

Uma estratégia para avaliação da resiliência na mobilidade urbana

Marcel Carlos da Mata Martins¹, Antônio Néelson Rodrigues da Silva²

¹Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, mcm-mata@hotmail.com,

²Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, anelson@sc.usp.br

Recebido:

15 de março de 2018

Aceito para publicação:

26 de agosto de 2018

Publicado:

4 de novembro de 2018

Editor de área:

Helena Beatriz Cybis

Palavras-chaves:

Resiliência;
Mobilidade Urbana;
Veículos Motorizados;
Modos Ativos;
Combustíveis Fósseis.

Keywords:

Resilience;
Urban Mobility;
Motorized Vehicles;
Active Modes;
Fossil Fuels.

DOI:10.14295/transportes.v26i3.1625



RESUMO

O objetivo deste estudo é desenvolver uma estratégia de avaliação da resiliência da mobilidade urbana, baseada na suposição de que modos motorizados não estariam disponíveis. Portanto, apenas os modos a pé e bicicleta foram considerados para este exercício teórico. As viagens foram inicialmente classificadas em dois grupos, de acordo com sua adaptabilidade ou transformabilidade, sendo as do primeiro grupo consideradas resilientes. Uma terceira categoria teve que ser introduzida para representar outro conjunto de viagens resilientes. Estas são as viagens excepcionais, isto é, viagens a pé ou de bicicleta que são mais longas do que as Distâncias Máximas Possíveis (DMP) definidas para avaliação da resiliência. O cenário mais pessimista (0 km) mostrou uma resiliência de 40,4%, e a resiliência máxima (100%) foi atingida com 12,5 km. Foi possível então, ajustar uma curva teórica para representar a variação da resiliência. Os resultados também revelaram um padrão para cada segmento de resiliência devido à forma da cidade.

ABSTRACT

This study aims at the development of a strategy, which is based on the assumption that motorized modes would not be available, for evaluating the resilience of urban mobility. Therefore, only walking and cycling were considered as urban transport modes for the purpose of this theoretical exercise. The trips were initially classified in two groups, according to their adaptability or transformability. Those in the first group are considered resilient trips, but a third category had to be created to represent another set of resilient trips. These are the exceptional trips, i.e. walking or cycling trips that are longer than the Maximum Possible Distances (MPD) defined for the evaluation of resilience. The worst scenario (0 km) presented 40.4% of resilience, while the maximum resilience (100%) was achieved in 12.5 km. It was possible then, to adjust a theoretical function to represent the variation of the resilience. The results also showed a pattern for each segment of resilience due to differences in the urban form.

1. INTRODUÇÃO

O papel dos combustíveis fósseis no setor de transportes é crucial (Fernandes *et al.*, 2015; 2017) e crescente, especialmente em países em desenvolvimento (Schwanen, 2016). Hubbert (1949) levantou a questão para o chamado “pico do petróleo”, no qual a oferta de combustível pode chegar a um ponto máximo e então cair por definitivo, causando preocupação nos setores dependentes do petróleo, entre eles o de transportes.

O espraiamento urbano também é fator agravante na vulnerabilidade dos transportes. Uma expansão de baixa densidade aumenta as distâncias, causando maior dependência de veículos motorizados. Esse fenômeno tem como consequência o aumento no consumo energético (Newman & Kenworthy, 2011; Saunders & Rodrigues da Silva, 2009; Rodrigues da Silva *et al.*, 2007), ou seja, maior demanda por combustíveis fósseis. O efeito disso é a substituição de modos alter-

nativos de viagem, como a pé e bicicleta, por modos motorizados, até mesmo em curtas distâncias. Tudo isso torna as regiões urbanas ainda menos resilientes frente a algum evento que limite a oferta de combustíveis. Dessa forma, este trabalho visa elaborar uma estratégia para avaliação da resiliência na mobilidade urbana. Foca-se na restrição ao transporte motorizado. Assim, assume-se hipoteticamente que as viagens poderiam ser feitas apenas a pé ou de bicicleta.

Este trabalho possui ainda os seguintes objetivos específicos: criar diferentes cenários, tanto otimistas quanto pessimistas, visando verificar a variação da resiliência na mobilidade urbana; examinar o comportamento das viagens resilientes e vulneráveis.

Este trabalho está constituído de 5 itens, com o primeiro sendo esta introdução. O segundo item trata de uma revisão de temas que englobam a resiliência na mobilidade. O terceiro item contém a metodologia utilizada para medir o nível de resiliência. O quarto item apresenta e discute os resultados da pesquisa. Por fim, o quinto item lista as principais conclusões tiradas do trabalho, seguido da lista de referências citadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este item aborda quatro aspectos. O primeiro é a crescente demanda por combustíveis fósseis no setor de transportes. O segundo trata do fenômeno do espraiamento urbano e sua influência na dependência por veículos motorizados. O terceiro aspecto é a substituição, em viagens de curta distância, de caminhadas e das bicicletas pelo transporte motorizado. Por fim, o quarto aspecto enquadra a expressão “Resiliência na Mobilidade” de Fernandes *et al.* (2015; 2017) para definir a análise feita neste trabalho. É feita também uma revisão de trabalhos relacionados ao tema.

Os combustíveis fósseis têm papel primordial no fornecimento de energia no setor de transportes. Cinquenta e sete por cento da energia consumida no setor é advinda do petróleo, enquanto outros 3% vem do gás natural (Fernandes *et al.*, 2015). Embora estudos mostrem a redução do uso do automóvel em países desenvolvidos (Newman & Kenworthy, 2011), o modo motorizado vem em crescente demanda em países em desenvolvimento (Schwanen, 2016). Hubbert (1949) foi o primeiro a apontar a diminuição da oferta de combustíveis fósseis. Dantas *et al.* (2010), seguindo o trabalho de Hubbert, denominaram o “pico do petróleo” como o ano em que a oferta de combustível atinge seu patamar máximo, e então, decai sem possibilidade de recuperação. Fatores como a flexibilidade e liberdade pessoal incorporadas ao automóvel, bem como o fato da indústria do petróleo ainda ser extremamente lucrativa, torna improvável que a demanda por veículo movidos a combustíveis fósseis diminua nos próximos anos.

