

# **ÍNDICE PROPOSTO PARA COMPARAÇÃO DE ACESSIBILIDADE DOS MODOS DE TRANSPORTE PRIVADO E COLETIVO**

**Lílian dos Santos Fontes Pereira Bracarense**

**Jéssica Oliveira Nunes Ferreira**

Universidade Federal do Tocantins

## **RESUMO**

Visando uma melhoria qualitativa e/ou quantitativa dos serviços de transportes ofertados e de sua infraestrutura base, observa-se a necessidade de oferecer instrumentos que avaliem a acessibilidade, de forma a diagnosticar o nível de atendimento aos usuários pelos diferentes modos de transporte. O presente trabalho propõe a formulação de um índice que permita a comparação da acessibilidade dos modos de transporte privado e coletivo. A proposta é resultado de amplo estudo bibliográfico, buscando-se analisar características, limitações e aplicabilidade de índices desenvolvidos em estudos anteriores. O índice formulado reúne variáveis que permitem sua aplicação tanto ao modo privado como coletivo, traduzindo em termos de tempo de viagem diferentes variáveis que caracterizam cada modo.

## **ABSTRACT**

Aiming a qualitative and / or quantitative improvement of transport services offered and its base infrastructure, it shows the need to provide tools to evaluate accessibility in order to diagnose the level of service to users by different modes of transport. This paper proposes to formulate an index allowing comparison of the accessibility of private and collective transport modes. The proposal is the result of extensive literature research, seeking to analyze characteristics, limitations and applicability of indices developed in previous studies. The index formulated gathers variables that allow its application to both the private and collective mode, translating in terms of travel time, different variables that characterize each mode.

## **1. INTRODUÇÃO**

A acessibilidade e a mobilidade urbana foram, e ainda são, temas bastante discutidos no âmbito mundial dado a importância da convivência urbana de qualidade no presente e no futuro, oferecida a todos os habitantes, com a distribuição equitativa dos recursos ambientais e socioeconômicos de que se prega a sustentabilidade. Ou seja, é uma questão de cidadania relacionada ao direito de ir e vir, seja no aspecto físico, econômico, social e/ou ambiental.

Diversos autores trazem a conceituação do termo acessibilidade – Ingram (1971), Morris et al. (1979), Jones (1981), Sales Filho (1996), Raia Jr. (2000), Aguiar (2010).

Em resumo, o conceito de acessibilidade que será tratado neste trabalho está relacionado ao acesso aos lugares (atividades ou destinos desejados) a qual depende da mobilidade (ou deslocamento) dos indivíduos para este fim, seja por meio de modos motorizados e/ou não motorizados de cuja escolha depende, por sua vez, das características físicas de cada indivíduo, das condições financeiras, as condições temporais (rapidez), e da distribuição espacial das atividades a qual influencia na distância, tempo e/ou custo monetário gasto pelo deslocamento.

O nível de acessibilidade é menor à medida que se aumenta a distância-custo (custo de viagem em termos de tempo, distância ou custo monetário) de deslocamento entre dois pontos; assim, se as condições de mobilidade nesse percurso forem favoráveis, ou seja, o esforço de deslocamento for menos oneroso, aumenta-se a acessibilidade (RAIA JR., 2000).

Para Vasconcellos (1999), os indicadores da acessibilidade são a medida mais direta dos efeitos de um sistema de transportes, por isso são de extrema importância para o planejamento de transportes, bem como para as políticas que visam o acesso igualitário ou equitativo às oportunidades pelos diferentes grupos de pessoas que utilizam os serviços de transportes.

