

Filtragem colaborativa de rotas de ônibus usando dados sobre a acessibilidade das vias urbanas

Marlon Fernandes Antonio, Filipe Roseiro Côgo, Igor Steinmacher, Ana Paula Chaves
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR
Via Rosalina Maria dos Santos, 1233
Campo Mourão, Paraná
marlonfa@gmail.com, {filiper, igorfs, anachaves}@utfpr.edu.br

ABSTRACT

Big cities still facing serious problems related to urban traffic. This fact highlights the need for new solutions aiming to improve the efficiency of the public transportation systems. Based on this, researchers have been developing systems to improve the experience of using public transportation. However, there is still an unexplored gap related to the use of these systems by visually impaired people. The goal of this study is presenting a technological solution that relies on data obtained from the crowds to recommend routes according to the bus stop accessibility level to support visually impaired users to use public transportation system with autonomy and safety.

Categories and Subject Descriptors

H.5.3 [Information Interfaces and Presentation]:
Computer-supported cooperative work

General Terms

Human Factors

Keywords

accessibility, public transportation, bus route recommendation, crowdsourcing

1. INTRODUÇÃO

As grandes cidades possuem diversos problemas relacionados ao trânsito urbano [16], tais como engarrafamentos, falta de infraestrutura e má qualidade dos serviços prestados pelo transporte público, os quais impactam a mobilidade das pessoas no cenário urbano. Estimular o uso do transporte público é uma possível solução para dar suporte à mobilidade urbana, pois reduz a quantidade de veículos nas vias públicas [5] e possibilita que o trânsito cumpra sua função social, relacionada ao atendimento às demandas de acessibilidade, mobilidade e qualidade de vida da população urbana

[2]. Entretanto, existem diversos problemas relacionados ao uso dos transportes públicos que, muitas vezes, fazem com que as pessoas optem por usar veículos particulares. Muitos desses problemas são relacionados à falta de infraestrutura e de informações atualizadas sobre o serviço prestado (horários, atrasos, linhas e veículos disponíveis, entre outros [4]).

Em particular, pessoas com deficiência visual, mais especificamente pessoas cegas, enfrentam desafios ainda maiores para se deslocar utilizando o transporte público, pois possuem necessidades específicas que muitas vezes não são suficientemente apoiadas pelas facilidades de acesso oferecidas pelo serviço público de transporte. Problemas como a falta de infraestrutura adequada, de identificação dos ônibus, de identificação correta das paradas de ônibus, de sinais sonoros, dentre outros, refletem a falta de acessibilidade ao uso do transporte público. Acrescenta-se a isso as más condições de acessibilidade nos locais próximos às paradas de ônibus. Em pesquisas realizadas por Monteiro [13] e Fornaziero [6] fica claro que pessoas com deficiência visual apresentam grande dificuldade em chegar ao ponto de ônibus desejado, seja por falta de informação a respeito da localização do ponto, pelos diversos obstáculos presentes nas calçadas (lixeiras, buracos, telefones públicos, etc) ou pela maneira de identificar o ônibus pelo qual estão esperando, sem que haja alguma pessoa disposta a avisá-los. Por esta razão, torna-se mais difícil o uso do sistema público de transporte por esse grupo de usuários [2]. Além disso, de acordo com Hara et al. [8], pessoas com deficiência visual dependem de planejamento e de conhecimento prévio sobre as condições de acessibilidade de cada local, podendo, dessa forma, eleger o seu trajeto de acordo com as suas capacidades físicas e/ou cognitivas.

Informações sobre quais facilidades de acesso existem em locais próximos à parada de ônibus (por exemplo, sinais sonoros, calçadas ou mapas táteis) nem sempre estão disponíveis para quem delas necessitam. Quando a informação existe, nem sempre está atualizada. Por exemplo, algumas empresas permissionárias disponibilizam informações a respeito da acessibilidade em seus próprios sites, como é o caso da empresa URBS (Urbanização de Curitiba S/A)¹, em Curitiba. Porém, podem haver determinadas paradas em que as facilidades oferecidas estejam danificadas, inoperantes ou ausentes, por diferentes razões. Ou ainda, as informações podem não ser precisas para dizer, exatamente, para qual parada de ônibus cada facilidade está disponível e, em muitas situações, instrumentar os veículos e as paradas de ônibus com sensores não é uma alternativa de baixo custo.

Com o intuito de compreendermos as principais dificulda-

¹<http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/acessibilidade>

des enfrentadas por esse grupo de usuários, foram coletados alguns *feedbacks* de pessoas com deficiência visual a respeito da sua experiência com o uso de transportes públicos. Os resultados, que serão brevemente discutidos na Seção 3, mostraram a necessidade de conhecer previamente o trajeto que irá seguir antes de dirigir-se às paradas de ônibus. Além disso, os *feedbacks* mostram a dependência que o deficiente visual tem de outras pessoas para poder utilizar o serviço de transporte com segurança. Perguntar a terceiros é uma maneira bastante comum de adquirir informação sobre as condições de acessibilidade dos locais pelos quais planeja-se passar. Sendo assim, considera-se o uso de *crowdsourcing* como uma forma viável de se obter dados a respeito da disponibilidade, das condições de uso e das facilidades de acesso de um local. De acordo com Howe [10], *crowdsourcing* é um modelo de produção de informação colaborativo, baseado na inteligência coletiva, que consiste em delegar pequenas tarefas para uma grande quantidade de pessoas. Os resultados dessas pequenas tarefas podem, então, ser combinadas de maneira a produzir informação e novos conhecimentos.