O espraiamento urbano pode ser considerado outro fator que incentiva o uso de veículos motorizados. Denominado por Brunner (2013) como fenômeno de expansão além dos limites urbanos, o espraiamento pode causar altos níveis de segregação e dependência do automóvel. Essas expansões de baixa densidade provocam aumento nas distâncias de viagens, justificando ainda mais o uso de veículos motorizados. Em seu estudo nas regiões de Yorkshire and the Humber, Lovelace & Philips (2013) apontaram para o fato de que 1/3 das viagens realizadas diariamente ultrapassavam os 10 km, enquanto consumiam 3/4 do total energético da região. Alguns autores (Shim *et al.*, 2006; Dantas *et al.*, 2010; Buehler *et al.*, 2011; Hamidi & Ewing, 2015) oferecem soluções para o fenômeno. O uso misto do solo, assim como políticas de descentralização são apontadas como estratégias de combate ao espraiamento (Buehler *et al.*, 2011 e Zhang & Kockelman, 2014).

Inversamente proporcional ao aumento no transporte motorizado, é a diminuição de modos ativos, especialmente em viagens de curta distância. Como foi mostrado por Hydén *et al.* (1999), a média de viagens realizadas a pé na Europa não ultrapassa 1 viagem/pessoa/dia, com distância máxima de 1 km. As viagens de bicicleta, por sua vez, têm em média 2,5 viagens/pessoa/dia, limitadas a 5 km. Outros autores (Yang & Diez-Roux, 2012; Larsen *et al.*, 2010 e Oliveira *et al.*, 2016) também apontam a limitação das distâncias por modo a pé em 1 km, e por bicicleta, em até 3 km. Todavia, na adoção de valores para simulações, alguns autores expandem essa distância. Dantas *et al.* (2010), por exemplo, no seu trabalho de avaliação de risco ao transporte diante de redução na oferta de combustível, adotam 2 km para o modo a pé e 15 km para bicicleta. Já Philips (2014) assume 8 km, valor recomendado pelo governo britânico, como limite para as viagens diárias de bicicleta.

Além do próprio veículo motorizado, outros fatores também contribuem para a diminuição dos modos ativos em viagens de curta distância. Hydén *et al.* (1999) listaram o valor social (do veículo), a saúde, a estética do ambiente, o conforto do caminho, a mobilidade e a segurança como fatores para a escolha de modos ativos. Relevância, clima, idade e distância entre origem e destino também foram apontados como importantes fatores de influência por outros autores (Bohannon, 1997; Moudon *et al.*, 2006; Horning *et al.*, 2007; McCormack *et al.*, 2008; Philips, 2014 e Fernandes *et al.*, 2015).

Com base nas condições de provável escassez/diminuição de oferta de combustíveis e dependência do transporte motorizado, é inserido o conceito de resiliência. Dentre as definições encontradas (Folke *et al.*, 2010; Walker & Cooper, 2011; Schwanen, 2016), entende-se a resiliência como a capacidade de adaptação diante de uma situação de risco a um sistema. Em relação à resiliência relacionada a combustíveis fósseis, alguns trabalhos merecem menção. Exner *et al.* (2016) avaliam a “resiliência comunitária” pós-pico do petróleo de municípios da Áustria como moderada, onde regiões de maior atividade rural são mais resilientes, pois conseguem manter a distribuição de alimentos para a comunidade.

Dantas *et al.* (2010), mesmo sem utilizar o termo “resiliência”, avaliam o risco ao transporte e no planejamento urbano para o caso de uma diminuição na oferta de combustível. Em seu trabalho, eles dividem as viagens em três níveis, a depender da sua essencialidade:

- *Opcionais*: viagens que podem ser eliminadas sem prejuízo ao bem-estar;
- *Necessárias*: viagens que, se eliminadas, causam prejuízo social e econômico;
- *Essenciais*: viagens que pessoas teriam dificuldade em eliminar, uma vez que isto causaria danos à saúde, à economia, e limitação ao acesso a necessidades básicas.

O mesmo é feito com o nível de impacto:

- *Baixo Impacto*: a disparidade de fornecimento não restringe viagens;
- *Médio Impacto*: viagens *opcionais* são eliminadas;
- *Alto Impacto*: viagens *necessárias* são eliminadas;
- *Impacto Muito Alto*: viagens *essenciais* são eliminadas.

Seus resultados mostraram que a região de Christchurch, no ano de 2041 teria maior possibilidade de mudança do modo motorizado para os modos a pé e bicicleta, caso adotasse uma estrutura mais concentrada. Rendal *et al.* (2011) também usaram essa mesma região para introduzir o conceito de *Active Mode Accessibility* (AMA), ou seja, a proporção de atividades que podem ser feitas através de modos ativos. Os autores mostraram que todas as atividades da região poderiam ser realizadas por modo a pé, bicicleta ou por transporte público.

Philips (2014) utiliza o termo “resiliência evolucionária” ao aplicar micro simulação para avaliar o potencial de caminhada e uso de bicicleta para viagens diárias diante de uma crise de combustíveis na Inglaterra. Ele indica que somente 44% das viagens poderiam ser efetuadas nessa situação.

Durante a pesquisa por trabalhos envolvendo o tema da resiliência no transporte urbano, notou-se que a quantidade de material existente ainda não é expressiva, especialmente ao tratar da escassez de combustível. Os trabalhos encontrados também estão focados em regiões de países desenvolvidos, onde a expansão urbana ocorreu de forma distinta de países em desenvolvimento, como por exemplo, o Brasil.

