

RESILIÊNCIA NO SISTEMA DE TRANSPORTE E MOBILIDADE. O MUNICÍPIO DA PÓVOA DO VARZIM.

Luís António da Pena Jardim Gonçalves^{1*}, Paulo Jorge Gomes Ribeiro¹

¹ CTAC – Centro do Território Ambiente e Construção, Universidade do Minho, Braga, Portugal

*E-mail: id7227@alunos.uminho.pt

Sumário

Embora os riscos, desastres naturais e crises sejam inerentes à existência humana, a velocidade, a frequência e a escala a que estes eventos ocorrem não tem precedentes. Na última década tem-se verificado um grande aumento do número de desastres naturais. Assim, surge o conceito de resiliência, que é um fator chave para reduzir os futuros impactos. Neste contexto, o presente trabalho tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma metodologia que permita avaliar e definir o estado de resiliência no sistema de transporte e mobilidade, tendo por base uma avaliação da escolha modal, recorrendo ao modelo de MLogit.

Palavras-chave: Sistemas de transporte, Resiliência, Tempo de viagem, MLogit, Póvoa de Varzim.

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas da sociedade atual é o crescimento das cidades, para o qual se espera um aumento significativo nas próximas décadas [1], que se traduzirá no crescimento da vulnerabilidade e suscetibilidade a futuras interrupções derivadas de causas naturais tende a aumentar proporcionalmente [2]–[5]. Neste âmbito, o conceito de resiliência assume particular relevância nos sistemas de transporte e mobilidade urbanos, devido ao aumento da exposição a eventos extremos nas cidades [6]–[9].

Nesse sentido, o crescimento populacional das cidades está diretamente ligado a um aumento da procura de transporte, afetando os padrões de mobilidade urbana. Os principais problemas relacionados com a mobilidade são os congestionamentos, a poluição ambiental e sonora e os acidentes, que contribuem para assegurar baixos níveis de acessibilidade e circulação de pessoas e bens que, conseqüentemente, levam a maiores dispêndios de tempo e energia, poluição e stress e custos para as sociedades [10]–[12]. Portanto, verifica-se que os sistemas de transporte e mobilidade estão cada vez mais expostos a ameaças capazes de afetar seu normal funcionamento [13], [14].

O termo resiliência foi introduzido por Holling [15] aplicado a sistemas ecológicos. Desde então, diversas áreas de interesse e conhecimento produziram um vasto conjunto de definições. Para Gonçalves e Ribeiro (2020) [16], a resiliência dos sistemas de transporte urbano é “a capacidade de um sistema resistir, reduzir e absorver os impactos de uma perturbação (choque, interrupção ou desastre).”, mantendo um nível de serviço aceitável (resiliência estática) e restabelecendo a operação regular e equilibrada dentro de um prazo e custo razoáveis (resiliência dinâmica)”.

Neste contexto, o presente trabalho tem como principal objetivo apresentar uma avaliação e definição do estado de resiliência de um sistema de transportes e mobilidade, tendo por base uma avaliação de alterações da escolha modal, com recurso ao modelo de Logit Multinomial (MLogit) que permita analisar a influência das variações dos tempos de viagem na avaliação da escolha do modo, em função de potenciais interrupções e constrangimentos na rede de transportes que derivem de eventos extremos.

Assim, apresentam-se os resultados de um modelo de escolha modal com recurso ao MLogit para o município da Póvoa de Varzim, tendo por base os resultados do inquérito à mobilidade realizado pelo INE, em 2017, na Área Metropolitana do Porto, com o objetivo de testar o nível de aplicação e discutir a forma como esse modelo poderá ser integrado no processo de avaliação de resiliência para a sua principal área urbana. Através da análise dos resultados obtidos para as várias dimensões do modelo, pretende-se mostrar que este tipo de modelos pode ser utilizado como uma ferramenta de planeamento de transportes que permita evidenciar áreas de intervenção para aumentar a capacidade de resiliência dos sistemas de mobilidade de cidades.

2 METODOLOGIA

No estudo da resiliência no sistema de transporte e mobilidade urbana importa identificar os modos de transporte mais expostos e vulneráveis a potenciais riscos derivados de fenómenos causados pela natureza ou pelo Homem. Assim, a caracterização e avaliação dos padrões de mobilidade numa cidade e dos processos de escolha modal que aí se desenvolvem irão determinar a primeira linha de análise, *i.e.*, permitirão identificar o modo mais penalizado – crítico, e avaliar se o sistema tem capacidade para se ajustar e voltar aos níveis de funcionamento existentes antes de acontecer um evento disruptivo na rede de transportes, ou seja, avaliar se as principais viagens dessa população se poderão continuar a realizar por processos de transferência modal, ou se será necessário promover alterações de emergência na oferta para que a cidade possa continuar a funcionar.