Este artigo tem como objetivo apresentar um algoritmo de filtragem colaborativa que se utiliza da inteligência coletiva para recomendar rotas de ônibus mais apropriadas para deficientes visuais, baseado na identificação do nível de acessibilidade de determinadas locais próximos a paradas de ônibus. Para lidar com as informações obtidas, um algoritmo clássico de filtragem colaborativa foi adaptado. A filtragem colaborativa [17] utiliza os perfis, as preferências e as avaliações anteriores de um grupo de usuários a fim de prever a recomendação para um usuário específico. No contexto do recomendador de rota de ônibus, tais preferências e avaliações são as informações sobre o nível de acessibilidade de acordo com as particularidades da deficiência de cada indivíduo, obtidas por meio de *crowdsourcing*.

Com a utilização do sistema de recomendação de rotas de ônibus, o usuário com deficiência visual será capaz de planejar sua rota utilizando o transporte público, observando a acessibilidade das paradas e dos locais próximos às paradas. A principal contribuição deste trabalho é demonstrar como a utilização de um algoritmo de recomendação baseado na filtragem colaborativa de informações sobre os níveis de acessibilidade das vias urbanas pode auxiliar deficientes visuais a julgar se uma determinada rota de ônibus é adequada às suas limitações.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma. Na Seção 2, são apresentados trabalhos relacionados que serviram como base para a concepção desta pesquisa. Na Seção 3 são apresentados alguns dados relacionados ao *feedback* dos deficientes visuais a respeito de suas experiências no uso do transporte público coletivo. Na Seção 4, é descrito o contexto em que o recomendador de rotas de ônibus está inserido e suas interfaces. A Seção 4.2 apresenta as principais características do recomendador e um cenário de aplicação. Por fim, a Seção 6 faz algumas discussões a respeito da pesquisa e dos trabalhos futuros.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Há trabalhos que enfatizam a importância dos pontos de paradas de ônibus terem acessibilidade para as pessoas com deficiência, como em Norgate [14] e Soltania et al. [18], que argumentam sobre a necessidade de uma melhor infraestrutura no ambiente urbano para auxiliar pedestres com deficiência. Segundo os autores, itens como informações audi-

tivas e táteis, calçadas antiderrapantes e com rebaixamento nas extremidades tornam o ambiente mais seguro para esses usuários.

Hara et al. [8] desenvolveram um trabalho que avalia a factibilidade de se explorar dados de *crowdsourcing* para identificar as condições de acessibilidade das calçadas utilizando imagens do *Google Street View*. Neste estudo, os usuários podem localizar e avaliar os problemas das calçadas de maneira colaborativa. Posteriormente, Hara et al. [7] atualizaram esse estudo apresentando um sistema capaz de reconhecer as paradas dos pontos de ônibus para auxiliar usuários com deficiência visual. Com esse sistema, ele pode informar aos usuários com deficiência visual quais obstáculos poderiam estar presentes nos pontos de paradas de ônibus, a fim de alertar esses usuários das problemáticas que poderiam enfrentar. Ambos os trabalhos indicam que o uso de dados *crowdsourcing* podem contribuir para identificar problemas relacionados a calçadas e sua acessibilidade, o que também motivou o uso dessa técnica nesta pesquisa.

Azenkot et al. [3] mostram a viabilidade do uso de *crowdsourcing* para obter informações sobre horários e locais das paradas de ônibus e apresentam um sistema móvel chamado *GoBraille*. Esse sistema atua por meio de anotação Braille, permitindo usuários com deficiência visual obterem informações referente aos horários de chegada e os locais de paradas dos ônibus, com dados obtidos por meio de *crowdsourcing*. Em Prasain [15], foi apresentado um refinamento do sistema *GoBraille*, o qual descarta o uso de um anotador Braille, utilizando somente recursos do próprio dispositivo móvel. Em Ferris et al. [5] é apresentado um aplicativo chamado *OneBusAway*, o qual utiliza informações em tempo real para notificar os usuários sobre o horário de partida e chegada dos ônibus, facilitando a escolha sobre qual ônibus pegar, baseado no tempo de chegada. As informações geradas pelo aplicativo *OneBusAway* são obtidas de forma colaborativa, ou seja, os usuários que estão dentro dos ônibus utilizam o aplicativo informando-o sobre os horários de partida e chegada de cada parada da rota desse ônibus.

Na literatura existem também algumas pesquisas relacionadas ao uso de dados *crowdsourcing* para auxiliar as pessoas em diversas tarefas relacionadas a mobilidade e transporte público, como no trabalho desenvolvido por Kashif et al. [11] no qual apresentam um aplicativo móvel chamado *CrowdITS*. Este aplicativo objetiva auxiliar usuários e motoristas de transporte público a fornecerem e obterem informações a respeito de congestionamentos e, assim, poder reencaminhar o trajeto para possíveis caminhos livres. Todos os dados que a aplicação *CrowdITS* utiliza provém dos próprios usuários e são gerados de maneira colaborativa. Kashif et al. defendem o uso de *crowdsourcing*, pois por meio desta solução é possível obter informações sobre os problemas de trânsito em tempo real e assim poder notificar os usuários sobre ocorrências que possam influenciar em sua interação com o sistema público de transporte. Considerando os objetivos deste trabalho, as informações atualizadas sobre o nível de acessibilidade dos pontos das paradas de ônibus podem ser utilizadas para auxiliar deficientes visuais a tomar decisões sobre o trajeto a seguir, tornando-se é um fator motivador para utilizar dados *crowdsourcing*.

Em Ludwig et al. [12], foi desenvolvido um aplicativo móvel chamado *Rose*, que recomenda rotas a partir de um ponto de interesse do usuário. Por exemplo, se o usuário digita “comer pizza” o recomendador retorna uma lista de

sugestões contendo os restaurantes que vendem pizza. O usuário escolhe qual restaurante ele deseja ir, o recomendador calcula a rota a partir do local atual do usuário até o restaurante, considerando qual o transporte público mais próximo do usuário para levá-lo ao seu ponto de destino. Essa recomendação exibe ao usuário o horário de partida dos ônibus, assim o usuário saberá se haverá tempo de chegar à parada a tempo de tomar o ônibus ou não. Caso o usuário perca o ônibus, o aplicativo faz uma busca de outro mais próximo ou recomenda ao usuário esperar outro ônibus ou, até mesmo, se deslocar a pé até o seu destino de interesse.