Dessa forma, a fim de somar ao debate da resiliência relacionada a combustíveis fósseis, este trabalho desenvolve e aplica uma metodologia de avaliação da resiliência em uma cidade brasileira. A expressão “resiliência na mobilidade” (Fernandes *et al.*, 2015, 2017) aqui adotada pode ser entendida como o potencial de persistir e se adaptar diante de um risco à mobilidade urbana. O foco desse trabalho é na restrição aos veículos motorizados, seja por escassez de combustível ou pela diminuição da oferta. A resiliência é segmentada de acordo com Folke *et al.* (2010): *persistência*, *adaptabilidade*, *transformabilidade*. A *persistência* define o uso do mesmo modo antes e depois da restrição, sem prejuízo ao bem-estar do indivíduo. A *adaptabilidade* indica a mudança de modo de transporte para que a viagem permaneça acontecendo. Por fim, a *transformabilidade* se insere onde nenhum dos outros segmentos são possíveis, ou seja, existe considerável impacto social e econômico nesse segmento.

3. METODOLOGIA

Este item apresenta uma proposta para avaliação da resiliência na mobilidade urbana. O primeiro tópico aborda as Distâncias Máximas Possíveis e a forma de medição de distâncias entre zonas de tráfego. O segundo tópico explica a segmentação que será usada para as viagens, baseada em Folke *et al.* (2010). Quanto aos tipos de viagens analisados, essa definição foi feita a partir do trabalho de Dantas *et al.* (2010), discutido no item 2. As viagens escolhidas foram as consideradas *necessárias* e *essenciais*, com nível de impacto *alto* e *muito alto*, respectivamente.

3.1. Distâncias Máximas Possíveis

A metodologia parte da suposição de que é possível o indivíduo percorrer certas distâncias apenas caminhando ou de bicicleta. As chamadas Distâncias Máximas Possíveis (DMP) são valores que têm como objetivo limitar - teoricamente - o uso do transporte ativo na cidade. Assim, ao estabelecer uma DMP para o modo a pé e outra para o modo bicicleta, supõe-se que não é possível percorrer distâncias maiores por estes modos. A única condição ao estipular as DMP, é que o modo a pé deverá ter uma distância menor ou igual ao modo bicicleta, nunca maior. Após estabelecer os valores das DMP a pé e de bicicleta para cada cenário, são delimitados os tipos de viagens a serem usados na pesquisa. Em seguida, são medidas as distâncias entre os centroides de todas as zonas de tráfego entre si, através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) (Figura 1).

Com as distâncias entre as zonas de tráfego em mãos, estas são comparadas com os valores das DMP. Supondo X e Y para as DMP a pé e de bicicleta, respectivamente, seguem as seguintes condições:

- Se $d \leq X$, o trajeto entre as zonas pode ser feito a pé ou de bicicleta;
- Se $X < d \leq Y$, a distância é muito longa para ser feita a pé, mas pode ser feita de bicicleta;

- Se $d > Y$, a distância entre as zonas é demasiadamente extensa para ser percorrida diariamente sem o uso de veículo motorizado. Caso haja restrição, a viagem é afetada.

As DMP adotadas irão variar de acordo com os cenários que serão apresentados. Cenários mais pessimistas terão DMP de menor valor, enquanto cenários mais otimistas terão DMP com valores maiores.

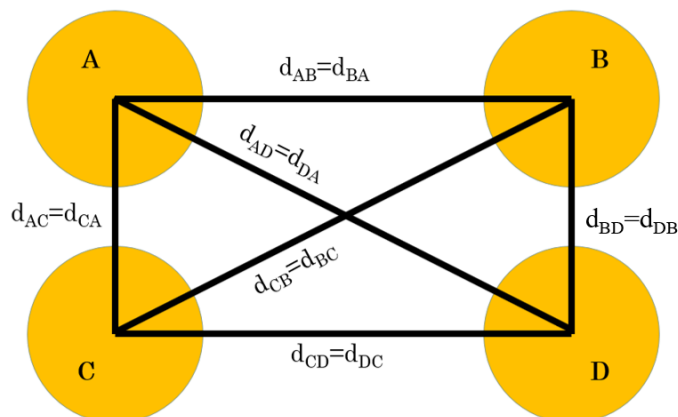


Figura 1. Distância entre centroides de zonas hipotéticas.

As viagens intrazonais, devido a sua curta distância, serão representadas de forma pontual, pelo centroide da zona. Assim, terão suas distâncias consideradas iguais a zero ($d_{AA} = d_{BB} = d_{CC} = d_{DD} = 0$), podendo ser feitas a pé ou de bicicleta. Viagens entre diferentes zonas terão a mesma distância, independente do sentido. Por exemplo, uma viagem da zona A à B terá a mesma extensão da viagem de B à A ($d_{AB} = d_{BA}$).

3.2. Segmentação da resiliência

Estabelecidas as distâncias que podem ser feitas a pé e de bicicleta, somente de bicicleta e somente por veículo motorizado, torna-se necessário caracterizar as viagens da Pesquisa de Origem e Destino de acordo com os segmentos da resiliência de Folke *et al.* (2010): *persistência*, *adaptabilidade* ou *transformabilidade*.

É importante lembrar que as DMP são adotadas sem levar em consideração idade dos indivíduos ou relevo do terreno, por exemplo. São, porém, valores que procuram englobar o maior número de pessoas dentro de seus limites. Logo, é possível que pessoas percorram, por modos ativos, distâncias acima das estabelecidas como DMP para modo a pé e bicicleta. Para esse tipo de viagem, foi criada uma nova segmentação: a *excepcionalidade*. As viagens *excepcionais*, juntamente com as *persistentes* e as *adaptáveis*, serão consideradas resilientes. O nível de resiliência será dado pelo número de viagens desses três segmentos, e de acordo com a Tabela 1, cuja escala foi definida pelos autores com 5 intervalos iguais, mas que pode ser redefinida a partir de consultas a especialistas, por exemplo. As viagens *transformáveis* representarão o nível de vulnerabilidade do sistema, o qual terá uma escala inversamente proporcional à da resiliência.

Tabela 1: Nível de resiliência na mobilidade.

Nível de Resiliência	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Viagens resilientes (%)	0 - 20,0	20,1- 40,0	40,1- 60,0	60,1- 80,0	80,1 - 100

O nível de resiliência na mobilidade irá variar de acordo com o cenário trabalhado. Com isso, será possível analisar a variação da resiliência de acordo com a variação das DMP. Essa análise também será realizada para cada segmento desta resiliência, observando-se as viagens que as representam. Espera-se também, com os diversos níveis de resiliência, elaborar uma representação confiável desta variação. Este mesmo tipo de averiguação será feita em cada zona de tráfego da cidade, individualmente.

