

Travessias de pedestres inteligentes.

Denise Lima Lopes¹; Sun Hsien Ming²

¹ CET – Companhia de Engenharia de Tráfego, GPT – Gerência de Planejamento e Projetos Tecnológicos, Av. Dra. Ruth Cardoso, 7163 - São Paulo – SP - 05425-070, +55 11 3030-2308, denisel@cetsp.com.br; ² Mestre em Engenharia de Tráfego, ex-funcionário da CET, shmsun@uol.com.br.

SINOPSE

Este trabalho avalia o uso de um sistema inteligente para travessia de pedestres que utiliza sensores de presença e direção. O sistema propõe-se a oferecer ao pedestre tempo suficiente para a travessia com conforto e segurança, enquanto procura minimizar o atraso de veículos.

PALAVRAS-CHAVE: Travessia de pedestres, sensores, sistemas inteligentes, *PUFFIN*.

INTRODUÇÃO

Os semáforos foram criados para gerenciar os conflitos nos deslocamentos dos diversos usuários do sistema viário. Para isso, determinam o direito de passagem de forma alternada, um movimento por vez, separando os diversos movimentos no tempo. E a constante disputa pelo tempo impõe um grande desafio: oferecer tempo suficiente aos pedestres (usuários mais vulneráveis) minimizando o atraso dos veículos.

Usualmente, para evitar a espera dos veículos quando não há pedestres para atravessar é utilizado um sensor (botoeira), de forma que o semáforo só fecha para os veículos quando a botoeira é acionada por um pedestre. Contudo, o sistema não é otimizado, por dois motivos: (1) por vezes, o pedestre aciona a botoeira e não aguarda o sinal abrir, aproveitando-se de alguma brecha no tráfego para atravessar, de modo que, quando o semáforo fecha para os veículos, não há mais pedestre para realizar a travessia; e (2) o tempo de travessia é fixo, havendo ocasiões em que os pedestres realizam a travessia em um tempo menor do que o programado e, em outras, o tempo se mostra insuficiente.

A travessia inteligente otimiza o sistema por meio de sensores de pedestres na calçada e na travessia, dando o tempo suficiente para o pedestre e evitando atrasos desnecessários. O sistema utilizado no Reino Unido é conhecido como *PUFFIN (Pedestrian User-Friendly Intelligent crossing)*. Em São Paulo foi realizada uma experiência utilizando os sensores do PUFFIN e que ofereceu resultados bastante animadores.

DIAGNÓSTICO

O gerenciamento de trânsito deve adotar políticas de priorização dos usuários mais vulneráveis, entre eles, o pedestre. Deste modo, na disputa com os veículos pelo tempo de travessia, o pedestre deve ter prioridade. Mas, ele não deve ser priorizado de forma “burra”, isto é, recebendo tempo que não seja aproveitado e fazendo com que os veículos aguardem parados desnecessariamente. O desperdício de tempo pode ocorrer de duas formas: (1) o semáforo fecha para os veículos quando não há pedestres para fazer a travessia; e (2) o tempo programado para pedestres é excessivo, havendo tempo excedente após todos os pedestres terem concluído a travessia.

Para o primeiro problema, existe um recurso já amplamente utilizado que é a botoeira de pedestres, cuja função é evitar que o semáforo feche para os veículos quando não há pedestres para atravessar. Entretanto, mesmo com a utilização desse sensor, pode haver desperdício de tempo, pois, muitas vezes, o pedestre aciona a botoeira mas não aguarda a abertura do verde, aproveitando-se de brechas para fazer a travessia, de forma que, quando o semáforo fecha para os veículos, não há mais nenhum pedestre aguardando.

Para o segundo problema, procura-se programar um tempo tal que atenda o maior número de pedestres. Mas, se o tempo for muito curto, poderá ser insuficiente para muitos deles, os quais não serão atendidos. E, se o tempo for muito longo, haverá desperdício, ficando os veículos parados desnecessariamente após todos os pedestres terem concluído a travessia.

Dessa forma, a adoção de travessias inteligentes é primordial na otimização do uso do tempo. Para tanto, são utilizados dois tipos de sensores (além da botoeira): (1) sensor de calçada (cuja função é detectar a presença de pedestres na espera da travessia) o qual evita que o semáforo feche para os veículos sem que haja pedestres aguardando; e (2) sensor de travessia propriamente dita, cuja função é verificar se ainda há pedestres que não concluíram a travessia, evitando que o semáforo abra para os veículos enquanto ainda haja pedestres finalizando a travessia.