Holone et al. [9] propuseram o *OurWay*, um sistema de recomendação de rotas que visa auxiliar pedestres que utilizam cadeiras de rodas ou pais que caminham com carrinhos de bebê a transitarem no ambiente urbano. O sistema *OurWay* foi disponibilizado em versão móvel para que as pessoas, de forma colaborativa, possam relatar os lugares que apresentam problemas nas calçadas, como obstáculos e falta de acessibilidade. Assim o usuário, antes de traçar uma rota pode identificar os lugares que tenham esses problemas e então ter a chance de evitá-los. Holone conclui seu trabalho afirmando que, mesmo havendo poucos relatos referentes aos lugares com problemas, seu sistema foi capaz de gerar rotas eficazes aos usuários.

Embora as pesquisas citadas sejam de grande importância no que diz respeito à sistemas de informação que dão suporte ao uso do sistema de transporte público e mostrem a importância da acessibilidade para pessoas com deficiência visual, elas não investigam soluções específicas para recomendação de rotas de ônibus para esses usuários levando em consideração o nível de acessibilidade dos pontos de parada dos ônibus. Dessa forma, na próxima seção discutiremos os resultados do *feedback* obtido a partir de um questionário aplicado a 27 usuários do transporte público com deficiência visual.

3. QUESTIONÁRIO SOBRE ACESSIBILIDADE E USO DO TRANSPORTE PÚBLICO

A fim de compreender as principais necessidades relacionadas ao uso do transporte público por pessoas com deficiência visual, no período de Fevereiro a Maio de 2014 foram coletados *feedback* de 27 deficientes visuais que utilizam transporte público coletivo por meio de um questionário elaborado. O questionário foi submetido a e-mails de grupos de usuários com deficiência visual. Os participantes foram convidados a responder algumas questões a respeito de sua experiência no uso de transportes públicos e, a partir das respostas obtidas e do conhecimento identificado na literatura, foram estabelecidas as principais características para o recomendador de rotas de ônibus. Nesta seção apresentamos resultados preliminares relacionados à análise das respostas recebidas, objetivando levantar os principais requisitos para implementação do sistema de recomendação de rotas de ônibus para deficientes visuais.

A primeira característica importante a ser destacada diz respeito à interação com o recomendador. Dentre os participantes do questionário, todos utilizam leitores de tela como tecnologia assistiva e somente alguns utilizam display braille. Assim, o recomendador foi projetado de forma que a rota de ônibus pudesse ser lida por um software leitor de tela. Para

tanto, a rota será descrita de maneira textual na interface, de forma que as paradas de ônibus sejam identificadas, bem como outras informações importantes disponibilizadas aos usuários.

Quando arguidos sobre as principais dificuldades e desafios encontrados para se deslocar no ambiente urbano, os participantes relataram, principalmente, problemas relacionados a informações sobre o estado de conservação dos locais, a falta de sinal sonoro nos semáforos, as calçadas irregulares ou inexistentes, as obstruções nas vias e nas calçadas, a falta de piso tátil e a falta de informações sobre a localização e as linhas de ônibus. Dessa forma, conforme será apresentado na Seção 4, a arquitetura do sistema de recomendação de rotas de ônibus prevê o uso de um dicionário de palavras para identificar, a partir do conteúdo de mensagens sobre as condições de acessibilidade dos locais, potenciais problemas que afetem o deslocamento de pessoas com deficiência visual no ambiente urbano e, em particular, nos locais próximos às paradas de ônibus.

Outra questão é sobre o uso de tecnologia (aplicativo ou dispositivo eletrônico) para planejar o deslocamento urbano por parte dos deficientes visuais usuários do transporte público, a partir da qual foi possível perceber que a maioria dos participantes não fazem uso de tecnologias para essa tarefa. Dentre os participantes que faziam uso de tecnologia, pode-se perceber que o uso de GPS para se localizar é bastante comum e que, sempre que alguma informação sobre a acessibilidade de um local é necessária para planejamento do deslocamento urbano, essa informação é conseguida a partir de outros usuários que já tenham passado por esse local ou que estejam nele, conforme pode ser verificado pelas declarações seguintes.

“As únicas informações que me ajudam em minha caminhada são passadas por outros usuários que venham a me rodear conforme meu trajeto”;
“(…) pesquiso como chegar, onde buscar orientações, quando preciso de ônibus pesquiso pelas linhas que terei de usar, etc.”

Perguntou-se também sobre como as informações a respeito das condições de acessibilidade de um ponto na cidade são adquiridas e, novamente, foi indicado que as pessoas são as principais fontes de informação. Respostas tais como “(…) através de conversas com outras pessoas (…)” e “(…) por meio de terceiros que já tenham se locomovido pelo local (…)” são exemplos das respostas típicas sobre como a informação a respeito da acessibilidade é adquirida pelos participantes. Tais respostas reafirmam a importância de se considerar o uso de inteligência coletiva para indicar as facilidades de acesso em diferentes pontos da cidade.

Os participantes foram também questionados sobre suas percepções a respeito da utilidade de um recomendador de rotas que considerasse as condições de acessibilidade nas vias públicas.

“Não sei bem se um dispositivo a mais seria interessante, mas sim um sistema online de consulta (…); “É importante para impedir por exemplo possíveis transtornos.”; “Caso eu pudesse visualizar o local com antecedência, para eu programar qual rota eu faria. Acharia bem válido isso, se fosse real, e não apenas na suposição.”

Dessas afirmações é possível perceber que, na consideração dos participantes, é interessante uma solução que permita planejar previamente a rota de ônibus, considerando as condições de acessibilidade de cada local que deverá ser visitado.