4. RESULTADOS

O estudo de caso deste trabalho foi na cidade de São Carlos-SP. Os dados utilizados foram da pesquisa de Origem e Destino e dos diários de viagens dos anos de 2007/08. O levantamento usou viagens em todos os horários do dia, excluindo viagens com motivo de lazer, pois este não foi considerado um tipo de viagem *necessária* ou *essencial*. No total, 6821 viagens foram consideradas. Viagens por veículos motorizados foram divididas em duas subcategorias: ônibus e automóvel, com 1445 e 2871, respectivamente. O modo a pé teve 2883 viagens, e o modo bicicleta, 222.

Uma vez considerados os centroides das 41 zonas de tráfego da cidade, foi obtida a matriz de distância entre estes através da malha viária da cidade, utilizando-se do menor caminho entre os centroides. As viagens intrazonais foram consideradas de distância zero mesmo em zonas de grandes proporções, como as zonas 10 e 31, pois sua população encontra-se em áreas menores e mais concentradas das zonas. A produção de viagens por zona pode ser vista na Figura 2. As maiores distâncias estão listadas na Tabela 2.

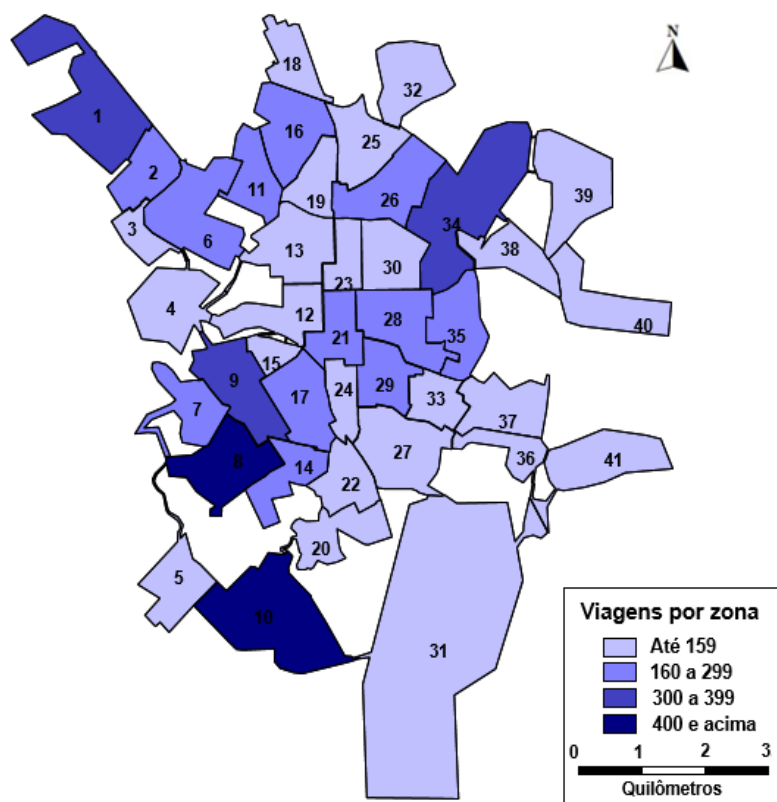


Figura 2. Viagens produzidas por zonas de tráfego, São Carlos-SP, considerando uma amostra de 6821 viagens.

Tabela 2. Maiores distâncias entre centroides das zonas.

Distâncias entre centroides das zonas (km)	Zonas de O\D	
12,97	5	40
12,27	10	40
11,73	1	41
11,66	1	31
11,66	1	40
11,60	1	10
11,24	5	39
10,75	5	32
10,55	10	39
10,34	5	18

4.1. Adoção das Distâncias Máximas Possíveis

Ao adotar os valores para as DMP, é preciso levar em conta que pessoas podem percorrer distâncias bem maiores ou bem menores por modos ativos, seja por questão de idade, condição física, problemas de saúde, relevo da cidade, entre outros fatores. Assim, para observar melhor a variação da resiliência na cidade, as DMP variaram da distância mínima (0 km), até onde o valor da resiliência era 100% (DMP de bicicleta = 12,5 km), a cada 500 m. À exceção dos 14 primeiros cenários, para cada DMP de bicicleta foram usados 5 DMP a pé, que variaram de 2 a 4 km, a cada 500 metros. Isso quer dizer que, para cada DMP de bicicleta, existem 5 cenários, com 5 DMP a pé diferentes. As DMP de bicicleta também variavam a cada 500 metros. A distribuição dos cenários de acordo com as DMP pode ser vista na Tabela 3. No total, 104 cenários foram criados e avaliados. A Tabela 4 mostra o valor da resiliência para os primeiros e últimos cenários.

Tabela 3. Matriz de cenários de acordo com as Distâncias Máximas Possíveis (DMP) a pé e bicicleta da cidade de São Carlos

		Matriz de cenários pelas DMP a pé e bicicleta								
		DMP a pé								
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
DMP de bicicleta	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,5	-	2	-	-	-	-	-	-	-
	1,0	-	-	3	-	-	-	-	-	-
	1,5	-	-	-	4	-	-	-	-	-
	2,0	-	-	-	-	5	-	-	-	-
	2,5	-	-	-	-	-	6	7	-	-
	3,0	-	-	-	-	-	-	8	9	10
	3,5	-	-	-	-	-	11	12	13	14
	4,0	-	-	-	-	-	-	15	16	17
	4,5	-	-	-	-	-	20	21	22	23
	5,0	-	-	-	-	-	-	25	26	27
	5,5	-	-	-	-	-	30	31	32	33
	6,0	-	-	-	-	-	-	35	36	37
	6,5	-	-	-	-	-	40	41	42	43
7,0	-	-	-	-	-	-	45	46	47	
7,5	-	-	-	-	-	50	51	52	53	
8,0	-	-	-	-	-	-	55	56	57	
8,5	-	-	-	-	-	60	61	62	63	
9,0	-	-	-	-	-	-	65	66	67	
9,5	-	-	-	-	-	70	71	72	73	
10,0	-	-	-	-	-	-	75	76	77	
10,5	-	-	-	-	-	80	81	82	83	
11,0	-	-	-	-	-	-	85	86	87	
11,5	-	-	-	-	-	90	91	92	93	
12,0	-	-	-	-	-	-	95	96	97	
12,5	-	-	-	-	-	100	101	102	103	

Tabela 4. Valor da resiliência por cenário.