Um exemplo típico de travessia inteligente é o *PUFFIN (Pedestrian User-Friendly Intelligent crossing)*, utilizado no Reino Unido.

O sistema *PUFFIN* inclui dois conjuntos de sensores capazes de identificar a presença de pedestres tanto nas áreas de espera para travessia (pré-definidas nas calçadas) como na área da travessia de fato (ao longo da faixa de pedestres).

A seguir, a Figura 1 e a Figura 2 exibem exemplos esquemáticos das zonas de detecção dos sensores na área de travessia e nas áreas de espera (calçada), respectivamente.



Figura 1 – Área de detecção dos sensores de travessia

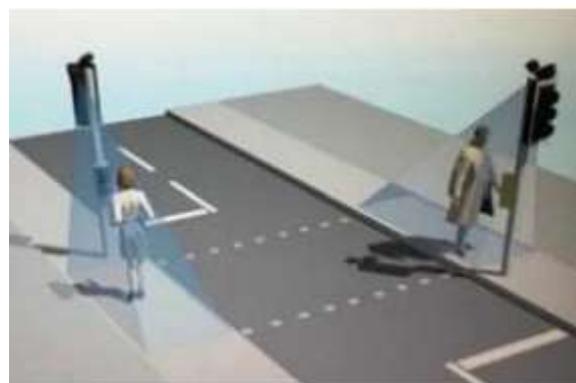


Figura 2 - Área de detecção nas áreas de espera

Fonte: Adaptadas de <https://acnzonresearch.wordpress.com/2018/08/23/enter-the-puffin-a-new-pedestrian-crossing/>

O *PUFFIN* inglês também é caracterizado pela disposição dos grupos focais de pedestres, instalados no lado anterior à travessia e voltado para o fluxo veicular (em vez de ser no lado oposto da travessia, como é usual no Brasil), conforme mostrado na Figura 3.



Figura 3 - Disposição dos grupos focais de pedestres no lado anterior da travessia, voltado para o fluxo veicular

Fontes: PUFFIN Crossings – Good Practice Guide – Release 1. July 2006
Department for Transport – PUFFIN (nationalarchives.gov.uk) e
<https://www.trafficchoices.co.uk/traffic-schemes/puffin-crossing.shtml>

PROPOSIÇÕES

No final de 2017, com o objetivo de avaliar a eficiência de uma travessia de pedestres inteligente, foi proposta a realização de um teste de campo. Ele foi viabilizado em parceria com uma empresa local, empregando os sensores utilizados no sistema *PUFFIN* inglês, sem alteração na disposição dos grupos focais de pedestres do local escolhido.

Os sensores instalados são da marca Heimdal (radares Doppler de 24 ou 12 volts), sendo um par de sensores para a área de travessia – sensores “*On Crossing*” (radares direcionais) e outro par para as áreas de espera – “*kerbside*” (radares simples), conforme apresentado na Figura 4 e na Figura 5, respectivamente.



Figura 4: Sensor Heimdall *On Crossing* direcional para área de travessia



Figura 5: Sensor Heimdall *Kerbside* simples para área de espera

Fonte: Meng Engenharia

A área padrão para detecção dos pedestres na espera é de cerca de 3,0m x 1,5m, e os sensores devem ser ajustados para os locais em que seja mais provável a permanência dos usuários enquanto aguardam para atravessar. Já os sensores da área de travessia são previstos para registrar a presença de cada pedestre circulando dentro da faixa zebraada a uma velocidade não inferior a 0,5 m/s (ou 1,8 km/h), conforme a Figura 6.

