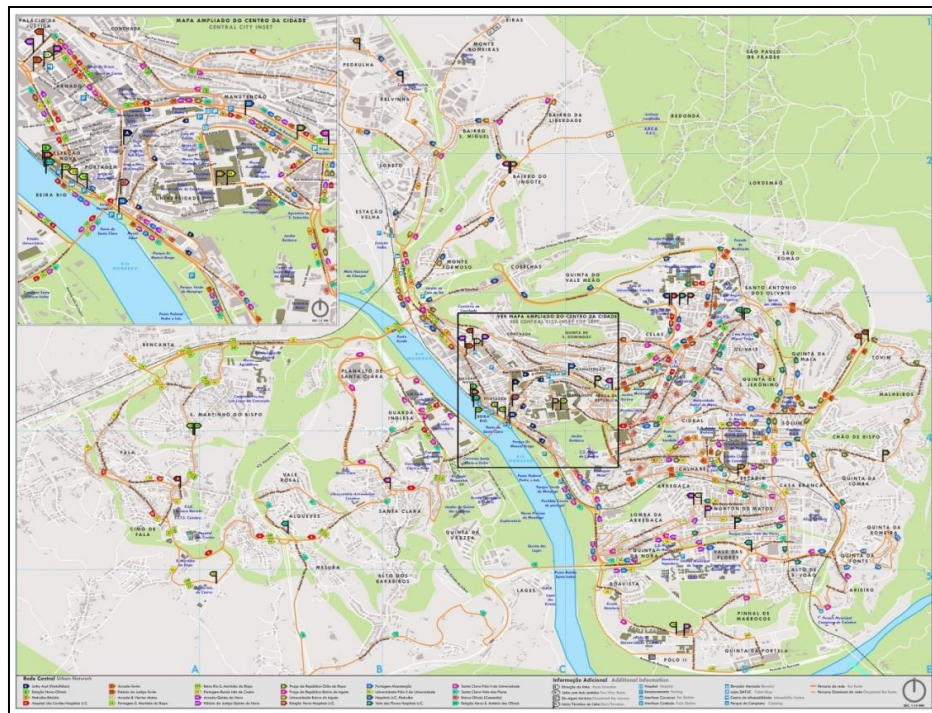


Figura 12 – Rede geral dos SMTUC (Fonte: <http://www.smtuc.pt>, 05/07/2012)

Para além da sua rede geral (Figura 12), que serve essencialmente a zona urbana da cidade de Coimbra, dispõe também de uma rede complementar, mais vocacionada para zonas rurais (Figura 13).

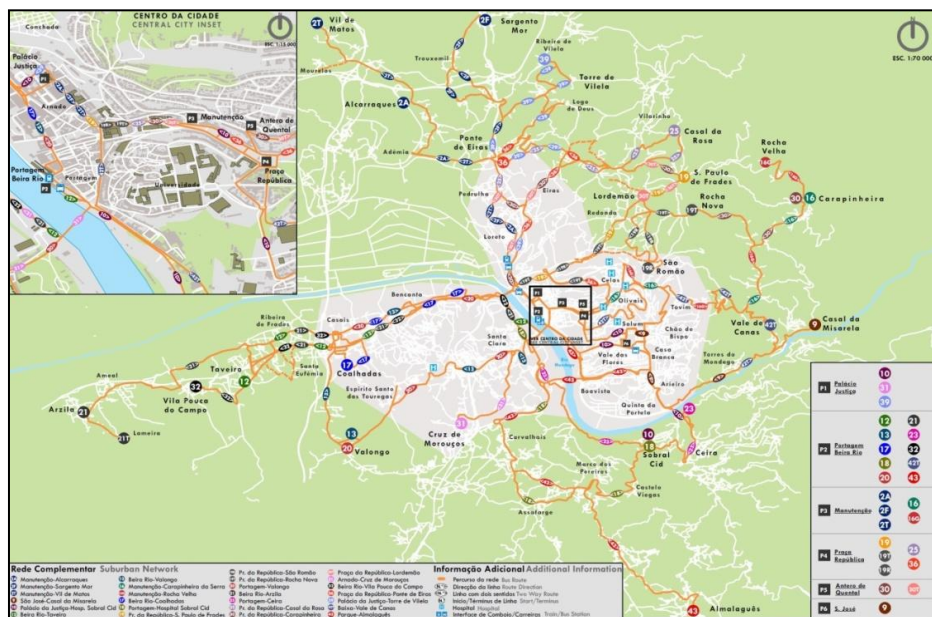


Figura 13 – Rede complementar dos SMTUC (Fonte: <http://www.smtuc.pt>, 05/07/2012)

Esta constante evolução é bastante propícia para o surgimento de redundâncias de cobertura de paragens, que, caso subsistam, demonstram que não existe uma otimização dos recursos existentes e, por outro lado, podem afastar potenciais utilizadores devido aos elevados tempos de viagem (Furth e Rahbee, 2000; Saka, 2001; Delmelle *et al*, 2012).

Segundo o jornal “Diário As Beiras”, “no primeiro semestre de 2012, os Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra (SMTUC) transportaram menos 785 mil passageiros em comparação com igual período de 2011. Os números foram ontem revelados na reunião do executivo e motivaram a preocupação de todo o executivo municipal” (<http://www.asbeiras.pt/2012/11/smtuc-transportou-menos-785-mil-passageiros>, 2012).

Para além disso, os relatórios de gestão e documentos financeiros dos SMTUC indicam que os seus resultados operacionais têm sido negativos ao longo dos últimos anos.

Ficam assim evidenciados os motivos essenciais que levaram à opção da escolha dos SMTUC para este “estudo de caso”.

Deste modo, no capítulo seguinte, irá ser apresentada a aplicação prática do modelo LSCP aos SMTUC.

5. Aplicação Prática

Tal como foi referido anteriormente, o sistema de transportes públicos de autocarros de Coimbra, é o centro da análise estratégica do acesso e da acessibilidade apresentada neste documento. Deste trabalho, será de esperar uma diminuição do número de paragens necessárias para continuar a prestar um serviço com a cobertura adequada às zonas atualmente servidas.

Escolheu-se a aplicação do modelo LSCP, uma vez que se pretende servir todas as zonas de procura atualmente servidas. Este modelo, tal como já foi indicado, tem por objetivo minimizar o número de paragens de autocarro, para que as áreas que são atualmente servidas de forma apropriada pelos serviços de transportes públicos o continuem a ser. Será portanto necessário que as paragens de autocarro selecionadas cubram as diferentes zonas de procura da área de estudo.

Foram definidas duas áreas para o estudo, a primeira que engloba maioritariamente o Bairro da Solum, sendo denominada daqui para a frente por Área A, e a segunda que engloba o Bairro Norton de Matos e a Casa Branca, que será denominada de Área B.

Consideraram-se diferentes raios de cobertura para uma paragem, tendo em conta os valores referidos no enquadramento teórico e globalmente aceites como sendo os mais indicados, nomeadamente 300, 400 e 500 metros. Para além disso, foram analisadas as atuais localizações das paragens, outras localizações ao longo das rotas atualmente existentes e fora das rotas atualmente existentes.

Assim, aplicou-se este modelo para a Área A, para a Área B e para ambas as áreas em simultâneo, tendo-se em cada uma destas aplicações sido avaliados três diferentes cenários, considerando:

- apenas as paragens atualmente existentes;
- as paragens atualmente existentes e potenciais novas paragens ao longo das rotas atualmente existentes;

- as paragens atualmente existentes, potenciais novas paragens ao longo das rotas atualmente existentes e potenciais novas paragens fora das rotas atualmente existentes.

A sua formulação será a seguinte:

Função Objetivo: Minimizar $\sum_j x_j$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 \forall i,$$

$$x_j = (0,1) \forall j.$$

Em que:

i : índice das zonas servidas com acesso apropriado {zonas de procura da Área A ou zonas de procura da Área B ou zonas de procura da Área A e B}

j : índice das paragens de transportes coletivos {paragens atualmente existentes na Área A ou paragens atualmente existentes e potenciais novas paragens ao longo das rotas atualmente existentes na Área A ou paragens atualmente existentes e potenciais novas paragens tanto ao longo das rotas atualmente existentes como fora destas na Área A ou paragens atualmente existentes na Área B ou paragens atualmente existentes e potenciais novas paragens ao longo das rotas atualmente existentes na Área B ou paragens atualmente existentes e potenciais novas paragens tanto ao longo das rotas atualmente existentes como fora destas na Área B ou paragens atualmente existentes nas Áreas A e B ou paragens atualmente existentes e potenciais novas paragens ao longo das rotas atualmente existentes nas Áreas A e B ou paragens atualmente existentes e potenciais novas paragens tanto ao longo das rotas atualmente existentes como fora destas nas Áreas A e B}

N_i : { j | $d_{ij} \leq S$ }

d_{ij} : distância mais curta entre a zona de procura i e a paragem j {matriz-distância 1 ou matriz-distância 2 ou matriz-distância 3 ou matriz-distância 4 ou matriz-distância 5 ou matriz-distância 6 ou matriz-distância 7 ou matriz-distância 8 ou matriz-distância 9}

S : distância padrão para o acesso = 300 ou 400 ou 430 ou 500 metros

x_j : { 1, se a paragem de transportes coletivos existente j vai ser incluída no sistema
 0, caso contrário

Em anexo a este documento (Anexo 1), apresenta-se a matriz-distância (d_{ij}) para o cenário da aplicação do modelo LSCP à Área A, em que se consideraram apenas as paragens atualmente existentes, uma vez que as restantes matrizes são demasiado grandes para permitirem uma adequada visualização em papel.

Deste modo, foram construídas *nove matrizes-distância* para aplicação deste modelo, tendo estas sido as seguintes:

- Matriz-distância 1, entre as zonas de procura da Área A e as paragens atualmente existentes na Área A (Anexo 1);
- Matriz-distância 2, entre as zonas de procura da Área A e as paragens atualmente existentes, bem como as potenciais novas paragens ao longo das rotas atualmente existentes na Área A;
- Matriz-distância 3, entre as zonas de procura da Área A e as paragens atualmente existentes, bem como as potenciais novas paragens ao longo e fora das rotas atualmente existentes na Área A;
- Matriz-distância 4, entre as zonas de procura da Área B e as paragens atualmente existentes na Área B;
- Matriz-distância 5, entre as zonas de procura da Área B e as paragens atualmente existentes bem como as potenciais novas paragens ao longo das rotas atualmente existentes na Área B;
- Matriz-distância 6, entre as zonas de procura da Área B e as paragens atualmente existentes, bem como as potenciais novas paragens ao longo e fora das rotas atualmente existentes na Área B;
- Matriz-distância 7, entre as zonas de procura das Áreas A e B e as paragens atualmente existentes nas Áreas A e B;
- Matriz-distância 8, entre as zonas de procura das Áreas A e B e as paragens atualmente existentes bem como as potenciais novas paragens ao longo das rotas atualmente existentes nas Áreas A e B;

- Matriz-distância 9, entre as zonas de procura das Áreas A e B e as paragens atualmente existentes, bem como as potenciais novas paragens ao longo e fora das rotas atualmente existentes nas Áreas A e B.