Cenário	DMP (km)		Resiliência (%)	Cenários	DMP (km)		Resiliência (%)
	A pé	Bicicleta			A pé	Bicicleta	
1	0	0	40,4	100	2,0	12,5	100
2	0,5	0,5	40,4	101	2,5	12,5	100
3	1,0	1,0	40,8	102	3,0	12,5	100
4	1,5	1,5	45,2	103	3,5	12,5	100
...	104	4,0	12,5	100

4.2. Segmentação das viagens por nível de resiliência

As viagens consideradas *persistentes* foram aquelas realizadas por modo a pé e bicicleta dentro dos limites das DMP. Uma vez ocorrendo a restrição aos veículos motorizados, essas viagens continuariam sendo feitas sem problemas. As viagens *adaptáveis* são as feitas por modo motorizado dentro dos limites das DMP, podendo migrar para um modo ativo após a restrição. As viagens *transformáveis* também são realizadas por modo motorizado, porém além das DMP. Assim, quando ocorre a restrição, essas viagens são afetadas. Por fim, as viagens *excepcionais* englobam aquelas feitas por modo ativo acima dos limites das DMP, e não são afetadas após a restrição. O cenário mais pessimista (0 km) mostrou uma resiliência de 40,4%, considerado um nível de resiliência médio, conforme a Tabela 1. Esse valor representa todas as viagens intrazonais (18,2%) e excepcionais (22,2%). O cenário onde a resiliência foi máxima (100%), apresentou uma DMP para o modo bicicleta de 12,5 km.

O que se notou com a variação dos cenários foi que o valor da resiliência é somente modificado quando a DMP para o modo bicicleta muda. A DMP para o modo a pé varia apenas os valores *excepcionais* e *persistentes* entre si. Como ambos os segmentos estão contidos no total da resiliência, a migração das viagens de um segmento ao outro não altera o valor final desta. Quanto à DMP para o modo bicicleta, esta modifica todos os segmentos, e com isso, altera o valor da resiliência. Com essas informações, foi possível plotar um gráfico de variação da resiliência em função da DMP de bicicleta, que pode ser vista na Figura 3.

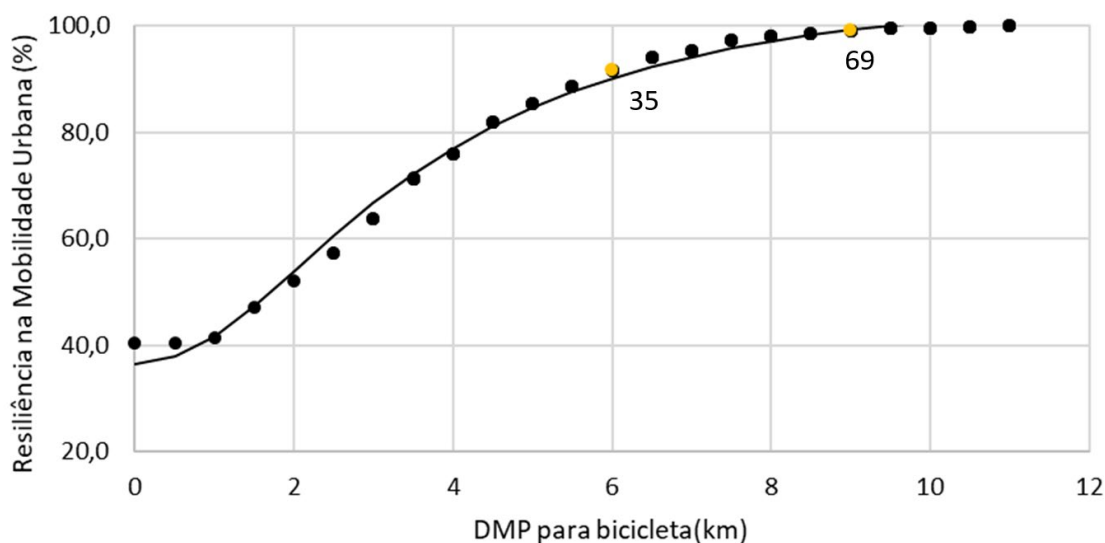


Figura 3. Variação da resiliência na mobilidade em São Carlos para diferentes valores de Distância Máxima Possível de bicicleta. Os pontos marcados representam a posição no gráfico dos cenários utilizados para representar as viagens excepcionais, persistentes, adaptáveis e transformáveis do estudo de caso. Ao lado do ponto marcado está o número do cenário representado

Com os pontos calculados, foi possível inclusive ajustar os dados a uma curva teórica (obviamente de difícil interpretação como um fenômeno físico) para representar a variação da resiliência na mobilidade urbana na cidade de São Carlos. Esta curva é apresentada na Figura 3 e representada pela Equação 1:

$$\text{Res} = \frac{(-17360 + DMPbic)}{(242,50 + 22,26 * DMPbic^2)} + 107 \quad (1)$$

Onde:

- Res = Valor da resiliência (%)
- $DMPbic$ = Valor da DMP para o modo bicicleta (km)

A *adaptabilidade* e a *transformabilidade* também se modificam apenas com a variação da DMP de bicicleta, todavia, a *excepcionalidade* e a *persistência* têm ambas as DMP como variáveis independentes, necessitando de um gráfico tridimensional para serem plotadas.