Para desenvolver um modelo de avaliação da alteração modal recorreu-se ao modelo o Logit Multinomial (MLogit), que é o mais utilizado neste tipo de estudos. O MLogit permite prever qual o modo escolhido com base no “custo” de cada viajante t na deslocação entre a zona de origem i e a zona de destino j . Este “custo” representa uma combinação dos tempos de viagem, do custo de operação e da conveniência da utilização para o modo de transporte m_1 , podendo integrar outros fatores, como a privacidade e a comodidade. A Expressão geral do modelo MLogit é dada pela equação (1) [17], [18]:

$$P_{m_1 t} = \frac{e^{V_{m_1 t}}}{\sum_{m \in A_t} e^{V_{m_1 t}}} \quad (1)$$

Onde:

- A utilidade para o viajante t e modo m_1 é dada por $U_{m_1 t} = V_{m_1 t} + \varepsilon_{m_1 t}$;
- $P_{m_1 t}$ – Probabilidade do viajante t escolher o modo m_1 ;
- Numerador representa a utilidade do modo m_1 para o viajante t e o denominador é a soma das utilidades para todos os modos alternativos A_t para o viajante t ;
- As perturbações $\varepsilon_{m_1 t}$ são distribuídas de forma independente e idêntica.

Por conseguinte, a avaliação da variação da escolha dos vários modos de transporte ao longo do tempo de viagem, que pode ser interpretada como uma avaliação eminentemente comportamental, permitindo avaliar a exposição e suscetibilidade associadas a cada modo de transporte existente num sistema de mobilidade e, assim, identificar quais os modos de transporte menos flexíveis, onde apesar de poderem apresentar uma grande robustez (*i.e.*, grande nível de utilização e permanência no modo) não se verificar um potencial, ou capacidade, para resistir aos distúrbios que possam causar danos no funcionamento de um sistema de transportes (*i.e.*, por apresentarem uma tendência constante ou crescente da sua utilização com o tempo e, ou distâncias percorridas, ou seja, os utilizadores do modo não mudarão facilmente de modo para realizar o mesmo tipo de viagem). Deste modo, entende-se que quanto menos flexível for transferência modal mais rígido será o sistema de mobilidade e consequentemente poderá apresentar potenciais problemas de resiliência sobretudo nas fases de recuperação pós-evento.

Na Figura 1 apresenta-se uma síntese do processo metodológico de avaliação da resiliência associada à componente comportamental ao nível da mobilidade de uma população tendo por base os seus padrões de mobilidade.

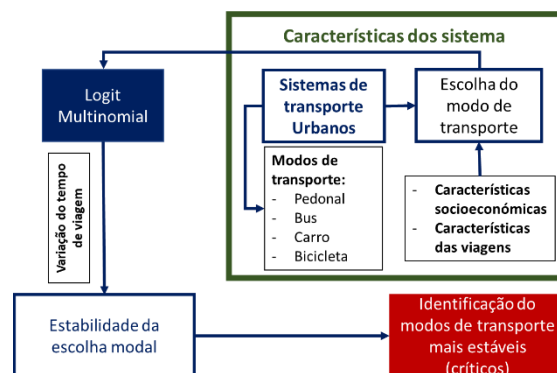


Figura 1 – Estrutura conceitual da avaliação da escolha modal

3 CASO DE ESTUDO. MUNICÍPIO DA PÓVOA DE VARZIM.

3.1 Descrição do Caso de Estudo

O município de Póvoa de Varzim situa-se no distrito do Porto, região Norte de Portugal (NUTII) e sub-região Área Metropolitana do Porto (NUTIII), o município é constituído por 12 freguesias. A sua área é de 82,21 km² e tem 62 647 habitantes (ano 2019) [19], com uma densidade populacional de cerca de 762 hab/km².

A área mais importante do município é a cidade de Póvoa de Varzim, que é uma reconhecida cidade balnear desde há três séculos, a mais popular no Norte de Portugal para além de ser uma das poucas zonas de Portugal onde a atividade dos “jogos de fortuna e azar” é legal. Para além de possuir uma significativa atividade industrial na área dos têxteis e produtos alimentares. A cidade mantém uma identidade cultural própria, uma cozinha piscatória rica e tradições antigas [20]. Neste âmbito, importa destacar que o perímetro urbano da cidade é de 12,8 Km² [21], fazendo deste perímetro urbano as freguesias de Póvoa de Varzim, Beiriz, Argivai, Aver-o-Mar, Amorim e Terroso, como é possível observar no mapa da Figura 2.

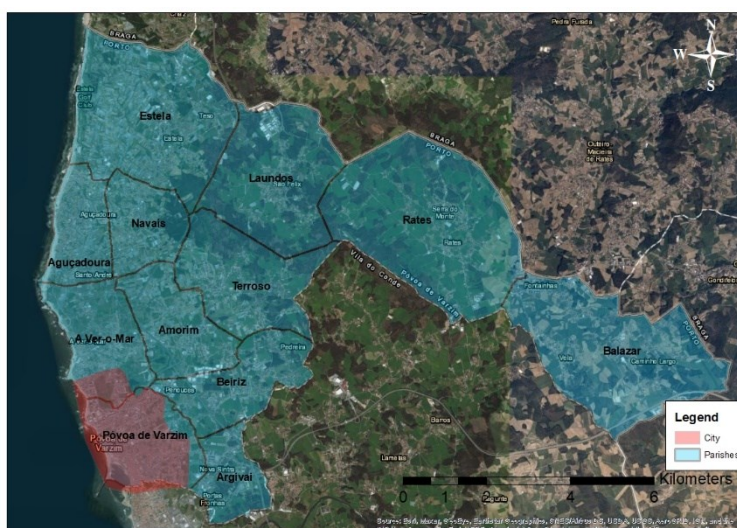


Figura 2 – Perímetro urbano da Cidade de Póvoa de Varzim (dados CAOP)