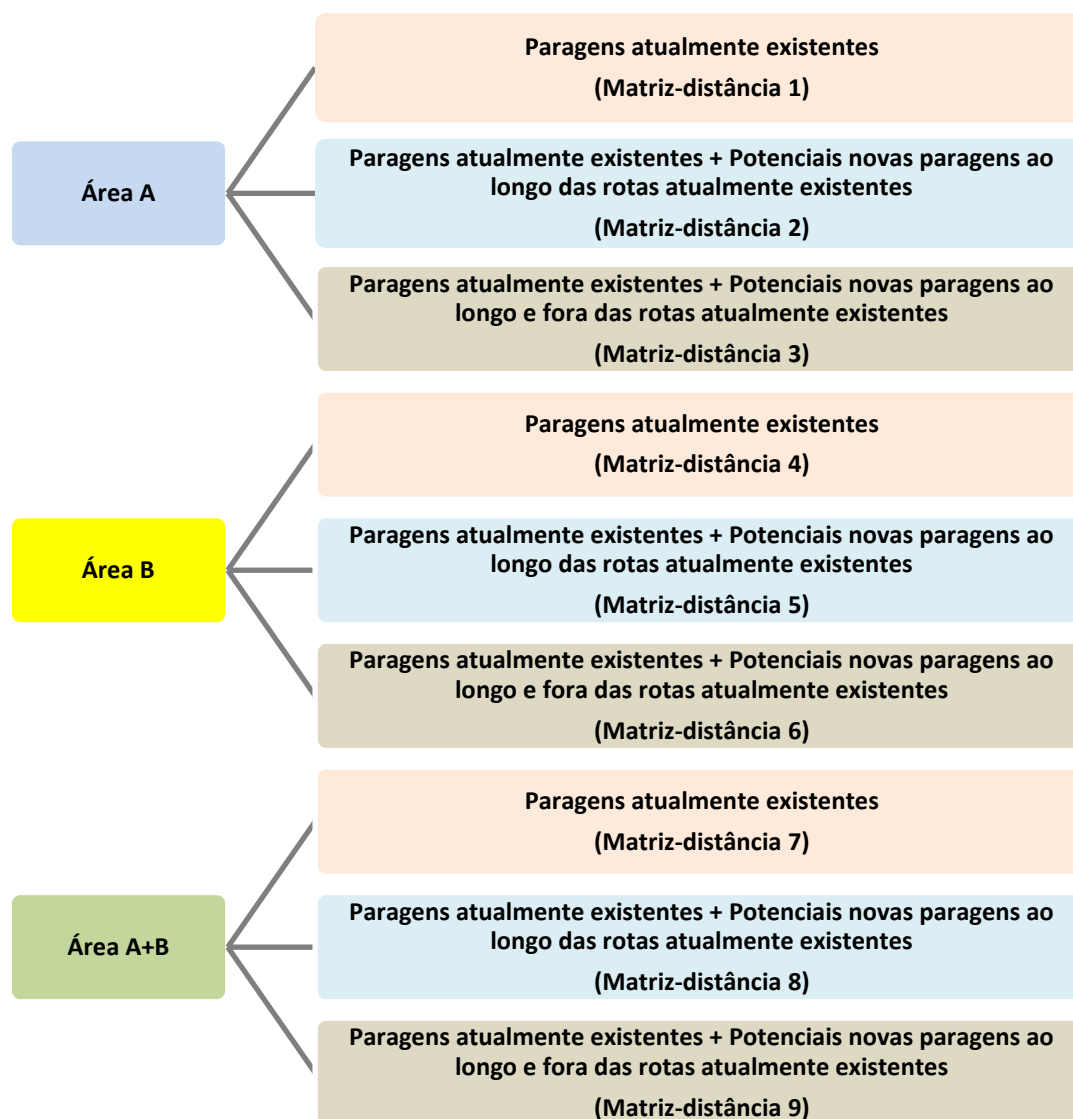


Figura 14 – Relação entre diferentes áreas e matrizes-distância utilizadas na aplicação do modelo LSCP

Assim, através da aplicação deste *modelo* e com o auxílio da ferramenta *solucionador* da aplicação informática *Microsoft Excel*, bem como da aplicação informática *Xpress-IVE*, determinaram-se os resultados para *trinta e seis diferentes cenários* (quatro para cada matriz-distância), que serão apresentados de seguida, encontrando-se estes divididos da seguinte forma:

- Aplicação do modelo LSCP à Área A;
- Aplicação do modelo LSCP à Área B;
- Aplicação do modelo LSCP às Áreas A e B.

A análise destes resultados será efetuada no capítulo 6, “Discussão de resultados”.

5.1 Aplicação do Modelo LSCP à Área A

Ao aplicar o modelo à Área A, caso se considere que a distância padrão para o acesso (raio de cobertura de uma paragem) é inferior a 430 metros, verificou-se que examinando apenas as paragens atuais não é possível cobrir todas as zonas de procura (apesar da Área A ser atualmente servida por catorze paragens). Assim, contrariamente às restantes aplicações, apenas é possível apresentar resultados para 430 e 500 metros, uma vez que este modelo apenas funciona para situações em que se considera que todas as zonas de procura estão apropriadamente servidas.

Quanto às aplicações do modelo LSCP à Área A, considerando locais para novas paragens na rota atualmente existente, já é possível obter resultados para 300, 400 e 500 metros.

Uma vez que examinando apenas as localizações atuais, o menor raio de cobertura de uma paragem para o qual se conseguiu aplicar o modelo foi 430 metros, decidiu-se utilizar esse valor nas diversas aplicações, de forma a permitir uma melhor comparação dos resultados.

Considerando todos os locais das paragens atuais e os locais das potenciais novas paragens na rota existente, bem como no cenário em que também se consideram os locais das potenciais novas paragens fora da rota existente, é também possível obter resultados considerando apenas 300 metros como raio de cobertura de uma paragem. Os resultados destas diferentes aplicações encontram-se no Gráfico 2,

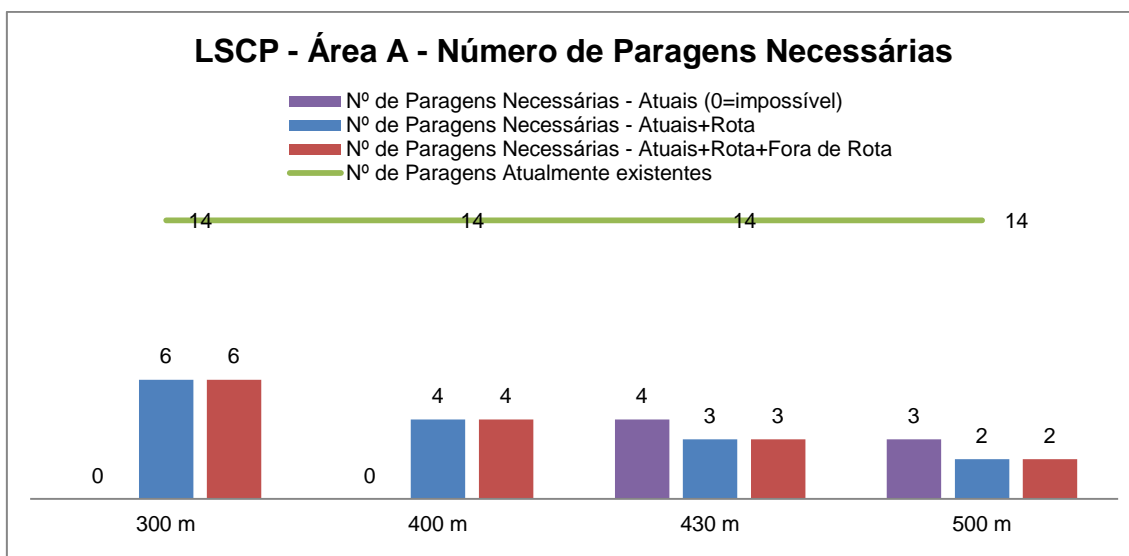


Gráfico 2 – Número de paragens necessárias obtidas através da aplicação do modelo LSCP à Área A

Atualmente, a distância média de uma zona de procura a uma paragem é de 126 metros, sendo que a distância média de uma zona de procura a uma paragem selecionada, para se manter em funcionamento através da aplicação do modelo LSCP à Área A, é no máximo de 270 metros (Gráfico 3).

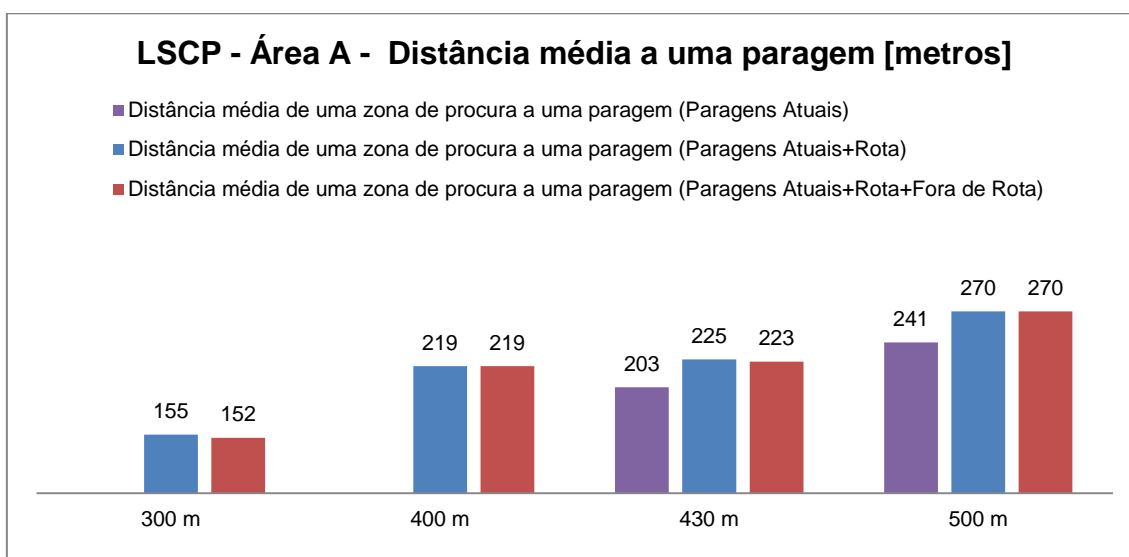


Gráfico 3 – Distância média de uma zona de procura a uma paragem selecionada através da aplicação do modelo LSCP à Área A

Os resultados obtidos para cada um destes cenários encontram-se expostos no Anexo 2 deste documento.

5.2 Aplicação do Modelo LSCP à Área B

Tal como já foi referido, uma vez que para a Área A apenas é possível obter resultados considerando apenas a localização das paragens atuais a partir de 430 metros, também para a aplicação à Área B se utilizou este valor.

Contrariamente à Área A, na aplicação do modelo LSCP à Área B não houve qualquer dificuldade em obter resultados considerando 300 metros como raio de cobertura de uma paragem atualmente existente. Atualmente existem vinte e duas paragens de autocarro na Área B, sendo que o número de paragens obtido através da aplicação do modelo LSCP à Área B, encontra-se indicado no Gráfico 4. Este varia entre as duas paragens (considerando que o raio de cobertura de uma paragem é de 500 metros, e como possível localização para paragens, tanto as paragens atualmente existentes como potenciais novas paragens ao longo e fora das rotas atualmente existentes) e as nove paragens (considerando que o raio de cobertura de paragem é de 300 metros e considerando apenas as localizações das paragens atualmente existentes).

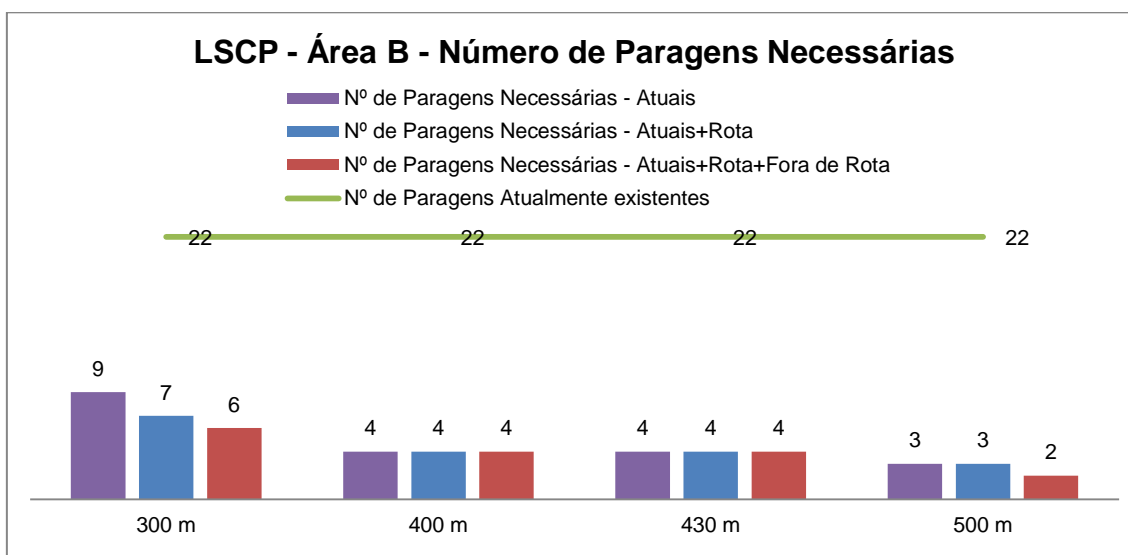


Gráfico 4 - Número de paragens necessárias obtidas através da aplicação do modelo LSCP à Área B

A distância média atualmente existente desde uma zona de procura até uma paragem é de 110 metros, sendo que aplicando os resultados obtidos através do modelo LSCP, esta distância iria variar entre os 158 metros e os 292 metros (Gráfico 5).