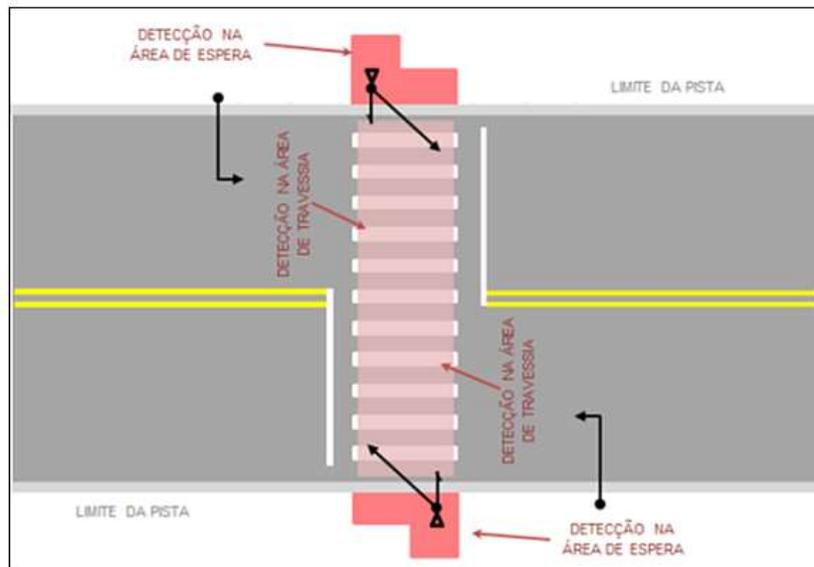


Figura 6: Esquema simplificado das áreas de detecção (áreas de espera e de travessia)

Fonte: Elaborado por Denise L. Lopes

O local escolhido para os testes deveria ser uma travessia demandada, preferencialmente em meio de quadra (com estágio específico de pedestres), em uma via de mão única, com alto volume e variabilidade de pedestres (para melhor visualização do efeito do sistema). Para a realização dos testes também foi necessário selecionar um cruzamento vinculado a um controlador centralizado (comunicando-se em tempo real com uma Central de Tráfego em Área). O local selecionado para o teste foi a travessia da Alameda Santos, na altura do nº 2441, na cidade de São Paulo, conforme ilustram as Figura 7 e a Figura 8.

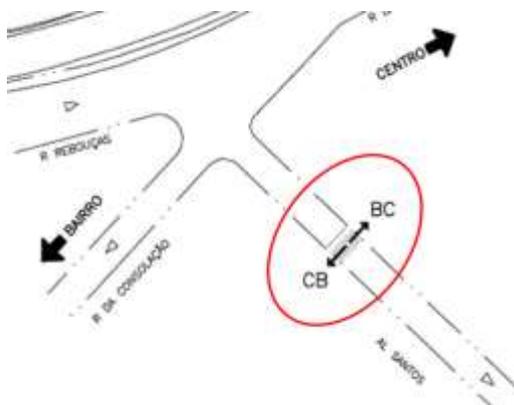


Figura 7 - Situação esquemática da travessia selecionada para os testes

Fonte: Adaptado de pesquisa CET



Figura 8 - Foto do local de testes

Fonte: Google Maps, abril 2018

Na Figura 8, anterior, pode-se ver os gradis, instalados especialmente para garantir que, para atravessar, os pedestres aguardassem dentro da área de detecção do teste.

Para a avaliação do sistema foi proposto um conjunto de medições que incluíram:

- contagens volumétricas dos vários movimentos de pedestres antes e depois da implantação do sistema;
- pesquisas de tempo de espera dos pedestres;
- pesquisas de percepção do pedestre sobre o sistema implantado em relação ao sistema convencional existente anteriormente;
- pesquisa de observação pelos pesquisadores; e
- análise de dados registrados pelo sistema STC UTC¹ em arquivos DLOT².

Para a avaliação do sistema foram propostos vários tipos de análise. A primeira verificou a variação de volume de pedestres considerando o momento de início da travessia (verde, vermelho intermitente ou vermelho).

A segunda análise avaliou o tempo de espera dos pedestres.

Uma terceira análise determinou a forma de percepção dos pedestres quanto aos tempos de espera e de travessia, e quanto a alguma alteração percebida após a implantação do sistema. Esta análise foi feita com base em pesquisas de opinião, associadas ao comportamento observado.

Por fim, foi feita uma análise dos registros do arquivo DLOT, para determinar o efeito do sistema sobre a extensão/redução de tempos de vermelho intermitente para os pedestres e sobre o cancelamento de demandas.

A Tabela 1, abaixo, indica a temporização semafórica para pedestres. Verifica-se que a programação anterior ao teste previa um tempo fixo de vermelho intermitente de 10 s e, durante o teste, esse tempo passou a ser variável entre 6 a 16 s. Deve-se ressaltar que o verde indica a permissão para iniciar a travessia, enquanto que o tempo de vermelho intermitente é o tempo necessário à sua conclusão.