Atualmente, para o planejamento urbano e de transportes uma das maiores preocupações é a melhoria da acessibilidade e mobilidade urbana, seja no âmbito mundial ou nacional. A Lei da Mobilidade Urbana determina a integração dos diferentes modos de transporte e a melhoria da acessibilidade e mobilidade dos indivíduos e cargas nos municípios, objetivo da PNMU, por meio do planejamento e da gestão dos sistemas de mobilidade urbana pelos órgãos competentes incumbidos de “planejar e coordenar os diferentes modos e serviços” e “avaliar e fiscalizar os serviços e monitorar desempenhos, garantindo a consecução das metas de universalização e de qualidade” (BRASIL, 2012, art.22). Para que tais políticas sejam implementadas nos municípios, é necessário o fomento de mais pesquisas sobre o assunto e de preferência que estudos se dirijam nas próprias cidades para que os problemas sejam representados mais próximos da realidade local e, portanto, evitar gastos com ações “copiadas” de outros municípios possíveis de serem frustradas, ou seja, desperdício de verbas.

Sob esse ponto de vista, observa-se a necessidade de oferecer instrumentos que avaliem a acessibilidade, de forma a diagnosticar o nível de atendimento aos usuários pelos diferentes modos de transporte e avaliar a necessidade de melhorias e investimentos em transporte em cidades de médio e grande porte.

Nesse sentido, o presente trabalho propõe a formulação de um índice que permita a comparação da acessibilidade dos modos de transporte individual por veículos particulares (carros, motocicletas, caminhonetes e caminhonetes) e transporte coletivo regular (ônibus e micro-ônibus), em relação a uma mesma distância-custo (custo de viagem), a qual representará a acessibilidade aos destinos-chave do centro da cidade a serem considerados.

Para permitir a comparação da acessibilidade dos diferentes modos de transporte, o índice precisa se basear nos mesmos critérios objetivos, sendo preservadas as especificidades de cada modo, e relevância desses critérios para o usuário. O índice proposto é resultado de amplo estudo bibliográfico, buscando-se analisar características, limitações e aplicabilidade aos modos motorizados de índices desenvolvidos por outros autores.

## **2. ACESSIBILIDADE NO ÂMBITO DE TRANSPORTES**

Atualmente o termo *acessibilidade* é bastante usado, no âmbito de planejamento urbano e de planejamento dos transportes. Em geral, todos os trabalhos pesquisados na literatura a respeito desse tema, nesta área, objetivam medir a facilidade de acesso a destinos ou aos serviços de transportes. Portanto, pode-se “dividir”, para uma melhor compreensão do assunto, o conceito de acessibilidade no âmbito dos transportes em dois focos: *acessibilidade a destinos* e *acessibilidade ao sistema de transporte*.

Esta divisão é sugerida e/ou subentendida em vários estudos pesquisados, a citar os trabalhos dos autores: Vickerman (1974), Jones (1981), Januário (1995), Pires (2000), Litman (2008 apud GUIMARÃES RODRIGUES, 2011), Oralu (2005 apud DIAS, 2008) e Lemos (2008). Apesar da distinção da acessibilidade nesses dois conceitos, eles se complementam.

Para Vickerman (1974) a acessibilidade está associada aos elementos geográficos, tais como a localização das atividades (ou destinos desejados) e ao desenho da rede de transporte, por isso não é fácil definí-la. Trabalho, educação, saúde, lazer e moradia são exemplos de atividades

distribuídas no espaço urbano as quais são associadas à acessibilidade a destinos, enquanto o acesso físico aos pontos de parada e veículos, por exemplo, correspondem à acessibilidade aos equipamentos de transporte (FERRONATTO E MICHEL, 2007).

Para facilitar a compreensão do assunto, como propôs Lemos (2008), a acessibilidade será subdivida em dois conceitos que se complementam, a *acessibilidade a destinos* e a *acessibilidade ao sistema de transporte*, que serão tratados a seguir ( Tabelas 1 e 2).