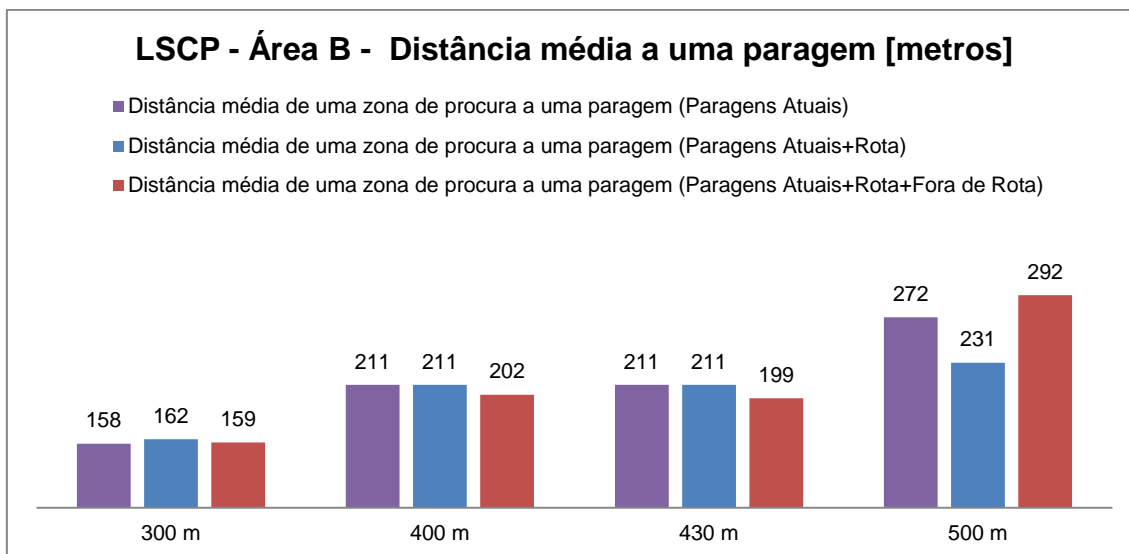


Gráfico 5 – Distância média de uma zona de procura a uma paragem selecionada através da aplicação do modelo LSCP à Área B

Os resultados obtidos para cada um destes cenários encontram-se expostos no Anexo 3 deste documento.

5.3 Aplicação do Modelo LSCP às Áreas A e B

Após a aplicação do modelo LSCP, individualmente, às Áreas A e B, aplicou-se este mesmo modelo às duas áreas em conjunto.

Esta aplicação irá permitir que se efetue uma comparação com os resultados obtidos na análise individual das duas áreas, de forma a poder-se avaliar o grau de importância de uma análise conjunta. O número de paragens necessárias para continuar a servir as diferentes zonas de procura, encontra-se no Gráfico 6, variando entre as quatro paragens (considerando que o raio de cobertura de uma paragem é de 500 metros, e como possível localização para paragens, tanto as paragens atualmente existentes como potenciais novas paragens ao longo e fora das rotas atualmente existentes) e as catorze paragens (considerando que o raio de cobertura de paragem é de 300 metros e considerando apenas as localizações das paragens atualmente existentes). Atualmente existem trinta e seis paragens de autocarro dos SMTUC ao longo das Áreas A e B.

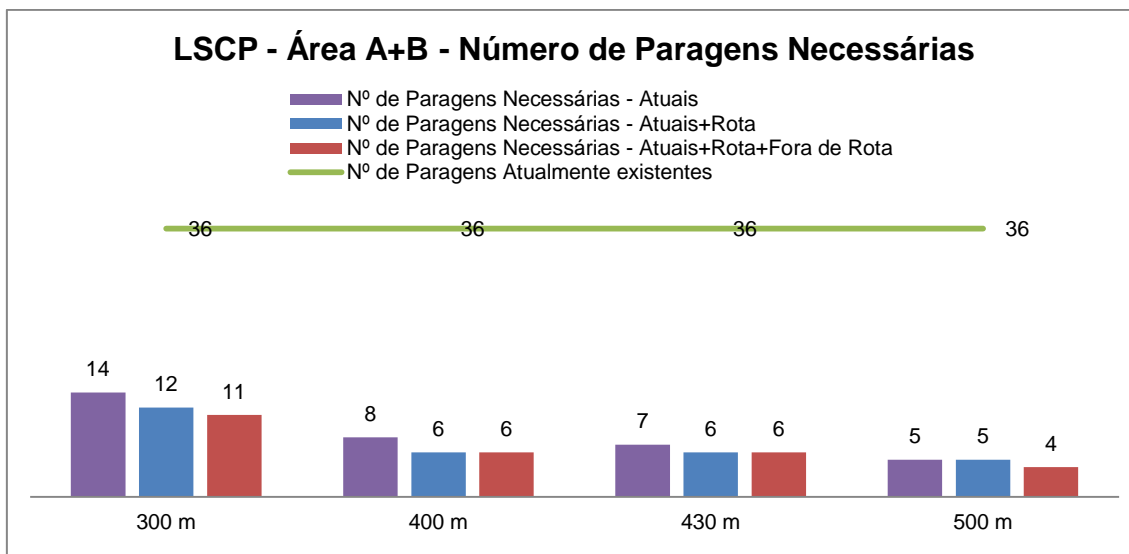


Gráfico 6 - Número de paragens necessárias obtidas através da aplicação do modelo LSCP às Áreas A e B

Em termos de distância média de uma zona de procura a uma paragem selecionada para se manter em funcionamento através da aplicação do modelo LSCP à Área A e à Área B em simultâneo, os resultados obtidos encontram-se no Gráfico 7, sendo esta distância atualmente de 116 metros.

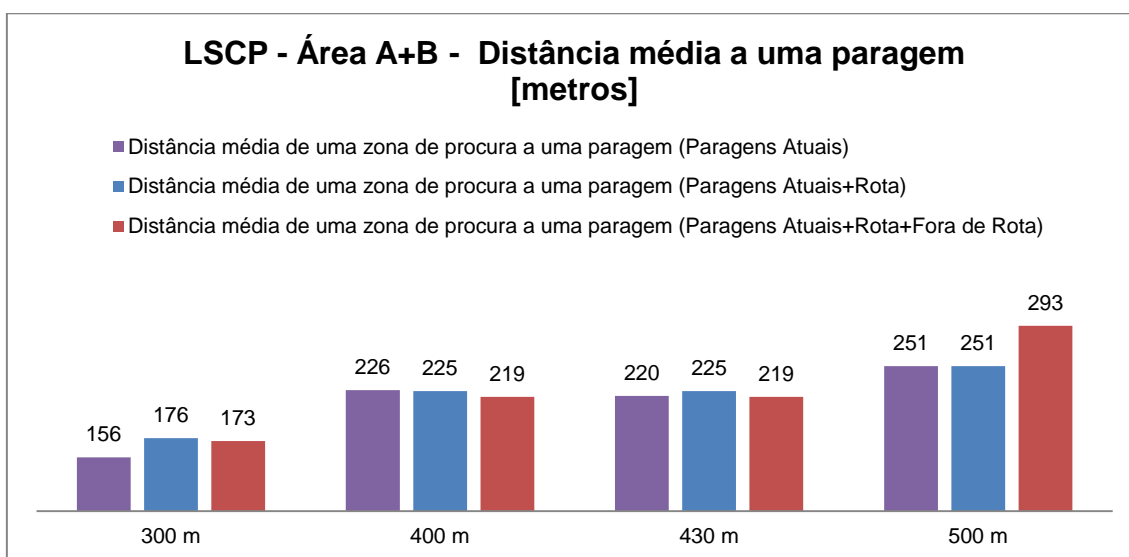


Gráfico 7 - Distância média de uma zona de procura a uma paragem selecionada através da aplicação do modelo LSCP às Áreas A e B

Os resultados obtidos para cada um destes cenários encontram-se expostos no Anexo 4 deste documento.

6. Discussão de resultados

No capítulo anterior foram apresentados os resultados obtidos nas trinta e seis aplicações do modelo LSCP efetuadas. Deste modo, seguidamente ir-se-á então analisar e discutir os resultados obtidos.

6.1 Discussão dos resultados obtidos - Área A

Os resultados da aplicação do modelo LSCP à Área A expostos no Gráfico 2 e no Gráfico 3, demonstram que, ao contrário do que seria de esperar, nem todas as zonas de procura se encontram servidas pelas paragens atualmente existentes para um raio de cobertura de uma paragem inferior a 430 metros. Assim, comparando estes resultados para 430 metros com a situação atual, verifica-se que com apenas quatro paragens de autocarro seria possível servir todas as zonas de procura que se encontram atualmente servidas, utilizando apenas as localizações atuais das paragens. A distância média de uma zona de procura a uma paragem de 203 metros contra uma distância atual de 126 metros, trata-se de um valor perfeitamente aceitável, podendo mesmo ser considerado um bom valor.

Para além disso, seria possível obter uma cobertura total com apenas seis paragens, considerando que as paragens apenas teriam um raio de cobertura de 300 metros, sendo no entanto necessário considerar potenciais novas localizações de paragens de autocarro, uma vez que as localizações atuais apenas permitem obter uma cobertura total a partir dos 430 metros. Todas as distâncias médias de uma paragem a uma zona de procura são inferiores 270 metros, sendo por isso qualquer solução aceitável.

Nos cenários que consideram potenciais novos locais para paragens de autocarro, foram obtidos resultados para todos os raios de cobertura de uma paragem considerados. Para além disso, seria possível servir apropriadamente todas as zonas de procura com menos paragens, pelo que poderá considerar-se que os locais atualmente escolhidos não serão os mais indicados.

6.2 Discussão dos resultados obtidos - Área B

Já através da aplicação do modelo LSCP à Área B, cujos resultados se encontram expostos no Gráfico 4 e no Gráfico 5, e considerando apenas as localizações atuais de paragens de autocarro, seria possível obter uma cobertura total com apenas nove (300 metros), quatro (400 e 430 metros) ou três (500 metros) paragens de autocarro. Trata-se de uma redução significativa, uma vez que atualmente existem 22 paragens de autocarro. Quanto à distância média a uma paragem, esta apresentaria um aumento pouco significativo para a situação de cobertura de 300 metros. No entanto, passaria quase para o dobro numa situação de cobertura de 400 metros e quase para o triplo numa situação de cobertura de 500 metros. Apesar de estes valores serem relativamente baixos (inferiores a 300 metros), recomendar-se-ia algum cuidado nesta aplicação, uma vez que poderia provocar eventuais conflitos com os atuais utilizadores, uma vez que teriam que percorrer uma distância bastante superior à que atualmente percorrem.

Tal como na aplicação do modelo LSCP à Área A, a consideração de novos locais para as paragens de autocarro, permite a obtenção de melhores resultados do que apenas considerando as localizações atuais. Assim, com um menor número de paragens, seria possível cobrir toda as zonas de procura da Área B, caso se considerassem novas localizações para as paragens.

6.3 Discussão dos resultados obtidos - Áreas A e B

Os resultados obtidos da aplicação a ambas as áreas em simultâneo (Gráfico 6 e Gráfico 7), permitem verificar que considerando apenas as localizações atuais de paragens de autocarro, seria possível obter uma cobertura total com 14 (300 metros), 8 (400 metros), 7 (430 metros) ou 5 (500 metros) paragens de autocarro. Isto indica que seria possível proceder-se a uma redução significativa de paragens, uma vez que atualmente existem 36 paragens de autocarro.

A distância média de uma zona de procura a uma paragem, apresenta valores inferiores a cerca de 250 metros, sendo mesmo de 156 metros na

primeira solução, em que se considerou que o raio de cobertura de uma paragem é de 300 metros. Mesmo a solução que atribui o menor número de paragens, apresenta uma distância média de uma paragem a uma zona de procura de cerca de 293 metros, que é um valor perfeitamente aceitável. Assim, trata-se certamente de uma solução bastante válida.

Já nos cenários em que se consideraram potenciais novas localizações para as paragens, a redução seria ainda mais significativa, sendo mesmo possível servir todas as zonas de procura com apenas 4 paragens, caso se considere que o raio de cobertura de uma paragem é de 500 metros.