Tabela 1 - Temporização semafórica

Indicação para Pedestre	Programação Anterior (s)	Programação do Teste (s)
Verde	5	5
Vermelho intermitente	10	6 a 16
Vermelho	64	68 a 58
Vermelho de limpeza ³	1	1
Ciclo	80	80

¹ O sistema STC UTC é a interface homem/máquina desenvolvida pela empresa Siemens do Reino Unido para o sistema de controle semafórico em tempo real SCOOT, existente em Centrais Semafóricas da CET-SP.

² DLOT é o nome do comando de gravação do LOTU – *List Outstanding Terminal Unit*, relatório que registra todos os eventos reportados pelo controlador, por exemplo: acionamento de botoeira, mudança de estágio, falhas de comunicação etc. É uma espécie de LOG do sistema.

³ Vermelho de limpeza é um tempo programado em que tanto pedestres quanto os veículos recebem a indicação vermelha.

RESULTADOS

A primeira análise consistiu na comparação entre a quantidade de pedestres que iniciaram a travessia em cada fase semaforica (verde, vermelho intermitente e vermelho), conforme Tabela 2, abaixo.

Tabela 2 – Comparação de quantidade de pedestres por momento de início da travessia

Fase de início da travessia	Antes do teste		Durante o teste	
	Pedestres	%	Pedestres	%
Verde	586	38,8	719	45,7
Vermelho intermitente	171	11,3	173	11,0
Vermelho	754	49,9	682	43,3
Total	1511	100,0	1574	100,0

Verifica-se que houve maior obediência do pedestre ao sinal verde após a implantação do sistema do que sem ele (45,7% contra 38,8%; um aumento de 6,9 pontos percentuais). Entretanto, esse aumento de obediência é estatisticamente significativo?

Para responder a essa questão, fez-se o teste de hipótese de proporções, sendo que $p_1 = 586/1511 = 38,8\%$ é a proporção dos pedestres que obedeceram à sinalização (iniciaram a travessia no verde) antes do teste; e $p_2 = 719/1574 = 45,7\%$ é a proporção dos pedestres que obedeceram à sinalização (iniciaram a travessia no verde) durante o teste, onde a hipótese nula H_0 é $p_1 = p_2$ e a hipótese alternativa H_1 é $p_1 < p_2$. Concluiu-se pela rejeição de H_0 com nível de confiança de 95%, indicando que, durante o teste, a obediência ao verde foi maior do que antes do teste (p-value ≈ 0).

Entretanto, não se pode atribuir o aumento na obediência exclusivamente ao sistema, uma vez que pode ter havido mais brechas no período antes do teste (permitindo maior número de travessias no vermelho), embora as pesquisas antes e durante o teste tenham sido realizadas nos mesmos dias de semana e nos mesmos horários.

Infelizmente, como não foram realizadas pesquisas de volume veicular e de brechas visando isolar este fator, conclui-se apenas que este resultado representa um indício de que travessias inteligentes podem induzir a uma maior obediência pelo pedestre.

O aumento do número de pedestres iniciando a travessia no verde teve como contrapartida a redução de pedestres iniciando a travessia no vermelho (de 49,9% para 43,3%) e no vermelho intermitente (de 11,3% para 11,0%). Ademais, a análise do comportamento dos pedestres no atravessamento indicou redução do número de pedestres que iniciaram a travessia no vermelho intermitente e que tiveram que correr (de 29,8% para 24,3%).

A segunda análise realizou uma avaliação do tempo de espera dos pedestres para a travessia. A Figura 9, adiante, mostra a frequência acumulada dos tempos de espera. Por meio dela, pode-se observar que 85% dos pedestres esperaram por menos de 60 segundos para a travessia e que o tempo máximo de espera foi de 90 segundos.