Assim, neste trabalho explora-se questões relacionadas à tarefa de auxiliar usuários com deficiência visual a planejarem seus deslocamentos urbanos usando o sistema público de transporte. Para endereçar tais questões, propõe-se um Recomendador de Rotas de Ônibus. Esse recomendador calcula rotas de ônibus passíveis de serem utilizadas por um usuário, considerando os níveis de acessibilidade das localidades próximas às paradas de ônibus. As informações necessárias às recomendações serão obtidas por meio de *crowdsourcing*, seja a partir da mineração dados de redes sociais (como o Twitter, por exemplo), como por meio de um aplicativo específico para publicação de mensagens sobre as facilidades de acesso presentes em cada local. Na seção seguinte, detalhamos o sistema de recomendação de rotas de ônibus.

4. RECOMENDADOR DE ROTAS DE ÔNIBUS

O recomendador de rotas de ônibus proposto neste artigo faz parte de um conjunto de recursos computacionais que estão sendo desenvolvidos paralelamente, com o objetivo de oferecer tecnologias assistivas a pessoas com deficiência visual. Tais tecnologias são inter-relacionadas, pois há dependência entre os dados gerados por cada uma delas. No caso do recomendador de rotas de ônibus, é essencial que as mensagens obtidas por *crowdsourcing* sejam pré-processadas e classificadas para servir de entrada para o recomendador. Na subseção seguinte, apresentamos os principais componentes que interagem com o recomendador de rotas de ônibus proposto.

4.1 Contexto para o recomendador

A Figura 1 mostra os elementos externos ao recomendador que geram dados necessários ao seu funcionamento. Sumariamente, as etapas funcionais necessárias à tarefa de recomendação são as seguintes:

1. Usuários de transporte público coletivo, sejam eles deficientes visuais ou não, ao constatar a existência (ou ausência) de facilidades de acesso nos locais próximos às ou nas próprias paradas de ônibus, registram essas informações, seja em uma aplicação específica para esse fim, seja em redes sociais de que o usuário participa, por exemplo, o Twitter.
2. Um minerador é responsável por coletar essas mensagens, extrair os dados relativos às facilidades de acesso usando um dicionário de palavras e classificá-los de acordo com a localização e o nível de acessibilidade do ponto;
3. A partir da classificação, o minerador deve gerar um modelo baseado em regras com o seguinte formato: <Usuário, Latitude, Longitude, Nível de Acessibilidade>, onde Usuário é quem classificou o nível de acessibilidade do ponto em questão, Latitude e Longitude definem a localização para o qual o registro foi feito e Nível de Acessibilidade define um valor numérico entre

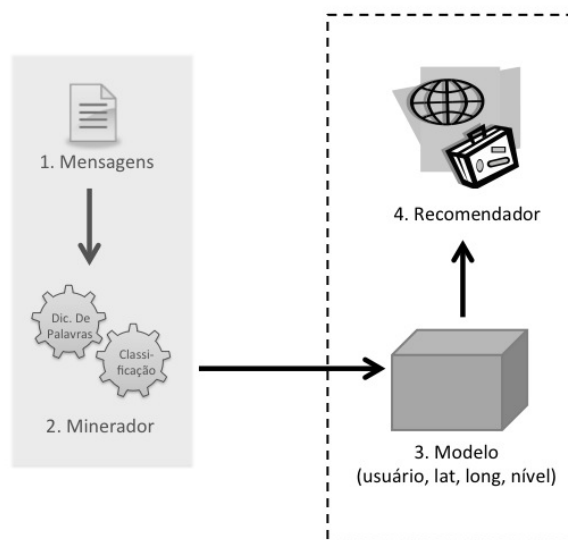


Figura 1: Fluxo de execução do sistema para recomendação de rotas

0 e 3, em que 0 indica que nenhum item de acessibilidade está disponível naquele ponto e 3 indica que todos os itens de acessibilidade mapeados pelo dicionário de palavras estão disponíveis. Para os pontos em que o nível de acessibilidade é desconhecido ou não informado, é atribuído o valor padrão NULL. O modelo então, gerado pelo minerador servirá como entrada para o recomendador de rotas de ônibus;

4. Quando um usuário deseja consultar uma rota, ele informará a origem e o destino do seu trajeto, utilizando interface própria. O recomendador oferecerá sugestões de trajetos, tomando como base o nível de acessibilidade registrado por usuários com perfil similar ao seu, baseado no conceito de filtragem colaborativa.

É importante notar que o foco deste artigo é apresentar o recomendador de rotas de ônibus e que, portanto, o algoritmo utilizado pelo minerador para processar textualmente as mensagens e calcular o nível de acessibilidade de cada ponto está fora do escopo da nossa discussão. Como a arquitetura do sistema é modular, o recomendador de rotas é capaz de trabalhar com qualquer minerador, desde que este gere como saída o modelo esperado. As mensagens sobre os níveis de acessibilidade são descritas por uma interface que permite um usuário relacionar uma mensagem sobre a acessibilidade de um dado ponto de latitude e longitude.

Sendo assim, para este artigo, assume-se que os níveis de acessibilidade representam com algum grau de confiabilidade, a opinião dos usuários a respeito da acessibilidade dos pontos de parada de ônibus. A seguir, definiremos formalmente o algoritmo utilizado para o recomendador de rotas, mostrando como a utilidade de uma rota pode ser calculada para um usuário, considerando os níveis de acessibilidade dos pontos da via urbana anotados de maneira colaborativa.