Comparando estes resultados com os obtidos para as duas áreas individualmente, constata-se que contrariamente ao verificado na análise individual das áreas, seria possível obter uma cobertura total para 300 e 400 metros apenas com as localizações das paragens atualmente existentes. Para além disso, comparando os valores totais obtidos através da soma das duas áreas individualmente, ocorre uma redução significativa no número de paragens atribuídas. Verifica-se também, que é a consideração de novos locais para paragens de autocarro, tanto nas rotas atuais como fora destas, permite a obtenção de um resultado melhor, apesar de resultar uma distância média superior entre de uma zona de procura a uma paragem.

Fica assim demonstrado, que a análise conjunta das diferentes áreas de estudo permite a obtenção de um resultado bastante mais favorável.

6.4 Considerações gerais

Em termos gerais, pode-se então concluir que os resultados obtidos através da aplicação deste modelo de otimização provam que existe presentemente uma redundância de cobertura das paragens atualmente existentes. Isto vai de encontro ao referido por diferentes autores, nomeadamente Delmelle *et al* (2012), que indicam que as alterações nas redes de transportes urbanos coletivos não são analisadas no contexto global, mas

sim pontualmente, levando muitas vezes à existência de redundâncias inadequadas de cobertura.

Saliente-se a existência de uma dificuldade encontrada nesta aplicação prática que se deveu ao facto da aplicação informática *Microsoft Excel*, na sua versão corrente, ter limitações que não permitem obter resultados aquando da utilização das maiores matrizes de distâncias. Para resolver esta situação, foi necessário recorrer a uma aplicação informática específica, mais concretamente ao *Xpress-IVE*.

A existência de diversos arruamentos com sentido único de circulação na Área B foi também outra dificuldade, uma vez que, conforme foi referido anteriormente, é necessário considerar as paragens como sendo duplas, ou seja, que permitam a circulação em ambas os sentidos das rotas. Isto levou a que muito pontualmente não fosse possível identificar a paragem correspondente, o que obrigou a ter de se considerar todas as paragens como sendo duplas, nas soluções que apresentem paragens de autocarro em arruamentos de sentido único de circulação. Saliente-se, contudo, que são muito poucas as soluções que apresentam paragens em arruamentos de sentido único, sendo, que nestes casos bastará que se atribua uma paragem correspondente a essa mesma paragem no local mais próximo possível (de modo a conseguir-se obter uma paragem dupla). Esta questão deverá ser analisada conjuntamente com as rotas que se consideram ser efetivamente necessárias.

Recomenda-se a aplicação destes modelos de otimização à totalidade da rede de transportes dos SMTUC, analisada conjuntamente com a frota e as rotas efetivamente necessárias. Esta análise deverá permitir uma redução dos custos, nomeadamente os associados ao consumo de combustível, à manutenção dos equipamentos e aos recursos humanos, entre outros, e para além disso, ao aumento dos potenciais utilizadores devido à redução dos tempos de viagem, conforme afirmado por Furth e Rahbee (2000), Saka (2001), van Nes e Bovy (2000).

7. Conclusão

A sustentabilidade das organizações de transportes urbanos coletivos tem vindo a ser posta em causa, nomeadamente em consequência dos seus constantes resultados operacionais negativos antes de financiamento e impostos, podendo interferir no seu ciclo de vida ou perpetuação pretendida.

Em termos políticos, muitas destas organizações são atualmente consideradas como bens semipúblicos, pois através destas, o Estado procura satisfazer necessidades coletivas e individuais das populações, sendo cobrado um preço pela sua utilização individual que, no entanto, é inferior ao seu custo.

Assim, a análise dos resultados operacionais destas organizações, não deverá ser efetuada da mesma forma como se faz a análise dos resultados operacionais de uma qualquer organização privada, pois ao contrário das organizações privadas, o seu objetivo não é a obtenção de lucro. Isto deve-se, em grande parte, a um meio de financiamento que apenas o Estado dispõe, ou seja, os impostos. No entanto, e tendo em conta o atual estado das finanças públicas portuguesas, realçado pela necessidade que Portugal sentiu no ano de 2011 de recorrer a ajuda financeira externa, conclui-se que se torna urgente a melhoria dos seus resultados operacionais, nomeadamente através da otimização dos seus recursos, tornando estas organizações mais eficientes e ao mesmo tempo mais eficazes.

Deste modo, com o objetivo de contribuir para a melhoria da gestão das organizações de transportes urbanos coletivos, apresentaram-se e discutiram-se diferentes *modelos de otimização*, tendo sido feita a aplicação prática do modelo LSCP aos transportes urbanos coletivos de Coimbra, mais precisamente aos SMTUC. Com esta aplicação pretendia-se analisar a existência de redundâncias na cobertura do serviço atualmente existente, de modo a perceber quais as zonas de procura que estão atualmente servidas e verificar se seria possível servir o mesmo número de potenciais utentes com um menor número de paragens.

Através da análise dos resultados obtidos, verificou-se que existe atualmente um número excessivo de paragens de autocarro, o que demonstra que não existe no presente uma otimização completa de recursos, e que seria possível melhorar a eficiência do serviço.

Esta melhoria da eficiência iria permitir uma redução custos, nomeadamente nos consumos de combustível, devido à necessidade de um menor número de paragens. Do mesmo modo o tempo de viagem diminuiria, permitindo tornar este meio de transporte mais competitivo comparativamente com os restantes, tornando-se, conseqüentemente, mais atrativo para os potenciais utilizadores. Por outro lado, a redução dos tempos de viagem poderia também levar à redução da frota, uma vez que seria possível manter a mesma frequência de passagem com um menor número de viaturas.

Para além disso, resultados melhores seriam obtidos no caso de a análise ter sido mais abrangente, ou seja, feita de forma global a toda a área de jurisdição do SMTUC, conforme se verificou na comparação dos resultados obtidos individualmente para cada uma das áreas com os resultados obtidos na análise conjunta das duas áreas. No entanto, mesmo assim, pode-se concluir que o estudo apresentado permite obter resultados substancialmente melhores do que os verificados na solução atualmente implementada.

Importa referir, que esta análise deverá ser também efetuada em conjunto com a análise das rotas que se considerem ser necessárias, uma vez que apenas deste modo, será possível melhor definir os locais que se encara como possíveis para a potencial localização de paragens.

Quanto a *desenvolvimentos futuros*, aconselha-se a realização de uma aplicação deste modelo de otimização para avaliar a globalidade da rede dos SMTUC (e de outros serviços de transportes urbanos), a par de uma análise à dimensão das frotas e rotas, de modo a contribuir para o aperfeiçoamento da gestão destas organizações e, conseqüentemente, para a melhoria dos seus resultados operacionais, garantindo-se também a satisfação das necessidades individuais e coletivas das populações, por parte do Estado.

8. Bibliografia

- Ammons, D. N. *Municipal benchmarks: Assessing local performance and establishing community standards*. 2.^a edição. Thousand Oaks: Sage Publications. 2001.
- Andrade, E. *Crescimento sustentável: uma aplicação financeira para empresas brasileiras*. Brasília: Universidade de Brasília. 2007.
- André, M. e Villanova, A. “Characterisation of an urban bus network for environmental purposes”, *Science of the Total Environment*, 334–335, 2004: 85–99.
- Benbasat, I., Goldstein, D.K. e Mead, M. “The Case Research Strategy in Studies of Information Systems”, *MIS Quarterly*, September, 1987: 369-386.
- Benn, H. (1995). *Bus route evaluation standards*. Washington: National Academy Press, 1995.
- Bilhim, J. *Ciência da Administração*. Lisboa: Universidade Aberta, 2000: 80.
- Caetano, M. *Manual de Direito Administrativo – Volume 2*. 10.^a Edição. Coimbra: Almedina, 1991.
- Carvalho, J., Cardoso, C., Fernandes, M., Silveira, O. e Camões, P. *Anuário do Setor Empresarial do Estado 2011*. Lisboa: Edições OTOC, 2012.
- Coutinho, C. e Chaves, J. “O estudo de caso na investigação em Tecnologia Educativa em Portugal”, *Revista Portuguesa de Educação*, 15(1), 2002: 221-244.
- Church, R. e ReVelle, C. “The Maximal Covering Location Problem”, *Papers of the Regional Science Association*, Volume 32, 1974: 101-118.
- Demetsky, M. J., e Lin, B. “Bus Stop Location and Design”, *Transportation Engineering Journal*, 108, 1982: 313-327.

- Delmelle, E., Li, S. e Murray, A. “Identifying bus stop redundancy: A gis-based spatial optimization approach”, *Computers, Environment and Urban Systems*, 36, 2012: 445-455.
- Drucker, P. *The Effective Executive*. 2.^a edição revista. Londres: Butterworth-Heinemann, 2007.
- Furth, P., e Rahbee, A. “Optimal bus stop spacing through dynamic programming and geographic modeling”, *Transportation Research Record*, 1731, 2000: 15-22.
- Giannopoulos, G. *Bus Planning and Operation in Urban Areas: A Practical Guide*. Avebury: Gower Pub. Co. Ltd., 1990.
- Gleason, J. “A Set Covering Approach to Bus Stop Location”, *Omega* 3, 1975: 605-608.
- Governo de Portugal *Plano Estratégico dos Transportes 2011-2015*. Lisboa: Ministério da Economia e do Emprego, 2011.
- Ibeas, A., dell’Olio, L., Alonso, B. e Sainz, O. “Optimizing bus stop spacing in urban areas”, *Transportation Research*, Part E46, 2010: 446–458.
- Kwan, M., Murray, A., O’Kelly, M. e Tiefelsdorf, M. “Recent advances in accessibility research: Representation, methodology and applications”, *Journal of Geographical Systems*, Volume 5, 2003: 129-138.
- Lindon, D., Lendrevie, J., Lévy, J., Dionísio, P. e Rodrigues, J. *Mercator XXI: Teoria e Prática do Marketing*. 11.^a edição. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 2008.
- Murray, A., Davis, R., Stimson, R. e Ferreira, L. “Public transport access”, *Transportation Research*, D 3, 1998: 319–328.
- Murray, A. “Strategic Analysis of Public Transport Coverage”, *Socio-Economic Planning Sciences*, 35, 2001: 175-188.

- Murray, A. “A coverage model for improving public transit system accessibility and expanding access”, *Annals of Operations Research*, 123(1), 2003: 143-156.
- Newman, R. e Kenworthy, J. *Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence*. Washington DC: Island Press, 1999.
- O’Sullivan, D., Morrison, A. e Shearer, J. “Using Desktop GIS for the Investigation of Accessibility by Public Transport: An Isochrone Approach”, *International Journal of Geographical Information Science*, 14, 2000: 85–104.
- Reilly, J. M. “Transit service design and operation practices in western European countries”, *Transportation Research Record*, 1997.
- Robalo, A. “Eficácia e eficiência organizacionais”, *Revista Portuguesa de Gestão*. 1995: 105-116.
- Saka, A. “Model for Determining Optimum Bus-Stop Spacing in Urban Areas”, *Journal of Transportation Engineering*, 127. 2001: 195-199.
- Tavares, C. *Transportes urbanos em Coimbra – Análise dos custos para os utilizadores*. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010: 3-19.
- Teixeira Ribeiro, J. *Lições de Finanças Públicas*. 5.^a edição refundida e atualizada. Coimbra: Coimbra Editora, 1997: 19-46.
- Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C. e Bergman, L. “The Location of Emergency Service Facilities”, *Operations Research*, 19(6), 1971: 1363–1373.
- van Nes, R. e Bovy, P. “Importance of objectives in urban transit-network design”, *Transportation Research Record*, 1735, 2000: 25-34.
- Vuchic, V.R. (1981). *Urban Public Transportation: Systems and Technology*. New Jersey: Prentice-Hall Inc, 1981.
- Yin, R. *Case Study Research: Design and Methods*. 2.^a edição. Thousand Oaks: SAGE Publications, 1994.

Relatório e Contas de diversas organizações:

Relatório e Contas 2011 da Companhia Carris Ferro Lisboa, SA.

Relatório de Contas 2011 da CP – Caminhos de Ferro Portugueses, EP.

Relatório e Contas 2011 da Metro - Metropolitano de Lisboa, EP.

Relatório e Contas 2011 da Metro do Porto, SA.

Relatório e Contas 2011 da MoveAveiro – Empresa Municipal de Mobilidade, EEM.