Em relação à rede viária, o Município de Póvoa de Varzim é servido por várias vias de importância nacional, regional e municipal, que fazem ligação entre os municípios vizinhos. Assim, utilizando a atual rede de autoestradas, é possível realizar viagens da Póvoa de Varzim até ao Porto em aproximadamente 30 minutos (A28), a Braga em 40 minutos (A7 e A3 ou A28 e A11), a Vigo em 90 minutos (A28 e A3) e a Lisboa em 180 minutos (A28 e A1). Por outro lado, existem vários operadores de transporte público rodoviário que efetuam ligações, diretas e indiretas, entre qualquer ponto de Portugal e a Póvoa de Varzim. O serviço de transporte público no município é composto pelos serviços de autocarro e de metro, com 36 linhas de autocarro que efetuam serviços no município de Póvoa de Varzim, 8 serviços municipais, 20 serviços intermunicipais e 8 serviços regionais. Em relação ao serviço de metro, o município de Póvoa de Varzim é servido por uma única linha de metro, a Linha Vermelha (B), que para além das funções de mobilidade urbana local, representa um importante eixo de ligação intermunicipal, entre o Estádio do Dragão – Porto (terminal) e vários municípios Área Metropolitana do Porto, como Matosinhos, Maia, Vila do Conde e Póvoa de Varzim (terminal).

3.2 Recolha dos dados e processamento

Os dados utilizados neste modelo são referentes ao “Inquérito à Mobilidade nas Áreas Metropolitanas do Porto e de Lisboa”. A partir dos dados foram selecionadas 4064 viagens e as respetivas características socioeconómicas da população residente no município de Póvoa de Varzim. Para além disso, também foram utilizados dados de Vila do Conde, pelo facto deste município ser contíguo ao município de Póvoa de Varzim, nomeadamente em termos dos seus mais importantes núcleos urbanos (cidades), cuja a proximidade geográfica se traduz numa forte interação nos padrões modais e vivência entre as duas cidades (Figura 2) [22].

Neste sentido, de forma a que o modelo possa transmitir fielmente as características das viagens da população ativa, tendo em conta as variações do tempo de viagem, foram selecionadas algumas variáveis caracterizadoras da população. Assim, as informações socioeconómicas incluem o sexo, a idade, o nível de instrução, licença de condução, número de automóveis per capita, disponibilidade de bicicleta, motivo de viagem e modo de transporte.

O sexo foi classificado em duas categorias, masculino e feminino. A idade foi classificada da seguinte forma: igual ou inferior a 14 anos, entre 15 e 24 anos, entre 25 e 44 anos, entre 45 e 64 anos e igual ou superior a 65 anos. O nível de instrução foi classificado da seguinte forma: nenhum ou 1º ciclo incompleto, ensino básico completo (1º ciclo, 2º ciclo ou 3º ciclo completo), ensino secundário completo e ensino superior completo. Já, a licença de condução foi dividida em 2 categorias: tem licença de condução ou não tem licença de condução. O número de automóveis per capita é uma variável contínua. A disponibilidade de bicicleta é classificada em 2 categorias, sim ou não. O motivo da viagem é classificado nas seguintes categorias: ir/voltar do trabalho, ir/voltar da escola ou atividades escolares, Lazer e Desporto e Compra de Bens e Serviços. Por fim, o modo de transporte foi dividido em: Carro, Autocarro, a Pé e Bicicleta. No Quadro 1 apresenta-se uma breve caracterização da estatística descritiva das variáveis selecionadas.

Quadro 1 – Descrição sumária das variáveis selecionadas

| Variáveis | Observações (nº) | Média (min.) | Mínimo (min.) | Máximo (min.) |
|--|--|--------------|-------------------------|---------------|
| Tempo de Viagem (min) - DurV | 4064 | 20,5 | 0,97 | 120 |
| Número de automóveis per capita – NApC | 4064 | 0,57 | 0 | 4 |
| Variáveis – Binárias (0/1) | Categorias/ desdobramento em variáveis binárias (0/1) | | Distribuição (%) | |
| Sexo - Sx | (1 Masculino, 0 Feminino) | | 48,7% | |
| Idade -IDDi | Igual ou inferior a 14 anos – IDD1 | | 10,5 % | |
| | entre 15 e 24 anos – IDD2 | | 10,3 % | |
| | entre 25 e 44 anos – IDD3 | | 32,1 % | |
| | entre 45 e 64 anos – IDD4 | | 32,9 % | |
| | igual ou superior a 65 anos – IDD5 | | 14,2 % | |
| Nível de instrução -NIi | Nenhum ou 1º ou 2º ou 3º ano incompletos – NI1 | | 6,6 % | |
| | Ensino Básico (1º, 2º ou 3º ciclo completo) – NI2 | | 49,2 % | |
| | Ensino Secundário (12º ano completo) – NI3 | | 19,7 % | |
| | Ensino Superior (Bacharelato, Licenciatura, Mestrado, Doutoramento, Curso Téc.Sup.Prof.) - NI4 | | 24,5 % | |
| Licença de Condução - LC | (1 Sim, 0 Não) | | 71,5% | |
| Motivo da viagem - MotVi | Ir/Voltar do trabalho – MotV1 | | 43,5 % | |
| | Ir/volta da escola ou atividades escolares – MotV2 | | 13,4 % | |
| | Levar /acompanhar familiares ou amigos – MotV3 | | 11,8 % | |
| | Atividade de Lazer e desporto – MotV4 | | 20,3 % | |
| | Compra de Bens e Serviços – MotV5 | | 11,0 % | |
| Disponibilidade Bicicleta – Dbike | (1 Sim, 0 Não) | | 74,3 % | |
| Modo de transporte | Carro | | 5,3 % | |
| | Modo de transporte Autocarro | | 19,4 % | |
| | Modo de transporte Pedonal | | 1,1 % | |
| | Modo de transporte Bicicleta | | 48,7% | |