Analisando cada condição de viagem individualmente, notou-se que estas seguiram certo padrão. Os 104 cenários foram divididos em 3 blocos e a Tabela 5 e as Figuras 4 e 5 apresentam os dois cenários intermediários. As viagens *persistentes* variaram de 14,5%, no pior caso, a 35,1% no melhor caso. Como era esperado, essas viagens foram, em sua maioria, intrazonais com poucas delas sendo feitas entre zonas diferentes e vizinhas, ou seja, em curtas distâncias. As viagens *adaptáveis*, mostradas na Figura 4, variaram de 3,7% no pior caso a 63,3% no caso mais otimista. Seu padrão de viagem foi radial, ou seja, as viagens partiam de zonas afastadas em direção ao centro da cidade, em especial a zona central 21. Quanto às viagens *transformáveis*, estas variaram de 59,6% no cenário mais pessimista ao esperado 0% no melhor cenário, como pode ser visto na Figura 5. Conforme os cenários avançam e as DMP aumentam, essas viagens começam a assumir um padrão diametral. As viagens *excepcionais* não apresentaram nenhum padrão visível.

Tabela 5. Principais viagens persistentes: (a) cenário 35 (DMP a pé = 2,5 km e DMP de bicicleta = 6 km) e (b) cenário 69 (DMP a pé = 2 km e DMP de bicicleta = 9,5 km)

Cenário 35			Cenário 69		
Número de viagens	Zona de Origem	Zona de Destino	Número de viagens	Zona de Origem	Zona de Destino
314	10	10	314	10	10
114	8	8	114	8	8
60	9	9	60	9	9
52	1	1	52	1	1
45	18	18	45	18	18
43	34	26	43	34	26
40	26	26	40	26	26
35	20	22	35	20	22
29	2	2	29	2	2
28	29	29	28	29	29

Analisando a resiliência por zona, notou-se que no cenário 1, 21 das 41 zonas de tráfego tinham níveis de resiliência baixo ou muito baixo, 17 zonas obtiveram resiliência média, e apenas 3 tiveram nível alto ou muito alto (entre elas, a zona 41, com apenas 1 viagem). No cenário mais otimista, o 104, todas as zonas tiveram níveis de resiliência alto ou muito alto. Essa mudança pode ser vista na Figura 6, onde viagens consideradas *transformáveis* e *excepcionais* no cenário 35 migram para segmentos de *persistência* e *adaptabilidade* no cenário 69. Além disso, percebe-se que as zonas com maior quantidade de viagens transformáveis encontram-se mais afastadas do centro da cidade.

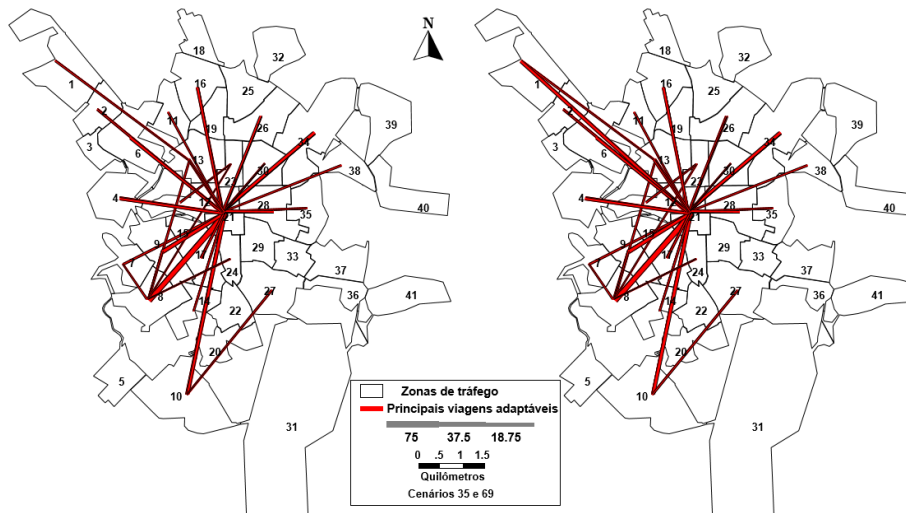


Figura 4. Principais viagens adaptáveis: à esquerda, o cenário 35 (DMP a pé = 2,5 km e DMP de bicicleta = 6 km) e à direita, o cenário 69 (DMP a pé = 2 km e DMP de bicicleta = 9,5 km)

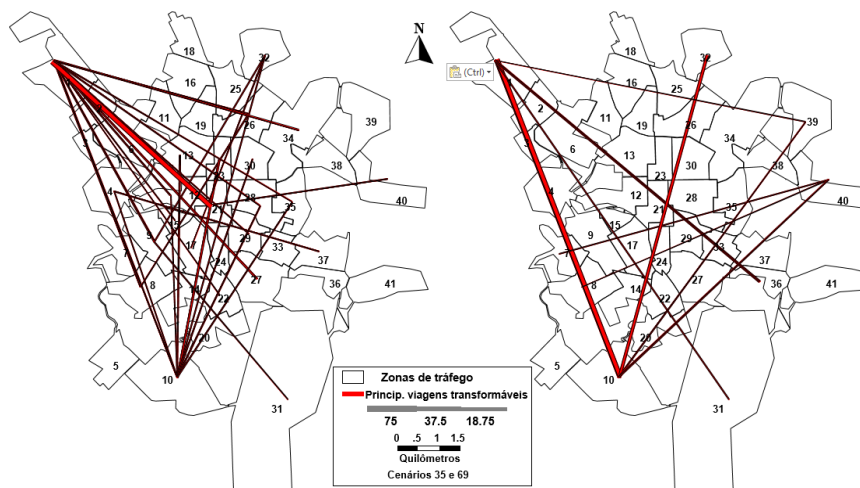


Figura 5. Principais viagens transformáveis: à esquerda, o cenário 35 (DMP a pé = 2,5 km e DMP de bicicleta = 6 km) e à direita, o cenário 69 (DMP a pé = 2 km e DMP de bicicleta = 9,5 km)