Relatório e Contas 2011 da TAP – SGPS, SA.

Relatório e Contas 2011 da Transtejo – Transportes do Tejo, SA.

Documentos dos SMTUC:

Âmbito, Visão, Missão, Objetivos Estratégicos e Política da Qualidade - Sistema da Qualidade SMTUC.

Relatório de Gestão e Documentos Financeiros 2010 dos SMTUC.

Relatório de Gestão e Documentos Financeiros 2011 dos SMTUC.

Grandes Opções do Plano e Orçamento 2013 dos SMTUC.

Internet:

Artigos, Crónicas e Contos: <http://artigoscronicasecontos.blogspot.pt>. Acedido em 15 de novembro de 2012.

Bing Maps: <http://www.bing.com/maps>. Acedido em 7 de setembro de 2012.

Diário as Beiras. “SMTUC transportou menos 785 mil passageiros”:
<http://www.asbeiras.pt/2012/11/smtuc-transportou-menos-785-mil-passageiros>. Acedido em 5 de dezembro de 2012.

Expresso. “Portugal com o maior aumento da carga fiscal na União Europeia”:
<http://expresso.sapo.pt/portugal-com-o-maior-aumento-da-carga-fiscal-na-uniao-europeia=f803491>. Acedido em 30 de abril de 2013.

SMTUC: <http://www.smtuc.pt>. Acedido em 5 de julho de 2012, em 11 de setembro de 2012 e em 18 de março de 2013.

Tópicos – Estadão.com.br: <http://topicos.estadao.com.br>. Acedido em 10 de setembro de 2012.

9. Anexos

Anexo 1 – Matriz distância 1 (d_{ij}) entre as zonas de procura e as paragens atualmente existentes na Área A, em metros

Anexo 2 – Resultados da aplicação do modelo LSCP à Área A

Anexo 3 – Resultados da aplicação do modelo LSCP à Área B

Anexo 4 – Resultados da aplicação do modelo LSCP às Áreas A e B

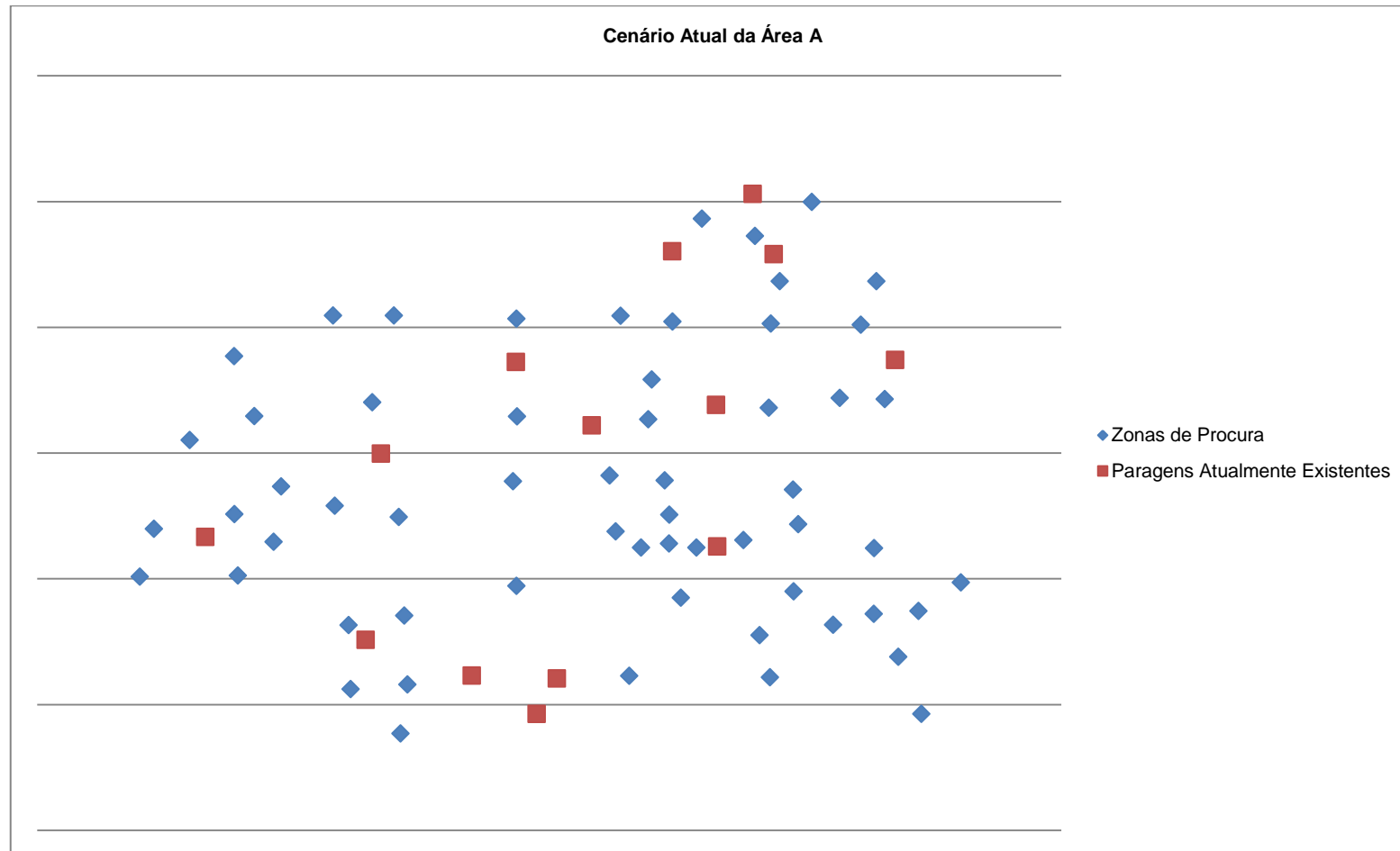
Anexo 1 – Matriz-distância 1 (d_{ij}) entre as zonas de procura e as paragens atualmente existentes na Área A, em metros

Zonas de procura na Área A (i_A)	Paragens atualmente existentes na Área A (j_A)													
	j_A 1	j_A 2	j_A 3	j_A 4	j_A 5	j_A 6	j_A 7	j_A 8	j_A 9	j_A 10	j_A 11	j_A 12	j_A 13	j_A 14
i_A 1	108	285	214	335	439	118	276	548	609	498	206	561	381	741
i_A 2	259	418	542	268	777	449	176	825	922	736	317	799	77	1078
i_A 3	537	586	233	680	83	345	670	462	378	526	526	558	819	337
i_A 4	201	202	232	501	359	84	435	384	463	333	369	396	482	639
i_A 5	340	336	190	591	211	152	544	316	342	321	442	372	627	489
i_A 6	341	479	69	419	301	206	415	572	562	576	266	629	595	597
i_A 7	108	229	226	394	422	89	328	492	564	436	270	500	397	717
i_A 8	425	320	356	725	299	282	663	159	251	160	585	206	692	492
i_A 9	356	567	528	93	783	494	102	922	985	856	232	921	283	1087
i_A 10	475	385	779	698	929	628	598	778	935	649	693	695	368	1183
i_A 11	233	76	375	572	472	224	489	373	498	277	465	341	459	724
i_A 12	592	501	440	864	260	422	815	142	72	259	715	259	868	335
i_A 13	255	160	312	578	387	173	505	321	427	251	454	315	515	641
i_A 14	193	304	509	352	722	390	251	725	835	628	350	690	105	1015
i_A 15	206	397	179	283	434	180	259	618	651	585	130	646	435	738
i_A 16	692	688	417	871	164	495	854	423	277	528	716	538	980	143
i_A 17	312	375	87	511	221	118	477	418	427	422	357	474	597	523
i_A 18	587	416	845	868	941	690	767	705	876	572	832	601	565	1154
i_A 19	441	224	640	770	704	488	673	466	634	333	694	369	541	910
i_A 20	144	133	299	476	446	144	398	433	532	358	364	422	408	723
i_A 21	220	42	455	551	583	299	457	476	611	365	473	425	372	841
i_A 22	312	99	455	652	522	307	565	349	497	232	551	291	505	749
i_A 23	321	139	567	636	681	411	537	520	673	395	573	446	401	923
i_A 24	336	245	633	595	785	482	493	661	808	537	568	590	301	1045
i_A 25	149	364	253	239	501	207	191	644	697	596	112	659	353	806
i_A 26	229	131	511	531	662	359	431	564	701	450	477	508	302	926
i_A 27	255	119	354	589	433	209	511	334	455	246	473	311	497	681
i_A 28	229	33	408	569	515	254	482	406	537	302	472	364	431	767
i_A 29	190	90	341	527	461	187	446	401	514	314	419	378	430	725
i_A 30	492	333	760	771	871	604	669	667	833	535	735	573	472	1099
i_A 31	373	156	578	702	659	425	607	454	616	324	626	370	486	880
i_A 32	395	220	648	697	757	493	597	570	731	440	645	484	432	991
i_A 33	414	267	688	694	811	533	593	636	795	506	657	550	405	1051
i_A 34	527	500	307	755	105	335	719	277	202	356	601	380	814	304
i_A 35	263	351	579	386	792	459	289	780	897	678	407	739	65	1084

Zonas de procura na Área A (i_A)	Paragens atualmente existentes na Área A (j_A)													
	j_A 1	j_A 2	j_A 3	j_A 4	j_A 5	j_A 6	j_A 7	j_A 8	j_A 9	j_A 10	j_A 11	j_A 12	j_A 13	j_A 14
i_A 36	181	149	478	475	646	330	376	582	709	476	423	536	261	921
i_A 37	83	235	402	341	611	278	244	630	730	543	291	607	211	904
i_A 38	656	531	540	949	370	503	892	101	97	234	803	207	920	394
i_A 39	220	433	432	145	681	373	44	791	863	722	175	786	219	985
i_A 40	318	490	578	238	821	500	166	890	981	805	323	869	129	1124
i_A 41	155	364	403	208	644	323	110	729	809	656	192	721	202	946
i_A 42	452	247	530	791	525	403	708	246	416	113	679	157	652	698
i_A 43	456	331	743	712	877	590	611	706	865	575	689	619	401	1120
i_A 44	725	693	474	931	219	531	906	376	212	493	775	494	1013	107
i_A 45	523	625	205	593	220	355	602	585	518	631	447	672	786	459
i_A 46	757	813	440	850	277	570	859	629	496	719	705	739	1033	291
i_A 47	673	589	493	932	278	496	889	208	35	336	780	326	952	264
i_A 48	728	616	581	1007	377	564	957	191	82	323	858	293	999	332
i_A 49	718	577	618	1019	446	574	960	144	159	259	876	215	975	437
i_A 50	773	756	502	957	248	576	939	451	286	568	802	569	1061	58
i_A 51	722	752	418	855	206	528	851	534	396	631	703	647	1005	207
i_A 52	900	881	625	1077	374	704	1062	549	375	673	922	666	1189	81
i_A 53	824	841	524	963	299	629	959	578	420	688	811	695	1109	156
i_A 54	617	601	364	820	110	422	794	345	219	443	665	457	906	208
i_A 55	275	497	424	67	679	394	41	827	885	769	132	833	294	983
i_A 56	615	704	295	684	232	441	695	612	518	675	540	709	881	404
i_A 57	297	522	369	89	625	371	126	811	851	766	70	829	376	926
i_A 58	795	750	551	1008	296	602	981	399	224	525	852	516	1083	80
i_A 59	941	903	680	1135	424	746	1115	542	367	672	979	657	1229	120