3.3 Resultados do modelo MLogit

Nesta seção, são apresentados os resultados da estimativa do modelo Multinomial Logit (MLogit) para avaliar o comportamento da escolha do modal para a população residente do município de Póvoa de Varzim. Seguindo a

metodologia apresentada na seção anterior, os melhores resultados de especificação do modelo são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Modelo MLogit para o município da Póvoa de Varzim

| Variáveis | Modo de Transporte | | |
|-----------|--------------------|-------------|-------------|
| | Autocarro | Pedonal | Bicicleta |
| Constante | -2,55052*** | 0,27193 | -5,62135*** |
| IDD1 | -1,46251*** | -0,91952*** | -100,427 |
| IDD2 | -0,50201 | 0,05794 | -0,42894 |
| IDD3 | - | - | - |
| IDD4 | 0,16752 | 1,00066*** | 0,72107* |
| IDD5 | 0,09693 | 1,08002*** | 0,85675 |
| NAPC | -0,99153*** | -1,89404*** | -0,78923 |
| LC | -1,76032*** | -1,50920*** | -2,13093*** |
| MotV1 | - | - | - |
| MotV2 | 1,94483*** | 0,60841*** | -100,300 |
| MotV3 | -1,41961*** | -1,36003*** | -99,9129 |
| MotV4 | -0,37963 | 0,84541*** | 0,00042 |
| MotV5 | -1,59406*** | 0,42332*** | -0,25731 |
| NI1 | 0,24309 | -0,54260** | 1,79360** |
| NI2 | 0,99209*** | -0,21494 | 0,62338 |
| NI3 | 0,82762*** | -0,15677 | -0,08070 |
| NI4 | - | - | - |
| DBike | 0,02251 | 0,29572*** | 3,56250*** |
| Sx | 0,07768 | -0,19020* | 0,50210 |
| DurV | 0,02578*** | -0,01251*** | 0,01115 |
| Amostra | 4064 | | |
| p-R2 | 0,2425689 | | |
| LL | -2287,34199 | | |
| Param. | 51 | | |

3.4 Análise dos resultados do modelo MLogit

As variáveis dos modelos analisados foram consideradas com especificação contínua ou como binária isolada. A maioria das variáveis incluídas no modelo MLogit são estatisticamente significantes conforme apresentado no Quadro 2. Posto isto, foram analisadas as diversas variáveis, bem como a influência que cada uma delas tem na escolha modal da população em análise. Assim sendo, analisando os sinais e grandezas dos valores, é possível constatar o seguinte:

- Sexo: A maioria dos parâmetros das alternativas apresenta valores positivos, indicando que as mesmas são mais valorizadas/utilizadas pelas mulheres.
- Idade: O sinal negativo indica que os inquiridos mais velhos consideram as alternativas menos atrativas que os mais novos.
- Duração da viagem: O sinal positivo indica que as alternativas ao modo pedonal são mais atrativas para viagens mais longas. De acordo com os parâmetros o Carro apresenta a maior atratividade.
- Número de automóveis per capita: O sinal negativo para as alternativas ao automóvel indica que um aumento da disponibilidade para a utilização do Carro diminui a atratividade dos modos alternativos.
- Disponibilidade Bicicleta: O valor positivo dos parâmetros indica, como seria espectável, que a disponibilidade de Bicicleta aumenta a atratividade das alternativas, principalmente do modo Bicicleta;
- Motivo da viagem: Parâmetros apresentam sinal coerente e, tal como esperado, a influência desta variável nos diferentes modos é bastante diferente e não apresenta tendências lineares. Todas as alternativas, exceto o modo pedonal, são avaliadas negativamente para viagens de lazer e desporto e de compra de bens e serviços. Todos os modos alternativos, exceto a Bicicleta, apresentam uma influência negativa no

caso de viagens para ir/voltar da escola. Porém, a falta de observações nesta categoria no modo Bicicleta não permite proferir afirmações válidas em relação a este modo;

- Nível de Instrução: O sinal positivo dos parâmetros para as alternativas, Autocarro e Bicicleta, em relação ao Carro, indica que, o aumento do nível de instrução torna-os substancialmente mais úteis. Contudo, para o modo Pedonal verifica-se que, apesar do Carro ser útil, a sua utilidade diminui com o aumento do nível de instrução.

4 AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DA ESCOLHA MODAL

Após a apresentação e interpretação dos resultados do modelo, é importante analisar o comportamento da população relativamente a potenciais alterações modais nos seus padrões de viagens. Deste modo, optou-se por centrar a análise nas principais viagens diárias do grupo da população ativa, ou seja, a faixa etária entre os 15 e 64 anos em que, o motivo de viagem seja ir/voltar do trabalho e em que o nível de instrução mínimo seja o ensino básico (1º ciclo, 2º ciclo ou 3º ciclo completo). Ora, este grupo da população foi escolhido, uma vez que, numa eventual rutura de parte da rede de transportes do caso de estudo, este grupo seria mais significativamente impactado, nomeadamente, por atrasos na viagem casa-trabalho e, conseqüentemente, um aumento do tempo de viagem.