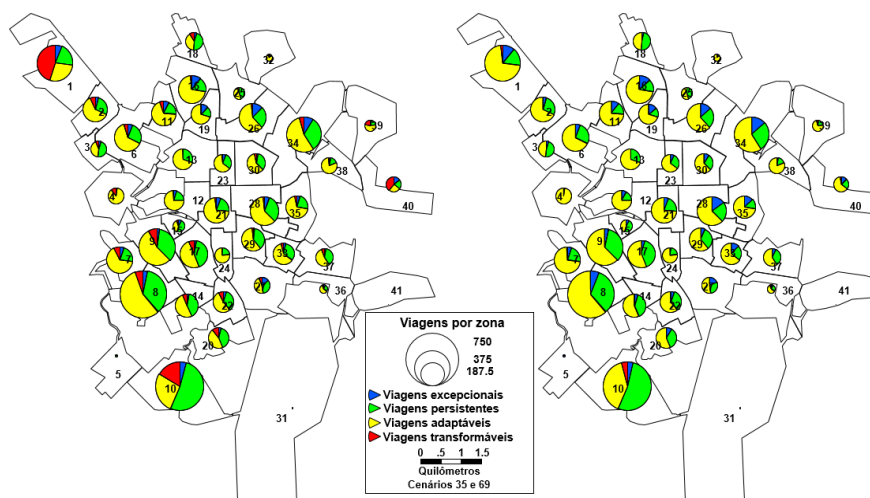


Figura 6. Distribuição da resiliência por zona: à esquerda, o cenário 35 (DMP a pé = 2,5 km e DMP de bicicleta = 6 km) e à direita, o cenário 69 (DMP a pé = 2 km e DMP de bicicleta = 9,5 km)

5. CONCLUSÃO

O trabalho apresentado teve como objetivo a elaboração de uma estratégia para avaliar a resiliência na mobilidade urbana, com estudo de caso na cidade de São Carlos - SP. O estudo foi focado nas restrições de veículos motorizados, assim, apenas os modos a pé e bicicleta estariam disponíveis. As viagens trabalhadas na pesquisa foram as consideradas *necessárias* e *essenciais*, com níveis de impacto *alto* e *muito alto*, respectivamente, com base em Dantas *et al.* (2010). A metodologia baseou-se na medição da distância entre centroides das zonas de tráfego e na Pesquisa de Origem e Destino para a quantificação das viagens de acordo com as Distâncias Máximas Possíveis (DMP) para os modos a pé e bicicleta.

A divisão das viagens foi baseada em Folke *et al.* (2010): *persistentes* e *adaptáveis* (resilientes) e *transformáveis* (vulneráveis). Uma nova segmentação precisou ser criada para este trabalho: a *excepcionalidade*, que engloba viagens por modo a pé ou bicicleta além dos limites das DMP. As viagens *excepcionais* foram somadas às viagens resilientes.

O valor da resiliência varia conforme as DMP adotadas. Estas distâncias têm como propósito limitar a uso dos modos a pé e bicicleta, viagens acima das DMP poderiam ser realizadas apenas por modos motorizados. Este trabalho apresentou 104 cenários com DMP variando a cada 500 metros. Para o cenário mais pessimista teve 0 km para as DMP, ou seja, apenas viagens intrazonais e *excepcionais* poderiam ser realizadas por modos ativos. O cenário mais otimista foi onde a resiliência atingiu o seu máximo (100%), 12,5 km para o modo bicicleta e 4 km para o modo a pé. O cenário mais pessimista apresentou uma resiliência de 40,4%, com 18,2% de viagens intrazonais e 22,2% de viagens *excepcionais*. Descobriu-se que a variação da resiliência depende apenas da mudança da DMP para o modo bicicleta. Assim, foi possível plotar os pontos em um gráfico e até mesmo ajustar os dados a um modelo teórico.

Os resultados também revelaram um padrão de resiliência devido à forma da cidade. Viagens persistentes apresentaram um padrão pontual (intrazonal) e viagens adaptáveis um padrão radial. As viagens transformáveis mostraram um padrão mais diametral conforme o aumento das DMP. A análise por zona mostrou que, conforme os cenários tornam-se mais otimistas, viagens excepcionais migram para persistentes, e as transformáveis, para adaptáveis. O cenário mais pessimista teve um total de 21 zonas de resiliência baixa ou muito baixa, e apenas 3 com nível alto ou muito alto.

A grande quantidade de viagens *adaptáveis* em todos os cenários do trabalho (63,3% no caso mais otimista) levanta a questão da razão pela qual tais viagens não são realizadas por modos ativos. Assim, é recomendado para estudos futuros, a análise dos fatores que influenciam na escolha do modo de transporte, sobretudo em cidades brasileiras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e à Universidade de São Paulo, pelo apoio para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Bohannon, R.W. (1997) Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20-79 years: reference values and determinants. *Age and Ageing*, v. 26, p. 15-19. DOI: 10.1093/ageing/26.1.15.
- Brunner, A. (2013) The effects of urban sprawl on daily life: Smart growth implementation of Atlantic Stations. *Transportation Research Board 92nd Annual Meeting*. Washington, DC. Disponível em: <<https://trid.trb.org/view.aspx?id=1241313>>. (Acesso em: 22/01/2017)
- Buehler, R.; J. Pucher; D. Merom e A. Bauman (2011) Active travel in Germany and the U.S. contributions of daily walking and cycling to physical activity. *American Journal of Preventive Medicine*, v. 41, n. 3, p. 241-250. DOI: 10.1016/j.amepre.2011.04.012