4.2 Recomendador de Rotas de Ônibus

Em sua formulação mais comum, o problema de recomendação é reduzido ao problema de se estimar a importância

de itens que não sejam conhecidos pelo usuário [17]. No caso da recomendação de rotas de ônibus para usuários com deficiência visual, não se trata de estimar a importância de itens que não sejam conhecidos pelo usuário, mas sim de estimar a importância de itens (rotas de ônibus) que maximizem a utilidade (acessibilidade, autonomia e segurança) para o usuário. Seja C o conjunto de todos os usuários e S o conjunto de rotas possíveis de serem recomendadas². Seja r uma função que denota a utilidade de uma rota s para um usuário c , i.e., $r : C \times S \rightarrow \mathbb{R}^*$, onde \mathbb{R}^* é um conjunto ordenado de números reais não negativos. Assim, para cada usuário $c \in C$, deseja-se escolher rotas s' que maximizem a utilidade para o usuário, baseado no nível de acessibilidade registrado por usuários com perfis similares.

Para o recomendador de rotas, a utilidade de uma rota é dada pelos níveis de acessibilidade dos locais próximos às paradas de ônibus pertencentes à rota. Portanto, a função r depende de se determinar uma forma de combinar os valores de níveis de acessibilidade anotados por todos os usuários e um limiar de distância dos pontos anotados até as paradas de ônibus. Para cada parada de ônibus, o nível de acessibilidade será estimado de acordo com a média dos níveis de acessibilidade dos locais (pontos de latitude e longitude) próximos Δ metros da parada, os quais foram anotados pelos usuários. Assim, gera-se uma matriz de níveis de acessibilidade, em que cada entrada será dada por $E = e_{c,s_j}$, calculada a partir dos níveis de acessibilidade anotados pelo usuário c e que interferem na parada de ônibus $s_j \in s$, sendo $s \subseteq \{s_j : s_j \in U_s\}$ e U_s o conjunto de paradas de ônibus da rota s . Se consideramos $w(c, p_{x,y})$ o nível de acessibilidade aferido pelo usuário c em um ponto de coordenadas (x,y) , a entrada e_{c,s_j} pode ser calculada por:

$$e_{c,s_j} = \frac{\sum_{(x,y) \in \Delta_j} w(c, p_{x,y})}{|(x,y) \in \Delta_j|}, \quad (1)$$

sendo s_j uma parada de ônibus na rota s sendo recomendada, de forma que a utilidade de uma rota s para um usuário c possa ser calculada por dada por:

$$r_{c,s} = \sum_{s_j \in U_s} r_{c,s_j}, \quad (2)$$

na qual Δ_j é o conjunto de coordenadas distante no máximo Δ metros da parada de ônibus s_j .

A formulação apresentada é semelhante às funções de agregação apresentadas na literatura como sendo valores típicos de utilidade de um item recomendado [1], no entanto se diferencia ao incorporar o índice relacionado às paradas de ônibus individuais de uma rota, cuja soma das utilidades resulta na utilidade de toda a rota. Outra questão relevante refere-se à necessidade de se considerar um limiar de distância para que determinada anotação sobre o nível de acessibilidade de um local se relacione a determinada parada de ônibus. Esse limiar é dado pela utilização explícita do valor de Δ_j no cálculo das entradas matriz de níveis de acessibilidade.

²Para efeito de recomendação, considera-se uma “rota” como um conjunto ordenado de, no mínimo duas paradas de ônibus (origem e destino), incluindo paradas de ônibus intermediárias nas quais o usuário deverá fazer baldeação para chegar ao local desejado

Cada elemento do espaço de usuário C é definido com um *perfil de usuário*, que inclui características relevantes para a recomendação (como, por exemplo, preferências de facilidades de acesso tais como rampas, sinais sonoros, pisos táteis, etc.). Sistemas de recomendação por filtragem colaborativa tentam prever a utilidade de rotas para um usuário particular baseado nas rotas que foram previamente avaliadas por outros usuários. Mais formalmente, a utilidade $r_{c,s}$ de uma rota s para um usuário c é estimada baseada nas utilidades $r_{c_j,s}$ da rota s determinadas pelos usuários $c_j \in C$, os quais sejam similares ao usuário c .

A utilidade r_{c,s_j} de uma parada de ônibus s_j na rota s para um usuário c pode ser computada como uma agregação dos níveis de acessibilidade das paradas da rota s pelos N usuários mais similares ao usuário c . Isso significa que uma rota s é composta por um conjunto de paradas de ônibus s_j , cada qual com um nível de acessibilidade determinado. Assim, a utilidade de uma parada de ônibus s_j para um usuário c é descrita por:

$$r_{c,s_j} = \text{agg} r_{c',s_j} = k \sum_{c' \in \tilde{C}} \text{sim}(c, c') \times r_{c',s_j}, \quad (3)$$

na qual \tilde{C} representa o conjunto de N usuários que são similares ao usuário c que tenham avaliado a acessibilidade das paradas s_j da rota $s \subseteq \{s_j : s_j \in U_s\}$ e k é um fator de normalização.

A distância de similaridade entre os usuários c e c' , $\text{sim}(c', c)$, é uma medida de distância essencial e é usada como um peso, i.e., quanto mais similar os usuários c e c' são, maior o peso para o fator $r_{c',s}$ da Equação 3. No caso do recomendador de rota de ônibus, o perfil de cada usuário $c \in C$ pode ser descrito como um vetor no qual, cada dimensão, representa o valor da dependência de uma determinada facilidade de acesso. Pode-se, então, utilizar um valor de distância vetorial como valor de $\text{sim}(c', c)$. Se considerarmos \vec{c} como o vetor representando os valores para a dependência de cada facilidade de acesso para o usuário c , podemos calcular a distância entre os perfis dos usuários c' e c usando o cosseno do ângulo entre esses vetores.