É de referir que, a maior parte da população do município de Póvoa de Varzim, apenas tem o ensino básico como nível de instrução (1º ciclo, 2º ciclo ou 3º ciclo completos), o que se reflete em empregos como operários ligados à construção civil, indústria e jardinagem.

Por outro lado, compreende-se que o tempo de viagem é a variável que irá sofrer maiores alterações com a rutura de parte da rede de transportes, já que é muito provável que as variáveis socioeconómicas dos indivíduos permaneçam constantes antes, durante e após o período dessa interrupção. Assim, no Quadro 3, são apresentados os principais tipos da população pertencentes ao grupo em análise.

Quadro 3 – Principais tipos de Indivíduos pertencentes à população Ativa

| Indivíduo | Variáveis | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-------|----|------|------|------|------|-----|-----|-----|----|-------|-------|-------|-------|
| | NApC | DBike | Sx | Idd1 | Idd2 | Idd4 | Idd5 | NI1 | NI2 | NI3 | LC | MotV2 | MotV3 | MotV4 | MotV5 |
| Homem 1 | 0,6 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Homem 2 | 0,6 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Homem 3 | 0,6 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Homem 4 | 0,6 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Homem 5 | 0,6 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Homem 6 | 0,6 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Homem 7 | 0,6 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Homem 8 | 0,6 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Homem 9 | 0,6 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mulher 1 | 0,6 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mulher 2 | 0,6 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mulher 3 | 0,6 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mulher 4 | 0,6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mulher 5 | 0,6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mulher 6 | 0,6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mulher 7 | 0,6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mulher 8 | 0,6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mulher 9 | 0,6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

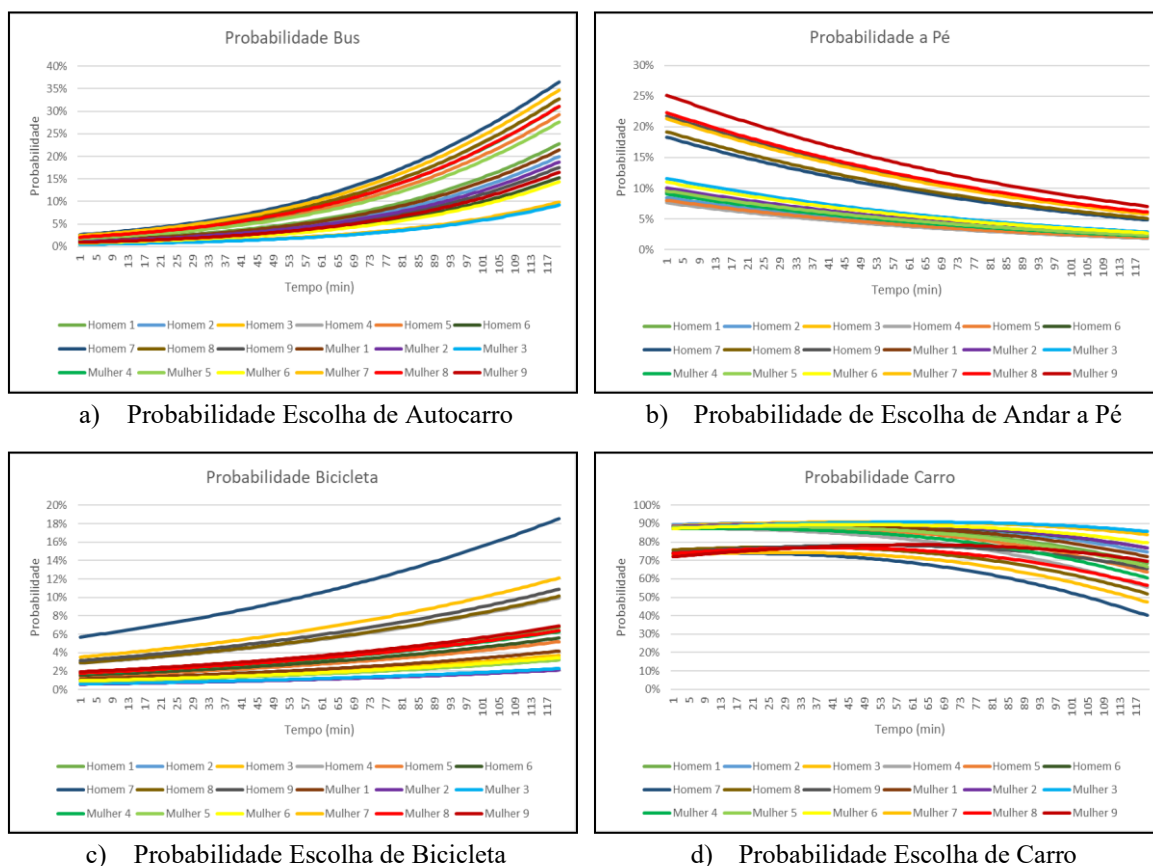


Figura 3 – Probabilidade de Escolha de Modo de Transporte segundo a Variação do Tempo de Viagem

Existem três variáveis que permanecem constantes durante toda a análise, nomeadamente o número de automóveis per capita (NApC), a disponibilidade de Bicicleta no agregado (DBike) e a licença de condução (LC). No caso do número de automóveis per capita, optou-se pelo número médio da amostra, visto ser o valor mais representativo desta variável. No caso da variável disponibilidade de Bicicleta no agregado, selecionou-se consoante a disponibilidade da mesma para executar as viagens. Para a variável licença de condução selecionou-se a opção “tem carta” por parte do indivíduo. A escolha destas opções seguiu a lógica da escolha do valor para a variável NApC, ou seja, a opção com maior representatividade na amostra da população. No caso da licença de condução, as pessoas dentro deste grupo que não possuem habilitações para conduzir um Carro, é muito residual. Já no caso da disponibilidade de Bicicleta no agregado, a indisponibilidade de Bicicleta já não é residual. Porém, a sua percentagem ainda é inferior à dos indivíduos que tem disponibilidade.