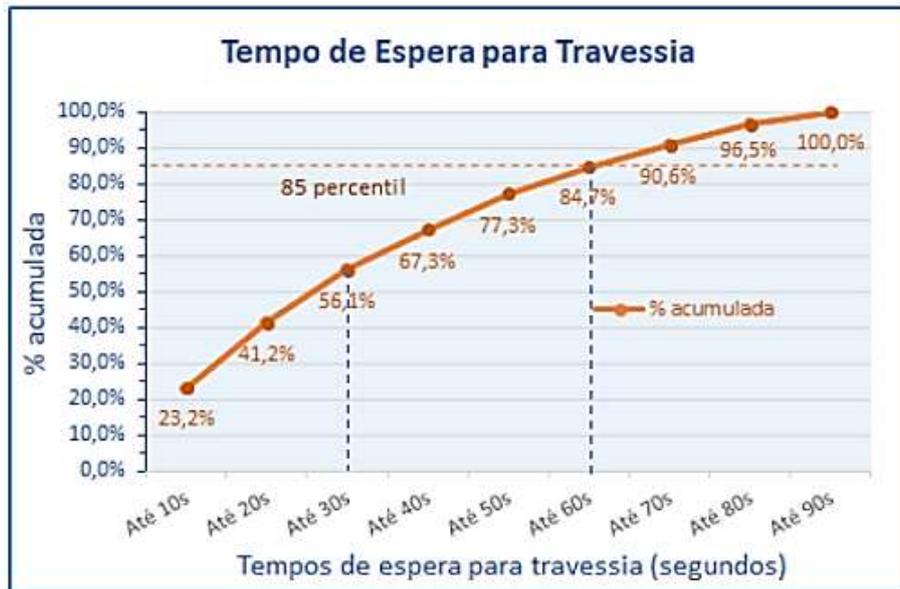


Figura 9 - Frequência acumulada dos tempos de espera para realização da travessia

Fonte: Elaborado por Denise L. Lopes

A terceira análise visou observar a opinião do pedestre, associada ao seu comportamento (obediência ao sinal verde). Verificou-se que, no geral, quase 70% dos entrevistados consideraram o tempo de espera longo e 47% consideraram o tempo de travessia insuficiente. Considerando-se apenas os pedestres entrevistados que iniciaram a travessia no vermelho intermitente, cerca de 56% dos entrevistados responderam que o tempo de travessia teria lhes parecido insuficiente.

Numa última análise, foram avaliados os relatórios do sistema STC UTC, usando uma amostra de 16.061 ciclos, dos quais 7.403 (46,1%) indicou a ocorrência do estágio de pedestres. A Figura 10, abaixo, mostra a distribuição acumulada do tempo de vermelho intermitente dado pelo sistema.



Figura 10 - Distribuição acumulada dos tempos de vermelho intermitente (em segundos)

Fonte: Elaborado por Denise L. Lopes

Observa-se que:

- A média é de cerca de 6 segundos (tempo mínimo programado). Isso significa que em 50% dos ciclos, o tempo de 6 segundos de vermelho intermitente foi suficiente para a travessia.
- O valor 85 percentil é de menos de 11 segundos (85% dos pedestres realizaram a travessia em menos de 11 segundos).
- Em 76,9% dos ciclos, a duração do intervalo de vermelho intermitente foi inferior a 10 segundos. Isso que significa que, se o tempo de vermelho intermitente fosse fixo em 10 segundos, conforme programação antes do teste, em quase 77% dos ciclos haveria desperdício de tempo (com os veículos ficando parados desnecessariamente, pois não havia mais pedestres na travessia).
- Em 17,1% dos ciclos, a duração do intervalo de vermelho intermitente foi superior a 10 segundos. Isso significa que o tempo fixo de 10 segundos da programação anterior teria sido insuficiente em 17% dos ciclos.

Verifica-se que a travessia inteligente reduziu o tempo de travessia dos pedestres quando este não era mais necessário e aumentou o tempo quando foi necessário. O tempo fixo de vermelho intermitente de 10 segundos do sistema anterior foi calculado em função de uma velocidade representativa dos pedestres, de forma que sempre haverá pedestres que necessitem menos de 10 segundos, assim como pedestres que necessitem de mais tempo.

Finalmente, ainda com base nos relatórios do sistema STC UTC, foi analisada a questão de cancelamento de demanda, situação que ocorre quando o pedestre aciona a botoeira para atravessar, mas realiza a travessia antes da abertura do sinal verde, aproveitando-se de brechas no fluxo veicular. Os sensores de calçada identificam que não há mais pessoas aguardando para travessar e a demanda armazenada no controlador semafórico é cancelada, de forma que não ocorre o estágio de pedestres nesse ciclo, evitando-se, assim, o desperdício de tempo.