O recomendador considera as paradas de ônibus de origem, de destino e todos os pontos intermediários do percurso, desde que o usuário necessite realizar baldeação naquela parada. Sendo assim, se um usuário escolhe um trajeto que passa por cinco diferentes paradas de ônibus, porém não fará troca de ônibus durante o percurso, apenas os pontos de origem e destino serão considerados. Caso o usuário deseje, ele também poderá deliberadamente incluir paradas na rota. O fluxo de execução do recomendador é o seguinte:

- O usuário c , por meio da interface, insere os dados referentes ao ponto de origem e ao ponto de destino;
- A interface faz uma solicitação ao recomendador de rota de ônibus, enviando os parâmetros passados pelo usuário;
 - O recomendador de rotas armazena a matriz E de níveis de acessibilidade, cujas entradas e_{c,s_j} são calculadas a partir da Equação 1;
- O recomendador processa os parâmetros e calcula cada rota s , sendo uma rota uma lista de paradas de ônibus s_j calculadas a partir da Equação 3;

- Para cada rota s , o recomendador, calcula a ordem para serem apresentadas de acordo com a Equação 2;
- O recomendador gera uma resposta contendo informações sobre as rotas s e seus respectivos valores de r_c, s ;
- Uma interface gráfica assistiva recebe a resposta proveniente do recomendador e apresenta ao usuário.

A seguir, será demonstrado um cenário de aplicação para o recomendador, de maneira que seja possível perceber como a formalização apresentada pode ser utilizada em um cenário real de aplicação.

5. CENÁRIO DE APLICAÇÃO

Para validar a utilização do esquema de recomendação descrito, foi idealizado um cenário tomando como base dados reais de linhas de ônibus da cidade de Curitiba - PR. Os dados disponíveis dizem respeito às linhas de ônibus Expresso, que circulam em canaletas exclusivas, e às paradas dessas linhas, também conhecidos como “estações tubo”. É importante destacar que o recomendador de rotas de ônibus projetado poderia ser executado em qualquer outro cenário, desde que houvessem disponíveis os dados georreferenciados de linhas de ônibus do local e de paradas dessas linhas.

Supõe-se que usuários registraram informações de acessibilidade em vias públicas, seja em perfis de redes sociais ou em interface assistiva própria para esse fim. Supõe-se ainda que o módulo minerador, a partir dessas informações, produziu dados no formato <Usuário, Latitude, Longitude, Nível de Acessibilidade>, conforme esperado pelo recomendador. A Tabela 1 mostra um exemplo dos resultados trazidos pelo minerador. Esses dados servirão como base para a apresentação do cenário proposto.

Cada vez que o recomendador recebe novas entradas a partir do minerador (novas linhas para a Tabela 1), as paradas de ônibus afetadas pelos novos registros são identificadas. Com base nos valores referentes à latitude e longitude dos pontos, o recomendador identifica quais são as paradas de ônibus em um raio de Δ (em metros) do ponto. Para este cenário, utilizamos $\Delta = 500m$. Para os dados contidos na Tabela 1, tem-se que os pontos registrados pelos usuários influenciam no cálculo da acessibilidade de 3 estações tubo: as linhas de 1 à 4 da tabela, se referem aos pontos próximos da Estação Tubo UTFPR, as linhas de 5 à 8 se referem aos pontos próximos da Estação Tubo Jardim Botânico e as linhas de 9 à 12 se referem aos pontos próximos da Estação Tubo Sete de Setembro.

Tabela 1: Modelo baseado em regras gerado pelo minerador, mostrando exemplo de pontos anotados pelos usuários

Usuário	Latitude	Longitude	Nível Acess.
c_1	-25.438439	-49.268569	2
c_1	-25.439773	-49.267847	1
c_2	-25.439294	-49.267890	2
c_3	-25.439638	-49.267491	1
c_1	-25.438371	-49.238304	3
c_2	-25.438575	-49.237778	2
c_2	-25.439640	-49.238926	1
c_3	-25.437625	-49.237778	2
c_1	-25.439609	-49.271646	1
c_1	-25.440897	-49.271453	2
c_2	-25.440713	-49.270444	1
c_3	-25.438746	-49.272515	2

Os níveis de acessibilidade de cada parada de ônibus s_j , de acordo com a opinião de cada usuário c são determinados pela Equação 1. A Tabela 2 mostra a matriz de níveis de acessibilidade, para cada parada de ônibus avaliada pelos usuários.

Tabela 2: Níveis de acessibilidade de cada parada de ônibus s_j , determinados com base nos níveis de acessibilidade anotados por cada usuário.

Usuário	s_1	s_2	s_3	...
c_1	1,5	1,5	3,0	...
c_2	2,0	1,0	1,5	...
c_3	1,0	2,0	2,0	...
...				

A matriz de níveis de acessibilidade é, então, utilizada pelo recomendador, para calcular a utilidade de uma rota para um determinado usuário, permitindo a recomendação da melhor rota com base nos níveis de acessibilidade identificados por usuários com perfis similares.

Para exemplificar a recomendação, supõe-se que um usuário c_4 deseja deslocar-se utilizando o transporte público coletivo. Para esse exemplo, considere que o usuário c_4 sairá do seu ponto de origem “Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) de Curitiba”, para chegar ao ponto de destino “Jardim Botânico de Curitiba”. Para isso, o usuário c_4 acessa a interface apresentada na Figura 2. Essa interface foi desenvolvida baseada nos princípios estabelecidos pela WCAG³, para receber os dados de entrada para o recomendador. A partir dessa interface, o usuário pode inserir um ponto de origem e um ponto de destino.