Não obstante, tendo em conta os valores apresentados da amostra da população em relação à repartição modal, verifica-se que o Carro é o meio de transporte mais utilizado pela população, com uma percentagem de cerca de 74,3% das viagens. Esta percentagem traduz-se numa consolidação do Carro como principal meio de transporte utilizado no caso de estudo. Posto isto, torna-se importante perceber como a variação do tempo de viagem influencia a escolha deste modo. Assim sendo, a Figura 3 apresenta a variação da repartição modal da população ativa tendo em conta a variação do tempo de viagem.

A partir dos gráficos da Figura 3, é possível extrair algumas variações da escolha modal com o aumento do tempo de viagem. Relativamente ao modo de transporte a Pé (Figura 3.b)) verifica-se que a probabilidade deste ser escolhido, com o aumento do tempo de viagem diminui, o que é normal, visto que as pessoas, quando o tempo de viagem é muito elevado, tendem a utilizar modos de transporte motorizados. Isto deve-se a inúmeras razões, como o esforço físico, tempo e as condições climáticas tendem a criar um desconforto menor nos modos motorizados. Também é possível observar que os grupos que tendem a utilizar mais o modo pedonal são as pessoas mais velhas, ou seja, da faixa etária dos 45-64 anos.

Relativamente ao Autocarro (Figura 3.a), verifica-se um ligeiro aumento da probabilidade da sua escolha com o aumento do tempo de viagem, pelo facto deste modo de transporte ser mais cómodo para viagens mais longas (superiores a 75min). Porém, a sua percentagem ainda é muito residual comparativamente com, o principal modo utilizado, o Carro. Também é possível constatar que as pessoas que têm o ensino secundário estão mais propensas a utilizar este modo de transporte.

Já o modo Bicicleta (Figura 3.c), assim como o modo Autocarro, apresenta um aumento da probabilidade de escolha com o aumento do tempo de viagem. Porém, visto que, a amostra deste modo de transporte é muito reduzida, conclui-se que a sua utilização se prende com limitações relativamente à utilização do Carro.

Por conseguinte, verifica-se um claro domínio do Carro na população ativa do caso de estudo, em que a probabilidade da sua escolha se mantém constante (Figura 3.d)). Esta probabilidade apenas começa a sofrer uma descida mais acelerada para viagens com um tempo superior a 74 min. Estes tempos de viagem são muito superiores ao tempo de viagem médio praticado por este grupo da população, que é cerca de 20,5 min. Também se verifica um pico da probabilidade da escolha deste modo de transporte para viagens de cerca de 26 min. Não obstante, o grupo da população que sofre a maior descida são as pessoas com idade compreendida entre os 45 e 64 anos e com um baixo nível de instrução (ensino básico), podendo estar relacionado com o facto de que, as pessoas deste grupo, na sua generalidade, trabalhar no setor da produção da indústria local., logo com tempos de viagem casa-trabalho não muito elevados.

Tendo em conta os resultados obtidos a partir do modelo Logit Multinomial, foi possível constatar uma constância na escolha dos modos de transporte (exceto modo pedonal, dado os elevados tempos de viagem), sendo o Carro o modo predominante nas escolhas da população ativa. Verifica-se também uma dependência muito grande deste modo de transporte no caso de estudo, mesmo para viagens que acarretam tempos de viagem muito curtos. Posto isto, uma interrupção/ distúrbio no sistema de transportes da Póvoa de Varzim que prejudique as viagens de Carro terá um impacto muito maior nos padrões de viagem do que nas viagens realizadas noutro modo de transporte, ou seja, o Carro é o modo mais suscetível e exposto a um potencial evento disruptivo que prejudique o normal funcionamento da rede de transportes e mobilidade do município.

5 CONCLUSÕES

Os sistemas de transportes estão expostos a muitos riscos e ameaças, como é o caso dos congestionamentos e acidentes de trânsito, mas também de origem natural como, furações e inundações. Deste modo, devido à maior exposição a eventos extremos de origem natural e humana, tem havido uma preocupação crescente da sociedade com a capacidade que os sistemas têm para resistir, adaptar e garantir a segurança, proteção e qualidade de vida durante a ocorrência de perturbações de grande impacto, particularmente ao nível dos sistemas de transporte.

Assim, defende-se que as entidades gestoras de transportes e proteção civil devem dispor de ferramentas de avaliação da resiliência no sistema de transportes e mobilidade, que compreendam a identificação do impacto que este tipo de eventos disruptivos possam ter ao nível do funcionamento global do sistema, em termos das principais redes de transporte e dos respetivo níveis de utilização (e.g., repartição modal), de modo a poderem definir planos de intervenção e promoção da resiliência, tendo em vista a manutenção dos padrões de mobilidade e desempenho do sistema de transportes.