Anexo 2 – Resultados da aplicação do modelo LSCP à Área A

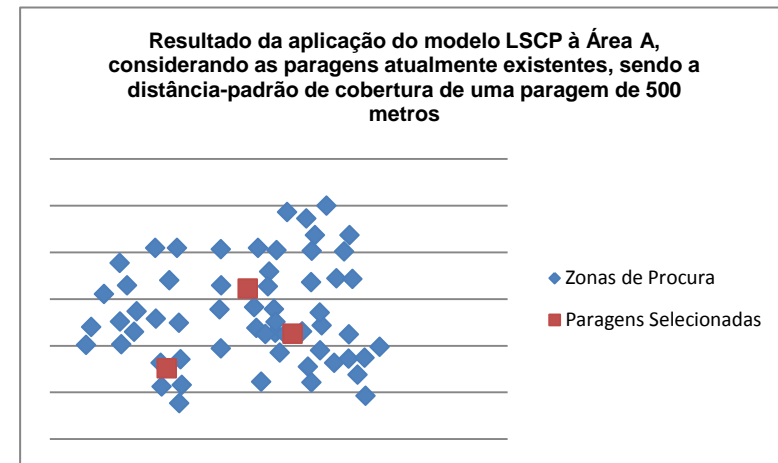
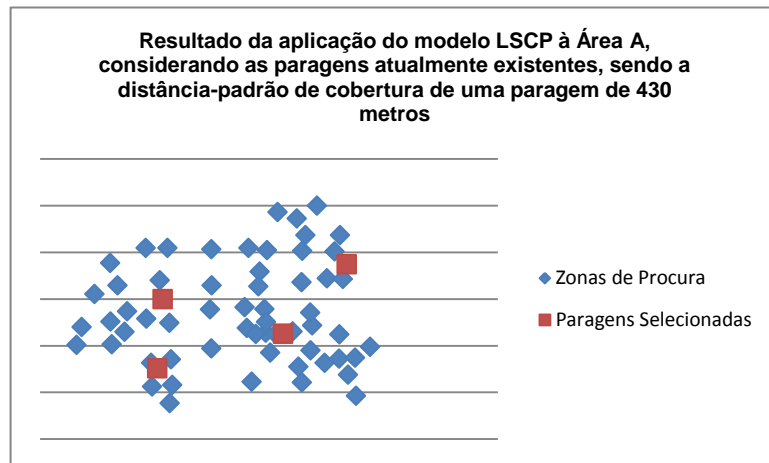
Cenário atual



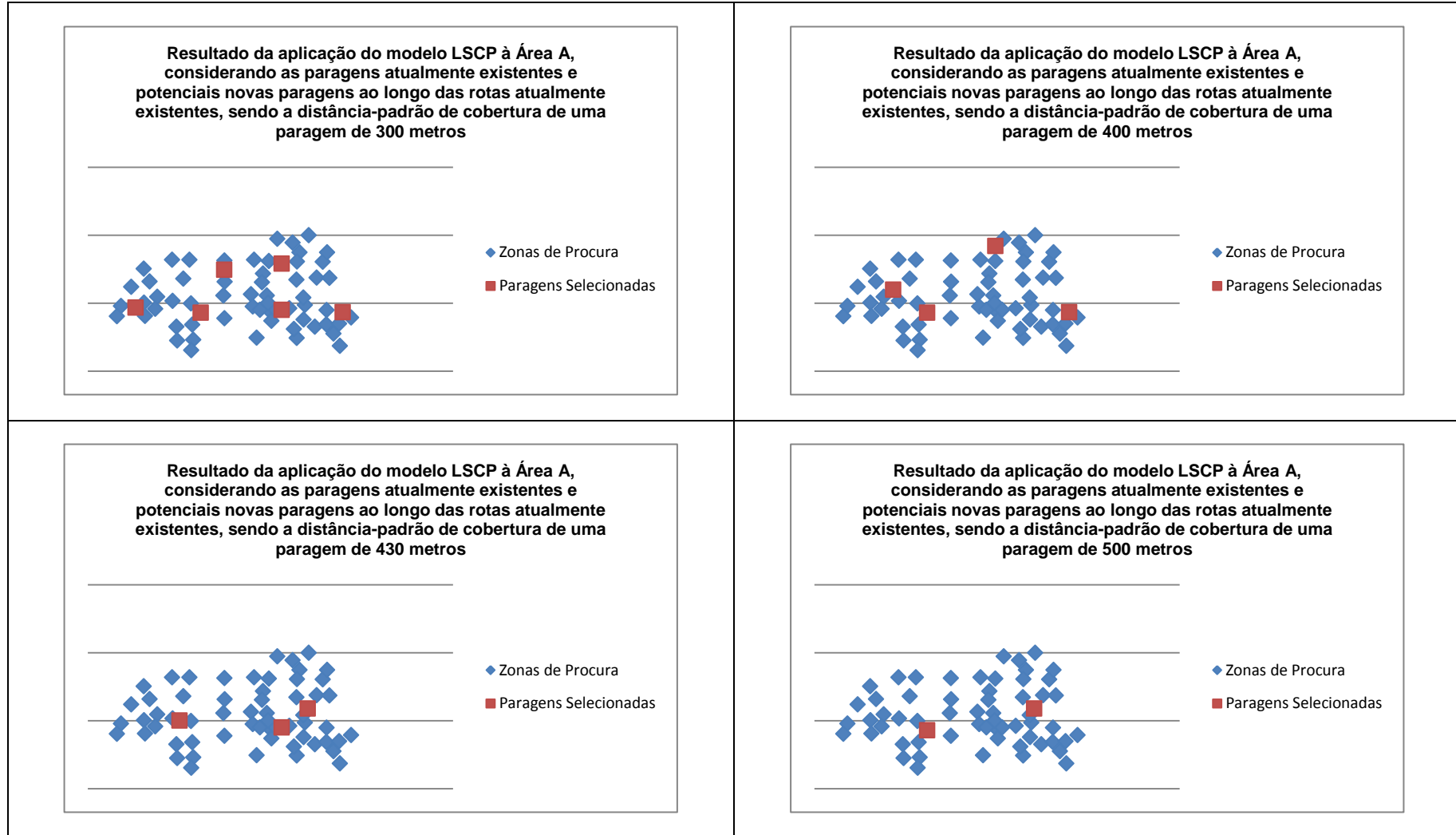
Paragens Atualmente existentes - Matriz-distância 1

Impossível para uma distância-padrão de cobertura de uma paragem de 300 metros

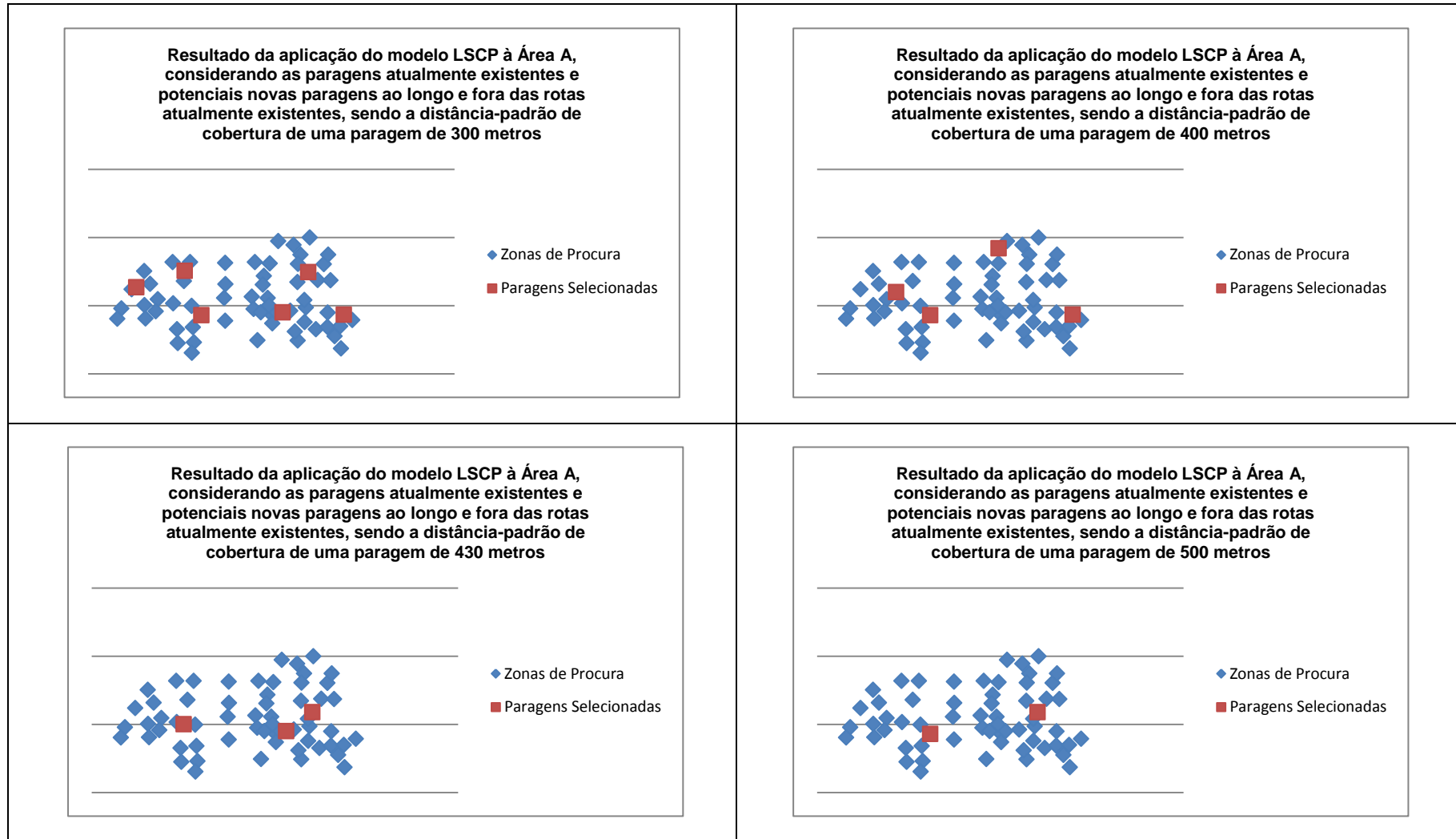
Impossível para uma distância-padrão de cobertura de uma paragem de 400 metros



Paragens Atualmente existentes + Potenciais novas paragens ao longo das rotas existentes - Matriz-distância 2

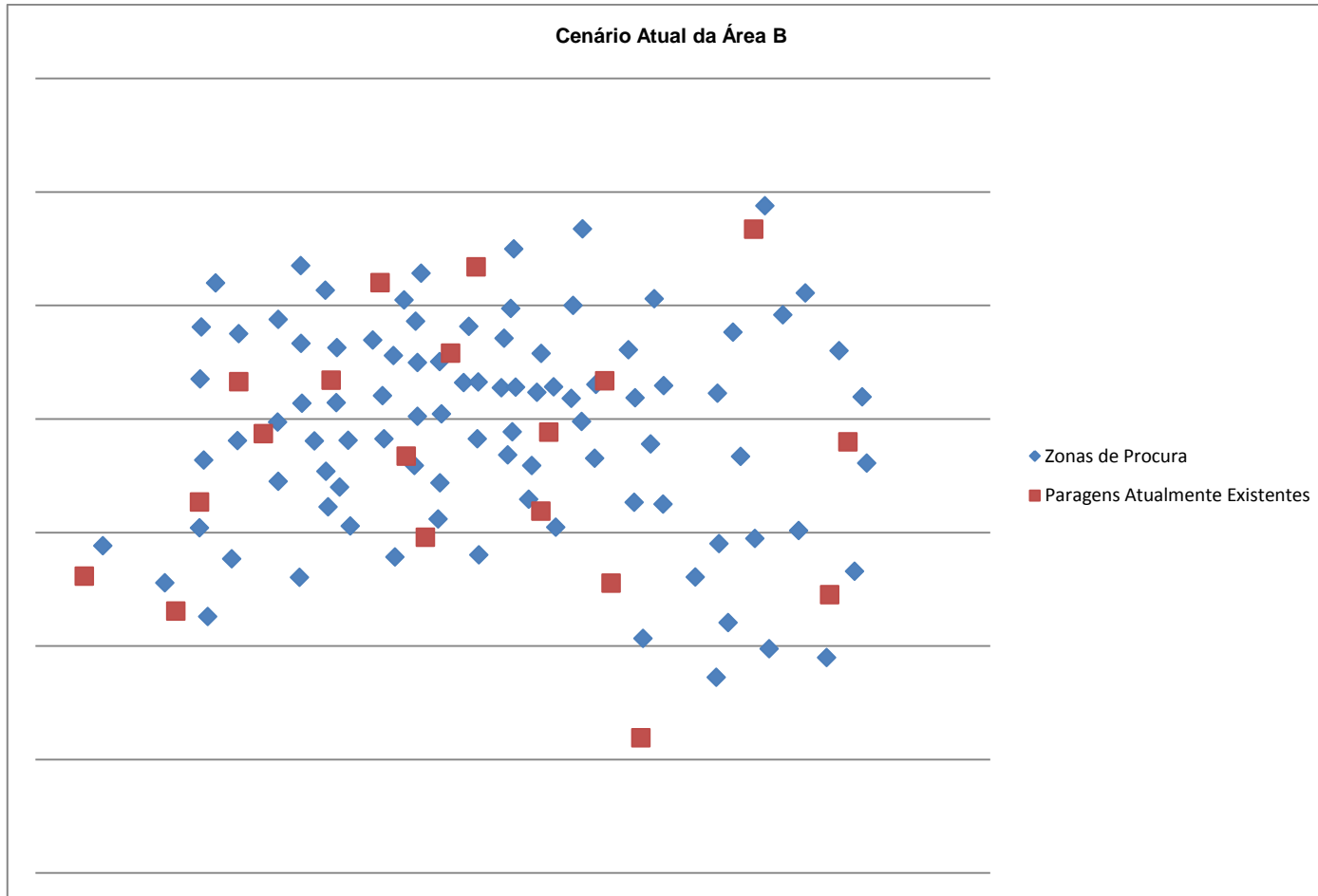


Paragens Atualmente existentes + Potenciais novas paragens ao longo e fora das rotas existentes - Matriz-distância 3