Figura 2: Entrada de origem e destino no protótipo de interface

Assim que recebe os parâmetros de entrada (pontos de origem e destino), o recomendador localiza as três paradas de ônibus mais próximas da origem e as três paradas de ônibus mais próximas do destino, utilizando a API do Google Maps. Para o exemplo, de acordo com a API, as três estações tubo mais próximas da origem são Estação Tubo UTFPR (s_1 , na Tabela 2), Estação Tubo Alferes Poli/Catedral da Fé e Estação Tubo 7 de Setembro (s_2 , na Tabela 2). As estações tubo mais próximas do destino são Estação Tubo Jardim Botânico (s_3 , na Tabela 2), Estação Tubo Urbano Lopes e Estação Tubo Hospital Cajuru. Além do nome das estações, são recuperadas informações para cada estação tubo, tais como o tempo gasto a pé, em minutos, do ponto de origem ou de destino definido pelo usuário até a estação tubo e a

³O WCAG é um manual de recomendações que explica como deixar o conteúdo da Web mais acessível a pessoas com deficiência visual e pode ser encontrado em <http://www.w3.org/TR/WCAG20/>

distância (em quilômetros) do ponto de origem ou de destino até a estação tubo.

Em seguida, o recomendador traça rotas combinando as paradas próximas da origem com as paradas próximas do destino, totalizando 9 combinações de rotas, como mostra na Figura 3. O resultado das 9 combinações de rotas são geradas pela API do *Google Maps*, sendo a mesma responsável por oferecer também dados como distância, tempo do percurso e se há ou não pontos intermediários na rota. Para cada uma das rotas, calcula-se a utilidade para o usuário c_4 utilizando a Equações 2 e 3.

A Equação 3 é responsável por definir a similaridade de perfil usuário c_4 com os demais usuários. Para o exemplo, supõe-se que $sim(c_1, c_2) = 1,5$, $sim(c_2, c_2) = 1,0$, $sim(c_3, c_4) = 2,0$.

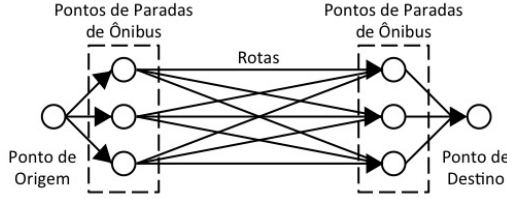


Figura 3: Combinação das 9 rotas possíveis quando não há paradas intermediárias entre a origem e o destino.

Em seguida, o recomendador utiliza a Equação 2, para determinar a utilidade $r_{c,s}$ de cada uma das rotas selecionadas. Por razão de simplicidade, será exemplificado apenas o cálculo de utilidade para o usuário c_4 de duas rotas, a saber: (i) Estação Tudo UTFPR (s_1) como origem e Estação Tudo Jardim Botânico (s_3) como destino; e (ii) Estação Tubo 7 de Setembro (s_2) como origem e Estação Tudo Jardim Botânico (s_3) como destino.

Para $c = c_4$ e $s = s_{1,3}$

$$r_{c,s_1} = k \times [(1,5 \times 1,5) + (1,0 \times 2,0) + (2,0 \times 1,0)]$$

$$r_{c,s_3} = k \times [(1,5 \times 3,0) + (1,0 \times 1,5) + (2,0 \times 2,0)]$$

$$r_{c_4,s_{1,3}} = r_{c,s_1} + r_{c,s_3}$$

e, para $c = c_4$ e $s = s_{2,3}$

$$r_{c,s_2} = k \times [(1,5 \times 1,5) + (1,0 \times 1,0) + (2,0 \times 2,0)]$$

$$r_{c,s_3} = k \times [(1,5 \times 3,0) + (1,0 \times 1,5) + (2,0 \times 2,0)]$$

$$r_{c_4,s_{2,2}} = r_{c,s_2} + r_{c,s_3}$$

Assim, cálculo da utilidade de uma rota s no recomendador é determinado pela soma das utilidades de cada parada de ônibus contida na rota, pertencentes ao conjunto U_s . Além disso, o recomendador considera um fator maior para usuários que possuem necessidades (perfis) semelhantes. Uma possível extensão do modelo é a inclusão do nível de acessibilidade dos próprios veículos que atendem às paradas de ônibus.

Depois de combinadas as estações para gerar as rotas, o resultado obtido é apresentado na Tabela 3. Nesta tabela, a primeira coluna refere-se à identificação da rota (R), seguida do nome da estação tubo de origem (ETO), a distância do trajeto (em quilômetros) do ponto de origem até estação

tubo de origem (D(Km)), o nome da estação tubo de destino (ETD), a distância do trajeto (em quilômetros) da estação tubo de destino até o ponto de destino (D(Km)), o tempo gasto de ônibus, em minutos, entre uma estação tubo até a outra (T(m)) e a utilidade da parada de ônibus s_j para o usuário c (r_{c,s_j}).

Tabela 3: Resultado das rotas

R	ETO	D(Km)	ETD	D(Km)	T(m)	r_{c,s_j}
1	7 de Setembro Rebouças	0,4	Jardim Botânico	0,7	18	1,725
2	UTFPR	0,1	Jardim Botânico	0,7	13	1,625

De acordo com a saída do recomendador, o trajeto com paradas de ônibus mais acessíveis seriam as Estações Tubo 7 de Setembro (origem) e Jardim Botânico (destino), dado pela utilidade da parada de ônibus (r_{c,s_j}). Como pode se observar pelos resultados da tabela, o trajeto recomendado não é, necessariamente, o mais rápido, porém, é o que oferece mais condições de acessibilidade, de acordo com seu perfil e com a opinião de outros usuários com perfis semelhantes. O resultado apresentado na Tabela 3 deverá ser, então, apresentado em uma interface assistiva, para que o mesmo julgue, com base nas informações disponíveis, se a rota sugerida é a que mais se adequa às suas necessidades naquele momento.

6. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou um algoritmo de filtragem colaborativa que se baseia em informações provenientes das massas sobre o nível de acessibilidade das paradas de ônibus. O objetivo do algoritmo é recomendar rotas de ônibus para pessoas com deficiência visual severa, baseando-se no perfil dos indivíduos e nas peculiaridades da sua deficiência. Um cenário de aplicação foi utilizado para mostrar o funcionamento do algoritmo de recomendação, que recebe como entrada um conjunto de pontos georeferenciados e os níveis de acessibilidade aferidos pelos usuários para, então, recomendar um conjunto de rotas para um usuário. Nesse algoritmo, a opinião de usuários com perfis similares são utilizadas para prever a recomendação de rotas de ônibus, no entanto, em trabalhos futuros deseja-se considerar no algoritmos outras questões que possam influenciar na recomendação, tais como a distância a ser percorrida e os níveis de acessibilidade dos veículos (ônibus) a serem utilizados na rota. Nas próximas etapas do desenvolvimento deste trabalho serão realizadas sessões de avaliação centrada no usuário para determinar a eficiência do algoritmo proposto.

O próximo desafio de pesquisa consiste na definição da interface assistiva para apresentação das recomendações. Como pode-se perceber pela Tabela 3, a quantidade de informações retornadas dificulta a tomada de decisão, já que o usuário com deficiência visual, usando, por exemplo, um leitor de tela, precisaria armazenar mentalmente todos os dados para compará-los e decidir sobre o melhor trajeto. Assim, é necessário estilos de interação adequados para a apresentação desses resultados, de forma que a pessoa com deficiência visual tenha, de fato, autonomia para decidir dentre os trajetos recomendados, o que mais se adequa às suas necessidades físicas e cognitivas.

A respeito do questionário com *feedbacks* sobre o uso de

transportes por deficientes visuais, um trabalho de pesquisa paralelo está concentrado em realizar uma análise qualitativa com o intuito de identificar os principais problemas apontados por deficientes visuais a respeito do serviço público de transporte. Os resultados dessa análise também serão discutidos com a comunidade em trabalhos futuros.

Com esta pesquisa, espera-se contribuir para a discussão sobre como um recomendador por filtragem colaborativa pode ser modelado de forma a auxiliar pessoas com deficiência visual a utilizarem o sistema público de transporte de maneira mais efetiva, segura e autônoma.

7. AGRADECIMENTOS

O autor Marlon Fernandes Antonio agradece à PRO-GRAD (Pró-Reitoria de Graduação e Educação Profissional) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pelo incentivo e apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

8. REFERÊNCIAS

- [1] G. Adomavicius and A. Tuzhilin. Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions. *IEEE Trans. on Knowl. and Data Eng.*, 17(6):734–749, June 2005.
- [2] M. Araujo, J. Oliveira, M. Jesus, M. Sá, P. Santos, and T. Lima. Transporte público coletivo: discutindo acessibilidade, mobilidade e qualidade de vida. *Psicologia & Sociedade*, 23(1):574–582, Dezembro 2011.
- [3] S. Azenot, S. Prasain, A. Borning, E. Fortuna, R. Ladner, and J. Wobbrock. Enhancing independence and safety for blind and deaf-blind public transit riders. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 3247–3256, May 2011.
- [4] A. P. Chaves, I. Steinmacher, and V. Vieira. Social networks and collective intelligence applied to public transportation systems: A survey. In *VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*, 2011.
- [5] B. Ferris, K. Watkins, and A. Borning. Location-aware tools for improving public transit usability. *IEEE Pervasive Computing*, 9(1):13–19, Jan.-March 2010.
- [6] Z. M. Fornaziero S. Estudo das dificuldades encontrados pelas pessoas com deficiência visual no uso do transporte coletivo. In *XIV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e X Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba*, 2012.
- [7] K. Hara, S. Azenkot, M. Campbell, C. L. Bennett, V. Le, S. Pannella, R. Moore, K. Minckler, R. H. Ng, and J. E. Froehlich. Improving public transit accessibility for blind riders by crowdsourcing bus stop landmark locations with google street view. In *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pages 16:1–16:8, October 2013.
- [8] K. Hara, V. Le, and J. Froehlich. A feasibility study of crowdsourcing and google street view to determine sidewalk accessibility. In *Proceedings of the 14th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pages 273–274. ACM, October 2012.
- [9] H. Holone, G. Misund, and H. Holmstedt. Users are doing it for themselves: Pedestrian navigation with user generated content. In *Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, 2007. NGMAST '07. The 2007 International Conference on*, pages 91–99, Sept 2007.
- [10] J. howe. The rise of crowdsourcing, wired, 2006.
- [11] D. A.-Y. Kashif Ali, T. J. Ali Ejaz, and H. S. Hassanein. Crowdits: Crowdsourcing in intelligent transportation systems. In *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pages 3307 – 3311, April 2012.
- [12] B. Ludwig, B. Zenker, and J. Schrader. Recommendation of personalized routes with public transport connections. In *Intelligent Interactive Assistance and Mobile Multimedia Computing*, volume 53, pages 97–107, 2009.
- [13] J. L. Monteiro. Os desafios dos cegos nos espaços sociais: um olhar sobre a acessibilidade. In *IX ANPED SUL 2012 - Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul*, 2012.
- [14] S. H. Norgate. Accessibility of urban spaces for visually impaired pedestrians. *Proceedings of the ICE - Municipal Engineer*, 165(4):231 –237, December 2012.
- [15] S. Prasain. Stopfinder: Improving the experience of blind public transit riders with crowdsourcing. In *The Proceedings of the 13th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pages 323–324, October 2011.
- [16] P. T. V. Resende and P. R. Sousa. Mobilidade urbana nas grandes cidades brasileiras: um estudo sobre os impactos do congestionamento. In *Simpósio de administração da produção, logística e operações internacionais, FGV*.
- [17] B. Sarwar, G. Karypis, J. Konstan, and J. Riedl. Item-based collaborative filtering recommendation algorithms. In *Proceedings of the 10th International Conference on World Wide Web, WWW'01*, pages 285–295, New York, NY, USA, 2001. ACM.
- [18] S. H. K. Soltania, M. Shamb, M. Awangb, and R. Yaman. Accessibility for disabled in public transportation terminal. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 35(0):89–96, December 2012.