**Tabela 1:** Principais definições de acessibilidade a destinos.

Característica	Definição	Referência
Facilidade de se chegar ao destino	Mede a facilidade de se alcançar um determinado lugar desejado, após o acesso a um sistema de transporte.	Vasconcellos (2002) Dias (2008)
Superação de um obstáculo medido em tempo, distância ou custo	Característica inerente de um lugar com respeito à superação de alguma forma de fricção, que se verifica espacialmente (por exemplo, tempo e/ou distância). Subdivide-se em dois tipos: <i>acessibilidade relativa</i> – referente ao grau de conexão entre dois lugares de uma área ou rede; e <i>acessibilidade integral (ou total)</i> – grau de interligação entre um lugar e todos os restantes da mesma área ou rede.	Ingram (1971)
	Maior ou menor facilidade de se alcançar com autonomia os destinos desejados (atividades, serviços e/ou bens de consumo), a qual pode ser medida em tempo, custo ou distância.	VTPI (2004 apud MELO, 2005) e o Ministério das Cidades (2006a)
	Corresponde à capacidade de se alcançar quaisquer oportunidades disponibilizadas na cidade como serviços, bens, e demais atividades. Os seguintes fatores estão ligados ao conceito de acessibilidade: a mobilidade proporcionada pelos modos de transporte, a conectividade origem-destino, o uso do solo (distribuição espacial das atividades), e os substitutos da mobilidade (por exemplo, os serviços de entregas).	Litman (2008)
Oportunidade ou potencial de realização de viagens	Consiste na relação entre o indivíduo e o espaço, ou seja, ela mede a oportunidade ou potencial de realização das viagens necessárias para atingir as atividades esperadas, sendo o tempo e a distância medidas de separação que limitam o número de oportunidades a serem alcançadas.	Morris et al. (1979)
Conforto	Conforto e conveniência para alcançar um determinado destino.	Dalvi (1978) Schoon <i>et al.</i> (1999)

Em resumo os autores citados na Tabela 1 apresentam os seguintes conceitos no que diz respeito a acessibilidade a destinos: facilidade ou dificuldade de alcançar um local desejado; oportunidade ou potencial de viagens para a realização das atividades pretendidas; e conforto com o qual pode se chegar a um determinado lugar. Quanto à determinação da acessibilidade através de processos e cálculos, são apontadas a acessibilidade relativa, a acessibilidade integral ou total, a acessibilidade medida em termos de tempo, custo (dinheiro) ou distância, e o isolamento como uma medida inversa de acessibilidade que pode ser usada para a avaliação dos serviços prestados pelo sistema de transportes, bem como a de uso do solo.

É importante destacar a relação entre a acessibilidade a destinos e o uso e ocupação do solo. De acordo com Davidson (1995) acessibilidade influencia na forma com que as atividades são organizadas numa área, ou seja, como elas se distribuem no espaço. O autor sugere uma função inversa da acessibilidade - o isolamento, que também é uma característica específica de um local indicada pela localização das atividades e pelo sistema de transporte utilizado. Portanto o isolamento, assim como a acessibilidade, é uma medida que pode ser usada como instrumento de avaliação da infraestrutura urbana e de transportes.

Alguns autores relacionam acessibilidade a destinos e acessibilidade ao sistema de transporte, entendendo as duas como componentes que influenciam no tempo de deslocamento. Para Vasconcellos (2002) a acessibilidade a destinos é o indicador mais direto dos efeitos de um sistema de transporte específico. Segundo o autor, a acessibilidade é influenciada por vários fatores relacionados tanto aos serviços de transporte ofertado quanto aos elementos geográficos; como exemplos: as características espaciais da cidade, a localização das atividades (ou oportunidades), e o nível de serviço do sistema de transporte (confiabilidade e outros itens).

Batista Jr. e Senne (2000) discorrem sobre a acessibilidade a destinos relacionando-a com o acesso ao sistema de transporte coletivo. De acordo com os autores a acessibilidade pode ser expressa pelo tempo despendido para o deslocamento através da rota da linha, e que a coincidência dos itinerários do ônibus com os destinos pretendidos por seus usuários facilita, ainda mais, o acesso a esses locais.

A acessibilidade ao sistema de transporte mede a facilidade dos usuários de sistema de transporte acessá-lo em sua região de moradia, trabalho e outros locais. A Tabela 2 apresenta as principais características da acessibilidade ao sistema de transportes.