No período de teste, houve apenas 4 eventos de cancelamento de demanda. Essa baixa ocorrência de cancelamentos de demanda no teste pode ter sido motivada por duas razões: (1) durante boa parte do dia, a demanda estava forçada (ocorrendo o estágio de pedestres independentemente do acionamento da botoeira e tornando o cancelamento de demanda impossível); (2) as áreas de espera de pedestres na calçada, sensoriadas pelo sistema, são adjacentes a bares, com mesinhas nas calçadas e com a presença de pessoas e garçons circulando nessas áreas, fazendo com que o sistema identifique presença na área de espera, mesmo quando efetivamente não há pedestres aguardando para realizar a travessia. Assim, neste quesito, a função de cancelamento de demanda pode ter sido prejudicada no teste.

CONCLUSÕES

A despeito da percepção dos pedestres, o teste indicou que o sistema produz resultados positivos, reduzindo o tempo de vermelho intermitente quando não há mais pedestres na travessia e aumentando esse tempo quando ainda há pedestres que não a concluíram.

Outro benefício para os pedestres é identificado pelos estágios que receberam o incremento máximo, especialmente próximo do horário do almoço, permitindo que maior número de pedestres realizasse a travessia com conforto e segurança.

Além disso, os estágios mais curtos resultaram em menor atraso para os veículos, embora não se tenha estimado numericamente o ganho.

Em termos de cancelamento de demanda, houve um número extremamente baixo de ocorrências e estas foram identificadas poucos minutos antes do início da imposição de demanda forçada. Verificou-se também por meio da pesquisa de observação que pelo menos um pedestre acionou a botoeira em cada ciclo.

Alguns requisitos do sistema podem ser limitadores para a sua implantação, como a existência de um único fabricante de controlador que permita tal recurso no momento, a eventual necessidade de adequação da área de espera (já que os pedestres devem aguardar dentro dela) e a adequação do local para evitar que os pedestres atravessem fora da faixa (deixando então de ser detectados).

Verificou-se que em cerca de 77% dos ciclos em que ocorreu estágio de pedestres, a duração do vermelho intermitente foi inferior a 10 segundos (indicando que em 77% das ocorrências a velocidade real do pedestre na travessia foi maior do que a considerada pela programação semafórica antes do PUFFIN).

Em cerca de 17% dos ciclos em que ocorreu estágio de pedestres, a duração do vermelho intermitente foi superior a 10 segundos, indicando que nessas ocorrências, o pedestre mais lento foi beneficiado com maior conforto e segurança. Ressalta-se, porém, que a porcentagem desses ciclos poderia ter sido ainda menor, se não tivesse havido pedestres que iniciaram a travessia no vermelho intermitente.

A duração do vermelho intermitente foi de exatamente 10 segundos em cerca de 6% dos ciclos em que ocorreu o estágio de pedestres.

Conclui-se que o sistema otimizou o tempo de vermelho intermitente, oferecendo mais tempo de travessia quando necessário e suprimindo o prolongamento desnecessário quando não havia mais pedestres na travessia, reduzindo atrasos para os veículos.

Ressalta-se, por fim, que pelo fato de o teste ter sido realizado em um único local, os resultados positivos não podem ser generalizados. Para verificar a consistência desses resultados seria necessária a realização de testes em outras regiões da cidade, de forma a aferir o desempenho do sistema em locais com diferentes características.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO. Pesquisa Travessia de Pedestres - Testes PUFFIN. São Paulo, 2018.

DAVEY, Judith. Enter the PUFFIN: a new pedestrian crossing. On research, 2018. Disponível em: <https://acnzonresearch.wordpress.com/2018/08/23/enter-the-puffin-a-new-pedestrian-crossing/>. Acesso em 15 mai 2019.

PUFFIN Crossings: Good Practice Guide – Release 1. SWOV, 2016. Disponível em: <https://swov.nl/nl/publicatie/puffin-crossings-good-practice-guide-release-1-0>. Acesso em 21 out 2018.

PUFFIN Crossings. Traffic Choices, 2014. Disponível em: <https://www.trafficchoices.co.uk/traffic-schemes/puffin-crossing.shtml>. Acesso em: 21 out 2018.