- Dantas, A.; S. Page e S. Krumdieck (2010) Urban form and long-term fuel supply decline: A method to investigate the peak oil risks to essential activities. *Transportation Research, Part A*, n. 44, p. 306-322. DOI: 10.1016/j.tra.2010.02.002
- Exner, A.; E. Politti; E. Schriebl; S. Erker; R. Stangl; S. Baud; H. Warmuth; J. Matzenberger; L. Kranzl; R. Paulesich; M. Windhaber; S. Supper e G. Stöglehner (2016) Measuring regional resilience towards fossil fuel supply constraints. Adaptability and vulnerability in socio-ecological transformations: The case of Austria. *Energy Policy*, v. 91, p. 128-137. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.12.031
- Fernandes, V. A.; R. Rothfuss; V. Hochschild; W. R da Silva e M. P. S. Santos (2015) Resiliência da mobilidade urbana: Uma proposta conceitual. *Anais do XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET*. Ouro Preto, MG, Brasil, p. 2759-2770. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/307456170_Resiliencia_da_Mobilidade_Urbana_Uma_Proposta_Conceitual>. (Acesso em 01/10/2016)
- Fernandes, V. A.; R. Rothfuss; V. Hochschild; W. R. Silva e M. P. S. Santos (2017) Resiliência da mobilidade urbana: Uma proposta conceitual e de sistematização. *Revista Transportes*, v. 25, n. 4, p. 147-160. DOI: 10.14295/transportes.v25i4.1079
- Folke, C.; S. R. Carpenter; B. Walker; M. Scheffer; T. Chapin e J. Rochström (2010) Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology & Society*, v. 15, n. 4. Disponível em: <<https://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art20/>>. (Acesso em 12/02/2017)
- Hamidi, S. e R. Ewing (2015) Is sprawl affordable for Americans? Exploring the association between sprawl and housing + transportation affordability. *Transportation Research Board 94th Annual Meeting*, Washington, DC. DOI: 10.3141/2500-09
- Horning, J.; A. El-Geneidy e K. J. Krizek (2007) Perceptions of walking distance to neighbourhood retail and other public services. *Transportation Research at McGill*. Disponível em: <http://tram.mcgill.ca/Research/Publications/distance_perception.pdf>. (Acesso em 10/03/2017)
- Hubbert, M. K. (1949) Energy from Fossil Fuels. *Science, New Series*, v. 109, n. 2823, p. 103-109. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1676618>>. (Acesso 22/01/2017)
- Hydén, C.; A. Nilsson e R. Risser (1999) How to enhance walking and cycling instead of shorter car trips and to make these modes safer. *Department of Traffic Planning and Engineering*. Disponível em: <https://safety.fhwa.dot.gov/ped_bike/docs/walcyng.pdf>. (Acesso 22/01/2017)
- Larsen, J.; A. El-Geneidy, e F. Yasmin (2010) Beyond the quarter mile: Re-examining travel distances by active transportation. *Canadian Journal of Urban Research: Canadian Planning and Policy (supplement)*, v. 19, n. 1, p. 70-88. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/26193275>>. (Acesso 03/02/2017)
- Lovelace, R. e I. Philips (2014) The "oil vulnerability" of commuter patterns: A case study from Yorkshire and the Humber, UK. *Geoforum*, v.51, p. 169-182. DOI: 10.1016/j.geoforum.2013.11.005
- McCormack G. R.; E. Cerin; E. Leslie; L. Du Toit e N. Owen (2008) Objective versus perceived walking distances to destinations. *Environment and Behavior*, v. 40, n. 3. DOI: 10.1177/0013916507300560
- Moudon, A. V.; C. Lee; A. D. Cheadle; G. Cheza; D. Johnson; T. L. Schmid; R. D. Weathers e L. Lin (2006) Operational definitions of walkable neighbourhood: theoretical and empirical insights. *Journal of Physical Activity and Health*, v. 3, n. 1, p. 99-117. DOI: 10.1123/jpah.3.s1.s99
- Newman, P. e J. Kenworthy (2011) 'Peak Car Use': Understanding the demise of automobile dependence. *World Transport Policy and Practice*, v. 17, n. 2, p. 31-42. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/20.500.11937/23589>>. (Acesso 22/01/2017)
- Oliveira, A.; F. Tan e A. N. Rodrigues da Silva (2016) Adequação do modo de transporte: um indicador de mobilidade sustentável em campus universitário. *Anais do XXX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET*. Rio Janeiro, RJ, Brasil, p. 2703-2709. Disponível em: <http://anpet.org.br/xxxanpet/site/images/documentos/anais/7_Planejamento_Territorial_do_Transporte.pdf>. (Acesso 10/03/2017)
- Philips, I. (2014) *The potential role of walking and cycling to increase resilience of transport systems to future external shocks*. Tese (Doutorado em Filosofia). University of Leeds Institute for Transport Studies. Leeds, UK. Disponível em: <<http://etheses.whiterose.ac.uk/id/eprint/7349>>. (Acesso 22/01/2017)
- Rendall, S.; S. Page; F. Reitsma; E. Van Houten e S. Krumdieck (2011) Quantifying transport energy resilience: Active mode accessibility. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 2242, p. 72-80. DOI: 10.3141/2242-09
- Rodrigues da Silva, A. N.; G. C. F. Costa e N. C. M. Brondino (2007) Urban sprawl and energy use for transportation in the largest Brazilian cities. *Energy for Sustainable Development*, v. 11, n. 3, p. 44-50. DOI: 10.1016/S0973-0826(08)60576-1
- Saunders, M. J. e A. N. Rodrigues da Silva (2009) Reducing urban transport energy dependence: A new urban development framework and GIS-based tool. *International Journal of Sustainable Transportation*, v. 3, n. 2, p. 71-87. DOI: 10.1080/1556831070164803.
- Schwanen, T. (2016) Rethinking resilience as capacity to endure. *City*, v. 20, n. 1, p. 152-160. DOI: 10.1080/13604813.2015.1125718
- Shim, G. E.; S. M. Rhee; K. H. Ahn e S. B. Chung (2006). The relationship between the characteristics of transportation energy consumption and urban form. *The Annals of Regional Science*, v. 40, n. 2, p. 351-367. DOI: 10.1007/s00168-005-0051-5
- Walker J. e M. Cooper (2011) Genealogies of resilience: From systems ecology to the political economy of crisis adaptation. *Security Dialogue*, v. 42, n. 2, p. 143-160. DOI: 10.1177/0967010611399616
- Yang, Y. e A. V. Diez-Roux (2012) Walking distance by trip purpose and population subgroups. *American Journal of Preventive Medicine*, v. 43, n. 1, p. 11-19. DOI: 10.1016/j.amepre.2012.03.015
- Zhang, W. e K. M. Kockelman (2014) Urban sprawl, job decentralization, and congestion: the welfare effects of congestion tolls and urban growth boundaries. *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting*. Washington, DC. Disponível em: <<https://trid.trb.org/view/1287979>>. (Acesso 03/02/2017)