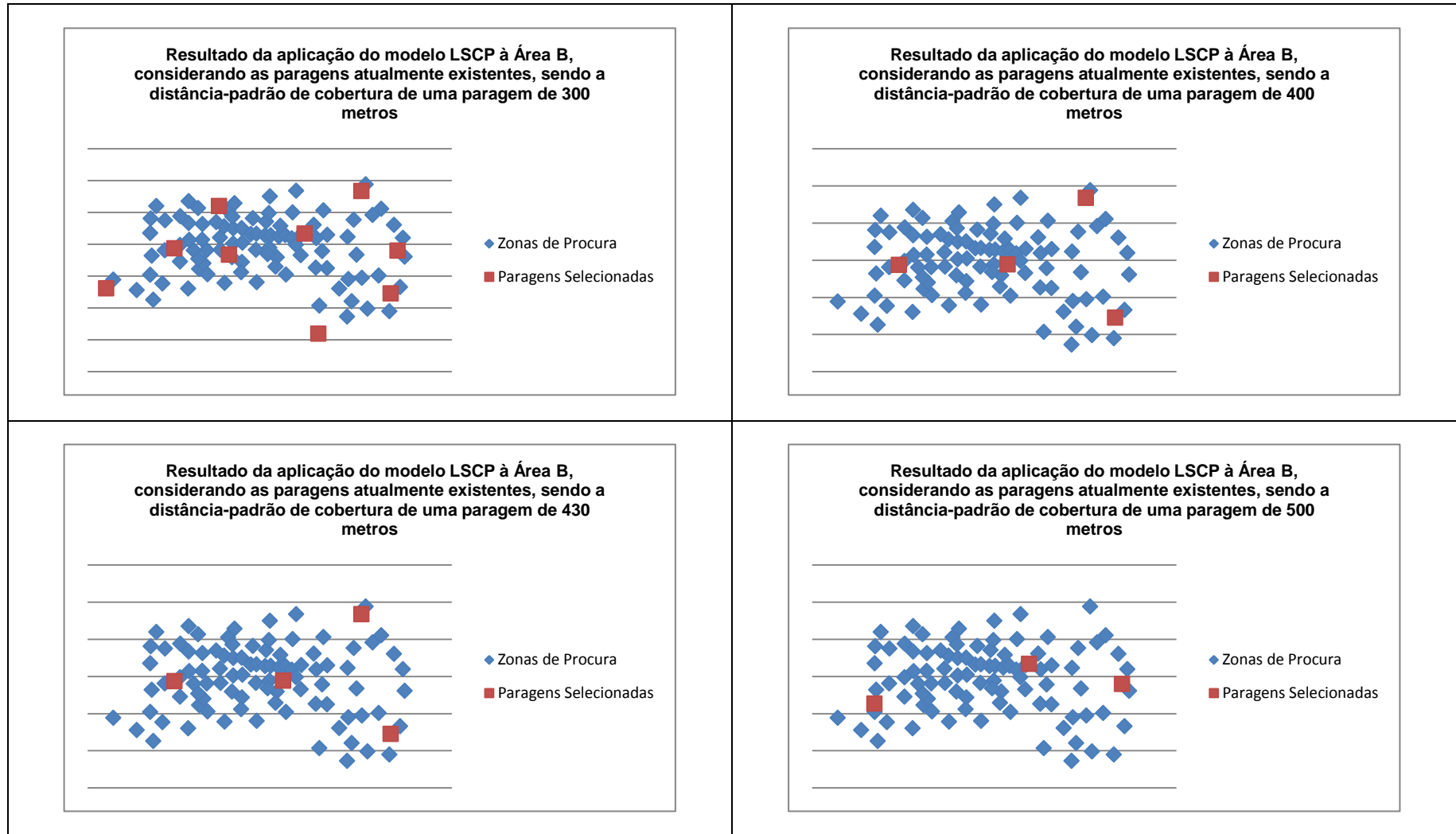


Anexo 3 – Resultados da aplicação do modelo LSCP à Área B

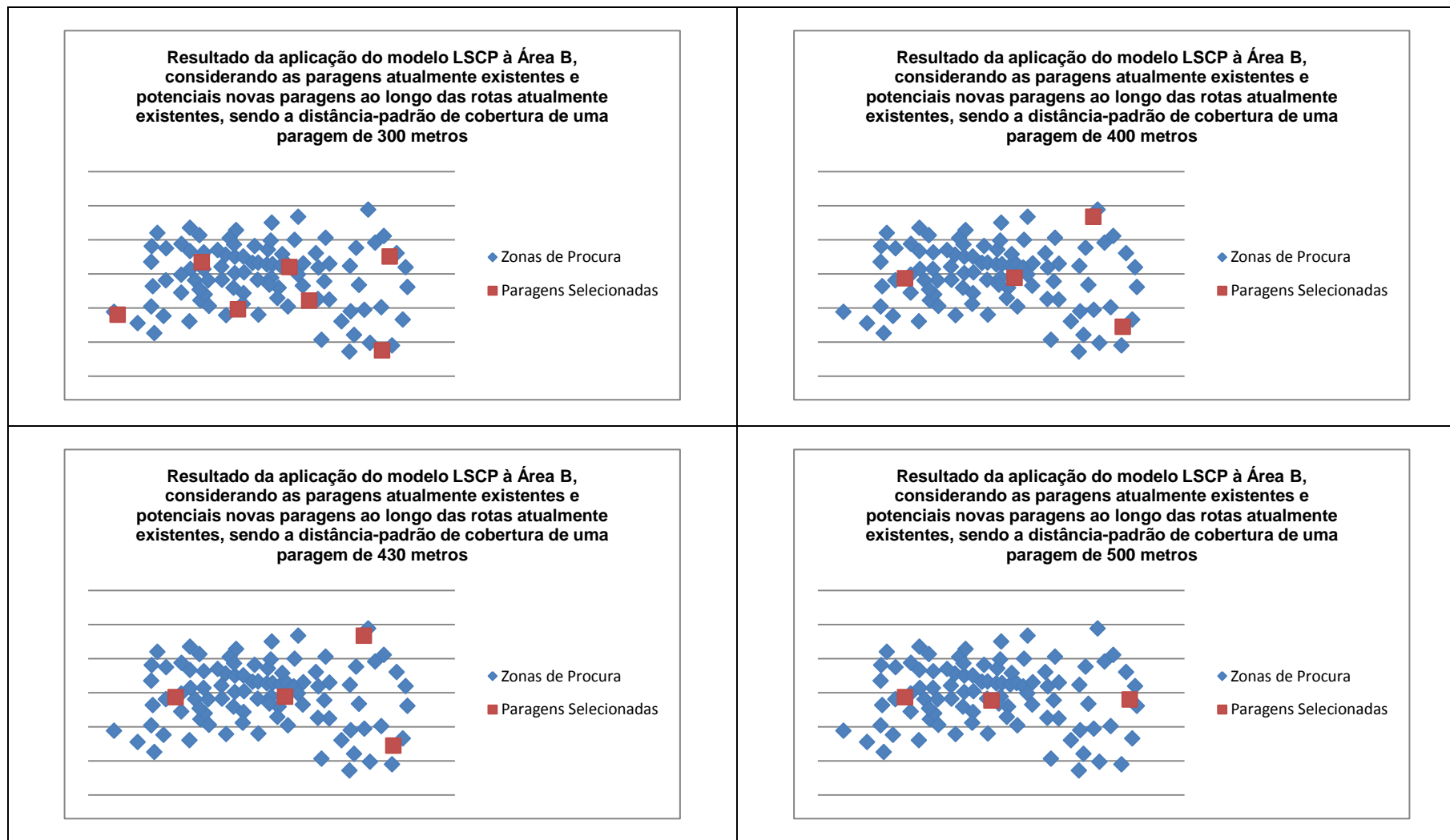
Cenário atual



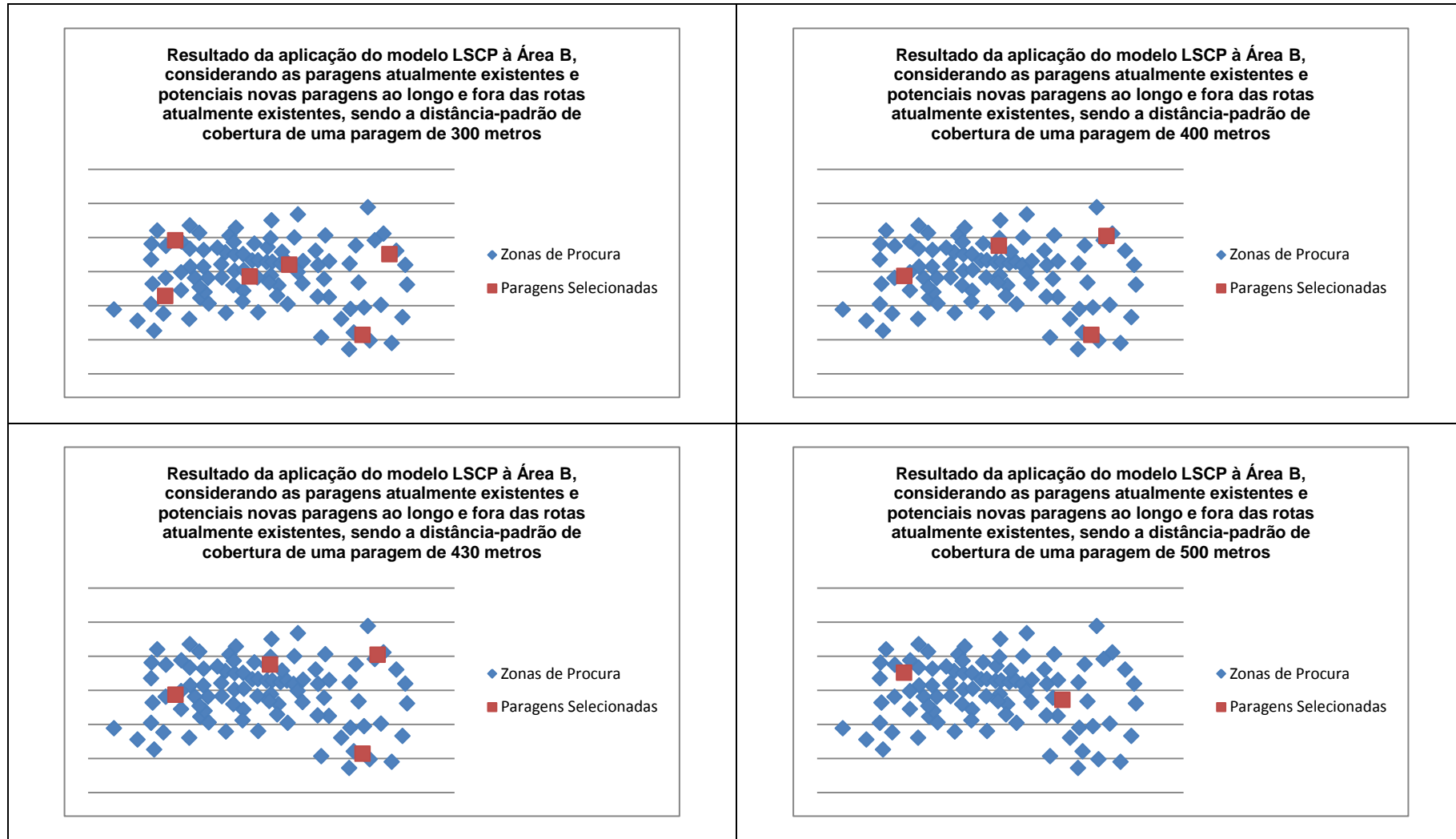
Paragens Atualmente existentes - Matriz-distância 4