Na produção de um modelo de avaliação da resiliência de um sistema de transporte e mobilidade, qualquer interrupção ou alteração negativa no funcionamento do sistema será quase sempre traduzida, ou expressa, nos tempos de viagem para os diferentes modos de transporte. Neste contexto, é importante identificar os modos de transporte mais expostos e vulneráveis a potenciais riscos derivados de fenómenos causados pela natureza ou pelo Homem, sendo para esse efeito necessário avaliar as potenciais alterações que os diferentes tipos de utilizadores possam ter para mudar de modo de transporte.

É de realçar que a mobilidade na maioria das cidades portuguesas é dominada pelo automóvel e que, qualquer interrupção que afete o sistema de infraestruturas rodoviárias, poderá resultar num potencial caos para o funcionamento do sistema de mobilidade, especialmente, se a opção de mudança do automóvel para outros modos de transporte se revelar muito difícil de alcançar.

Neste sentido, a caracterização e avaliação dos padrões de mobilidade no caso de estudo e dos processos de escolha modal que aí se desenvolvem irão determinar a primeira linha de análise, i.e., permitirão identificar o modo mais

penalizado – crítico. Para este efeito, foi desenvolvido um modelo Logit Multinomial (MNL) para estudar o processo de escolha modal da população, tendo em conta o aumento do tempo de viagem.

Esta avaliação inicial das escolhas modais da população permitiu avaliar a exposição e suscetibilidade associadas a cada modo de transportes, e assim identificar quais os modos de transporte menos flexíveis onde, apesar da sua robustez (*i.e.*, grande nível de utilização), poderá não se verificar uma potencial capacidade para resistir a perturbações que ocorram do sistema de transportes, por apresentarem uma tendência constante ou crescente da sua utilização com o tempo, ou com as distâncias percorridas.

O caso de estudo desenvolvido para este trabalho foi o município da Póvoa de Varzim, com a aplicação do modelo proposto para a avaliação resiliência. Na avaliação do caso de estudo foram utilizados os dados pré-existentes obtidos pelo Inquérito à Mobilidade nas Áreas Metropolitanas do Porto e de Lisboa (IMob), recolhidos no ano de 2017. Esta base de dados é constituída pelas informações socioeconómicas dos indivíduos associadas às respetivas viagens diárias, resultando numa amostra de 4064 viagens. A partir desta base de dados, foi possível definir um conjunto de variáveis com potencial para poderem introduzir informação relevante para a avaliação da resiliência através do modelo Logit Multinomial.

Após a recolha e caracterização das variáveis do inquérito IMob para a cidade da Póvoa de Varzim, foi realizada uma avaliação da resiliência na mobilidade urbana, aplicando um MNL. Este modelo integra as seguintes variáveis: idade e sexo do indivíduo, número de automóveis per capita, licença de condução, motivo da viagem, nível de instrução/ escolaridade, disponibilidade de bicicleta no agregado e a duração da viagem.

No modelo MNL todas as variáveis apresentaram parâmetros com comportamentos e sinais coerentes com o que seria esperado da leitura da realidade da mobilidade local deste município. Apenas para a Bicicleta se verificaram comportamentos diferentes do que se esperava. Porém, este comportamento pode dever-se à falta de informação em certas categorias de certas variáveis e à reduzida amostra para este modo de transporte (*e.g.*, nº de ciclistas).

Posto isto, foi possível concluir, que os grupos com maior apetência para utilizar as alternativas mais sustentáveis são as mulheres e os indivíduos com idade igual ou superior a 65 anos. Por outro lado, o grupo dos homens entre os 25 e os 44 anos são os que mais utilizam o automóvel.

Posteriormente, efetuou-se uma análise da variação das escolhas modais para o grupo ativo da população (15-64 anos), tendo em conta o aumento do tempo de viagem, visto que esta variável é a que sofre mais alterações com as disrupções da rede e/ ou sistema de transportes. Assim, tendo em conta os resultados obtidos a partir do modelo MNL do caso de estudo, foi possível concluir que se verifica uma constância na escolha dos modos de transporte (exceto no modo pedonal, devido aos elevados tempos de viagem).

Para além disso, concluiu-se que o carro é o modo predominante na escolha da população, verificando-se uma dependência muito grande deste modo de transporte, mesmo para deslocações com tempos de viagem muito curtos. Por conseguinte, uma interrupção devido a um potencial distúrbio no sistema de transportes (*e.g.*, inundação, rebentamento de uma conduta de gás ou água, etc.), que restrinja a realização das viagens neste modo terá um impacto muito maior nos padrões de mobilidade, do que nos outros modos de transporte.

Neste sentido, esta avaliação revelou-se importante para identificar o modo de transporte que se pode considerar crítico para a população ativa do município, que é o automóvel. Esta razão, não se ficou a dever, apenas porque é o modo mais utilizado, mas porque a análise do modelo MNL permitiu concluir que a transferência modal deste modo para outros modos alternativos será muito difícil, dado que a percentagem de viagens que será expectável mudar para outros modos com o aumento dos tempos de viagem é muito reduzida, ou seja, o comportamento dos utilizadores do sistema é muito pouco flexível, evidenciando desta forma potenciais problemas de resiliência.