Paragens Atualmente existentes + Potenciais novas paragens ao longo das rotas existentes - Matriz-distância 5

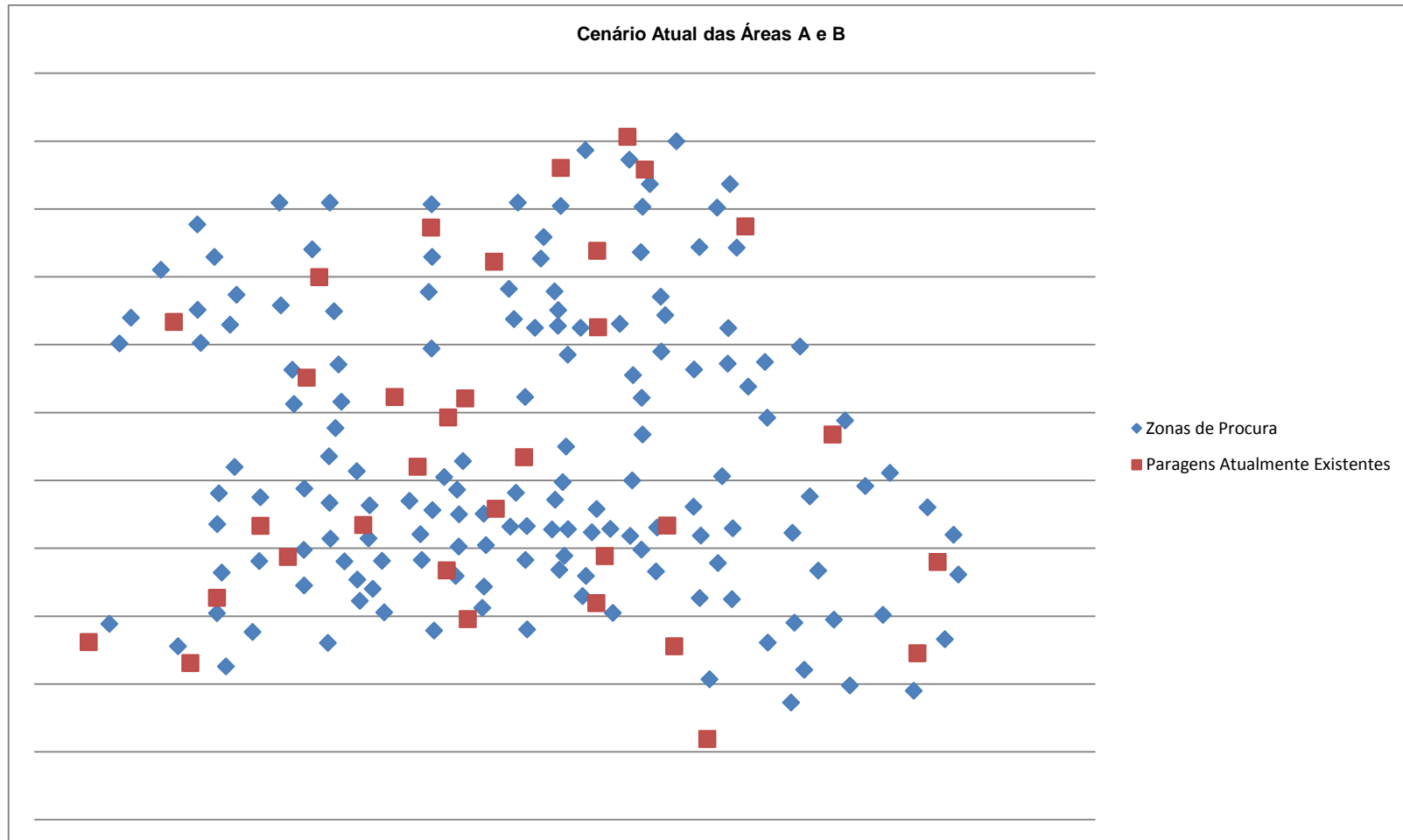


Paragens Atualmente existentes + Potenciais novas paragens ao longo e fora das rotas existentes - Matriz-distância 6

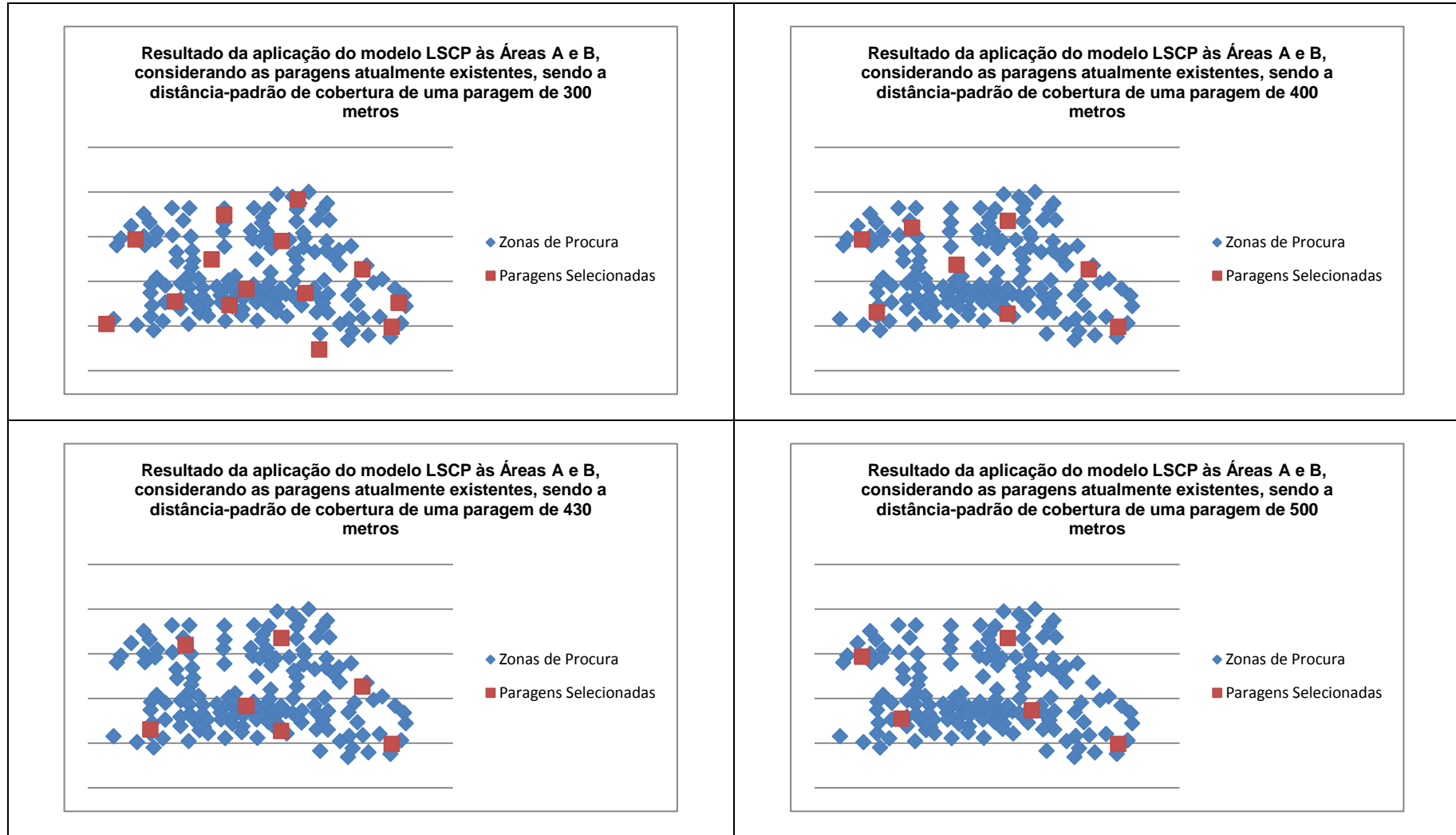


Anexo 4 – Resultados da aplicação do modelo LSCP às Áreas A e B

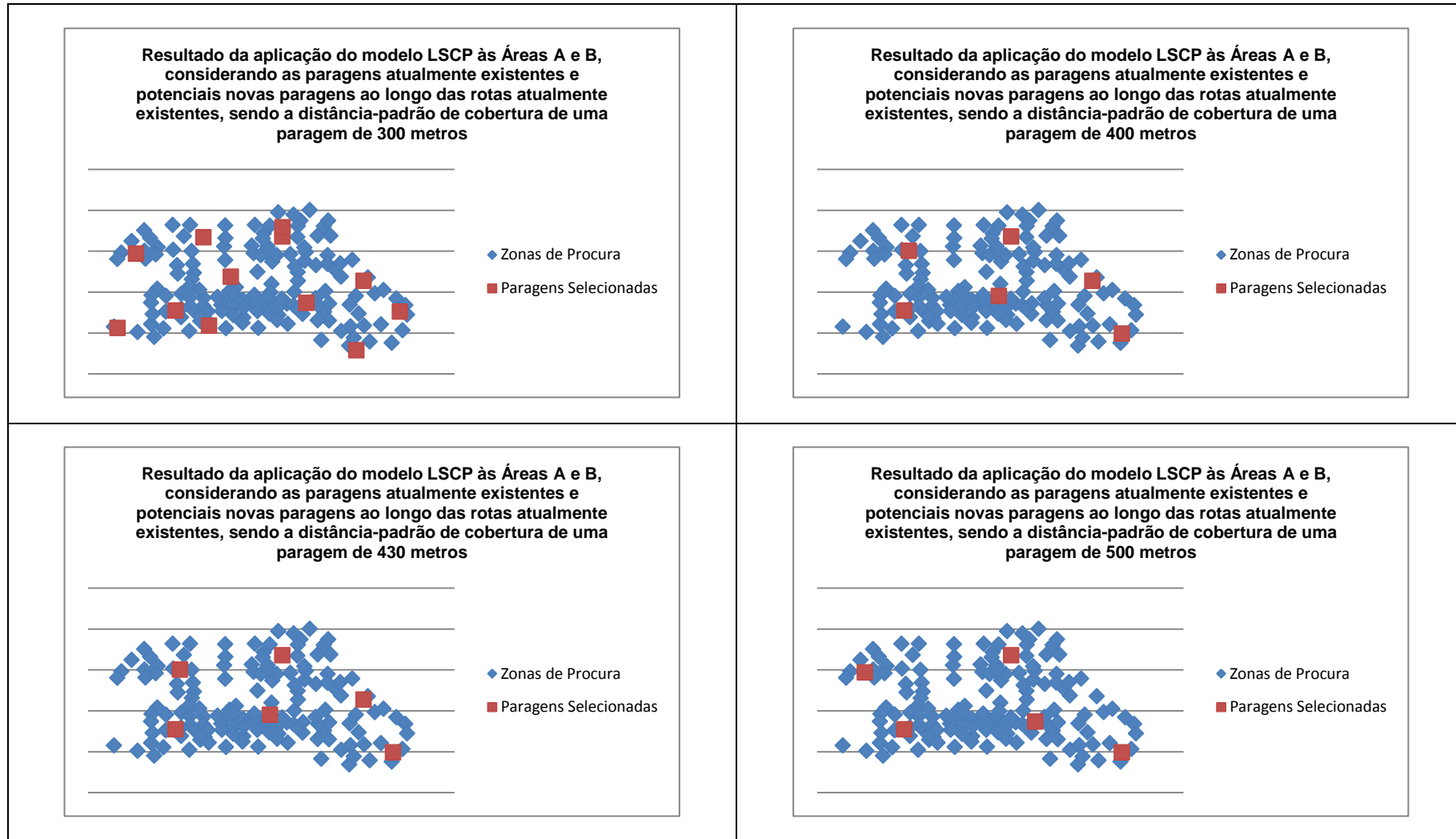
Cenário atual



Paragens Atualmente existentes - Matriz-distância 7



Paragens Atualmente existentes + Potenciais novas paragens ao longo das rotas existentes - Matriz-distância 8



Paragens Atualmente existentes + Potenciais novas paragens ao longo e fora das rotas existentes - Matriz-distância 9