Em termos gerais, pode concluir-se que a metodologia de avaliação da resiliência desenvolvida neste trabalho funciona de acordo com a hipótese enunciada e que os resultados se apresentam dentro do que seria expectável. Pode-se afirmar que, quanto maior o tempo de viagem, maior a probabilidade de existirem problemas de mobilidade e, conseqüentemente, um baixo nível de resiliência pela hegemonia do uso do carro nas viagens diárias.

Por último, é possível concluir que este trabalho abre uma nova forma de abordar a avaliação da resiliência no contexto específico da mobilidade, como um sistema integrado de diversos modos de transporte, cuja a análise de resiliência não poderá ser vista exclusivamente como um processo de análise de infraestruturas, mas que terá de incorporar sempre a dimensão do comportamento humano ao nível da opção modal.

6 REFERÊNCIAS

- [1] U. Nations, “2018 Revision of World Urbanization Prospects,” 2018. <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html> (accessed Apr. 29, 2022).
- [2] L. M. Hunter, “Migration and Environmental Hazards,” *Popul. Environ.*, vol. 26, no. 4, pp. 273–302, 2005, doi: 10.1007/s11111-005-3343-x.
- [3] K. A. Borde, M. C. Schmidlein, C. T. Emrich, W. W. Piegorsch, and S. L. Cutter, “Vulnerability of U.S. Cities to Environmental Hazards,” *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, vol. 4, 2007, doi: 10.2202/1547-7355.1279.
- [4] M. Cao, “Transportation Resilience: A summative review on Definition and Connotation,” in *International Conference on Automation, Mechanical Control and Computational Engineering (AMCCE 2015)*, 2015, pp. 1127–1132, doi: 10.2991/amcce-15.2015.199.
- [5] S. E. Hobbie and N. B. Grimm, “Nature-based approaches to managing climate change impacts in cities,” *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 375, no. 1794, p. 20190124, Mar. 2020, doi: 10.1098/rstb.2019.0124.
- [6] S. A. Markolf, C. Hoehne, A. Fraser, M. V Chester, and B. S. Underwood, “Transportation resilience to climate change and extreme weather events – Beyond risk and robustness,” *Transp. Policy*, vol. 74, pp. 174–186, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.11.003>.
- [7] C. Wamsler, E. Brink, and C. Rivera, “Planning for climate change in urban areas: from theory to practice,” *J. Clean. Prod.*, vol. 50, pp. 68–81, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.008>.
- [8] F. Nemry and H. Demirel, “Impacts of Climate Change on Transport: A focus on road and rail transport infrastructures,” *Eur. Comm. Jt. Res. Cent. (JRC), Inst. Prospect. Technol. Stud.*, 2012.
- [9] M. Pregolato, A. Ford, C. Robson, V. Glenis, S. Barr, and R. Dawson, “Assessing urban strategies for reducing the impacts of extreme weather on infrastructure networks,” *R. Soc. Open Sci.*, vol. 3, no. 5, p. 160023, Oct. 2019, doi: 10.1098/rsos.160023.
- [10] R. Z. Farahani, E. Miandoabchi, W. Y. Szeto, and H. Rashidi, “A review of urban transportation network design problems,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 229, no. 2, pp. 281–302, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.01.001>.
- [11] A. M. Rao and K. R. Rao, “Measuring Urban Traffic Congestion-A Review,” *Int. J. Traffic Transp. Eng.*, vol. 2, no. 4, 2012.
- [12] Z. Zhang, Y. Zeng, N. Zheng, L. Luo, H. Xiao, and H. Xiao, “Fossil fuel-related emissions were the major source of NH₃ pollution in urban cities of northern China in the autumn of 2017,” *Environ. Pollut.*, vol. 256, p. 113428, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113428>.
- [13] V.-M. Perra, A. Sdoukopoulos, and M. Pitsiava-Latinopoulou, “Evaluation of sustainable urban mobility in the city of Thessaloniki,” *Transp. Res. Procedia*, vol. 24, pp. 329–336, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.103>.
- [14] M. M. Haque, H. C. Chin, and A. K. Debnath, “Sustainable, safe, smart—three key elements of Singapore’s evolving transport policies,” *Transp. Policy*, vol. 27, pp. 20–31, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.11.017>.
- [15] C. S. Holling, “Resilience and Stability of Ecological Systems,” *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–23, 1973, doi: 10.1146/annurev.es.04.110173.000245.
- [16] L. A. P. J. Gonçalves and P. J. G. Ribeiro, “Resilience of urban transportation systems. Concept, characteristics, and methods,” *J. Transp. Geogr.*, p. 102727, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102727>.
- [17] J. de D. Ortúzar and L. G. Willumsen, *Modelling transport*, 4th editio. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2011.
- [18] S. Chatterjee and A. S. Hadi, *Regression analysis by example*, 5th Editio. Hoboken, New Jersey, U.S.A.: John Wiley & Sons, 2015.
- [19] PORDATA - Base de dados Portugal Contemporâneo, “População residente: total e por grandes grupos etários,” 2020. .
- [20] P. de Varzim, “Póvoa de Varzim,” *Port. Recuper. em*, vol. 11, 2015.
- [21] Município da Póvoa de Varzim, *Aviso n.º 19268/2019*. 2019.
- [22] I. N. da E. INE, “INQUÉRITO À MOBILIDADE NAS ÁREAS METROPOLITANAS DO PORTO E DE LISBOA (IMob),” Lisboa-Portugal, 2017.