**Tabela 2:** Principais definições de acessibilidade ao sistema de transporte.

Característica	Definição	Referência
Acesso da origem ao sistema de transporte	Refere-se ao acesso do usuário ao transporte público a partir de um local de origem da viagem - residência, trabalho, escola, e etc.	Vasconcellos (2002)
Distância de caminhada da origem ao ponto de embarque	A microacessibilidade ao sistema de transportes pode ser mensurada (ou medida) em relação a distância que o usuário caminha para ter acesso ao transporte coletivo, por exemplo entre a sua moradia e o ponto de embarque.	Ferraz e Torres (2004) Santos (2005)
	As distâncias de caminhada dos usuários do início da viagem até o ponto de embarque e do local de desembarque até o destino final, definem a acessibilidade ao sistema de transporte público.	Ferraz (1998) Andrade et al. (2004)
Proximidade do itinerário às atividades pretendidas pelo usuário	O nível de satisfação dos usuários do transporte coletivo está diretamente relacionado ao itinerário do sistema ofertado; quanto mais próximos forem os pontos de embarque/desembarque às atividades pretendidas pelos passageiros, menor o tempo gasto para realização da viagem e, portanto, melhor a acessibilidade.	Batista Jr. e Senne (2000)
Infraestrutura do sistema de transportes e qualidade	Conceito de acessibilidade de transportes pode ser utilizado para avaliar a infraestrutura do sistema de transportes e localizar as regiões de determinada área ou rede com desigualdades de sua oferta.	Goto 2000
	A acessibilidade de transportes pode ser indicada em termos de qualidade, quantidade ou infraestrutura oferecida pelo sistema, correspondente à facilidade ou dificuldade do usuário acessar um lugar desejado dentro de determinada área.	Januário (1995) Ferreira (2001)
Localização dos pontos de embarque e frequência	Define a acessibilidade ao transporte coletivo sob dois aspectos: a <i>acessibilidade locacional</i> – referente à localização dos pontos de parada próximos a origem e destino das viagens, medida em termos de distância ou de tempo; e <i>acessibilidade temporal</i> – indicada pela frequência dos itinerários (as linhas que atendem os pontos de embarque/desembarque e/ou terminais.	EBTU (1998)
Aspectos físicos e econômicos	A acessibilidade é considerada um domínio dentre um total de nove, para o cálculo de um índice de mobilidade urbana sustentável (IMUS). Dentro desse domínio, o tema <i>acessibilidade aos sistemas de transportes</i> é definido quanto ao acesso físico à rede e quanto ao acesso econômico, subdividido nos seguintes tópicos: acessibilidade econômica; acessibilidade física; e transporte para pessoas com necessidades especiais - PNE.	Costa (2008)

Apesar do conceito de acessibilidade ser amplo no âmbito dos transportes, as múltiplas definições convergem para um sentido comum interpretado como a facilidade, potencial ou oportunidade de acessar (atingir ou alcançar) as diferentes atividades distribuídas em uma área, por meio de um sistema de transporte (individual ou coletivo), cujo esforço de superação depende: da localização dessas atividades no espaço; da qualidade, quantidade ou infraestrutura oferecida pelo sistema escolhido; das características espaciais da rede viária, e no caso do transporte público – o posicionamento dos pontos de parada.

Em relação ao transporte coletivo, a acessibilidade depende da diversidade de modos de transporte, da densidade da rede e das suas características espaciais, ou seja, da sua configuração como a distribuição dos pontos de ônibus, por exemplo.

As características das vias se inserem na qualificação das redes de transportes, e por isso está dentro da avaliação do nível de acessibilidade. A construção de uma via pode possibilitar o deslocamento entre dois pontos de uma área e promover o acesso aos lugares desejados. Segundo Vasconcellos (1999) essas duas funções de uma via implicam a existência de locais de estacionamento para veículos e pontos de parada do transporte coletivo. Para melhor representar os resultados da regulamentação da circulação urbana, esse autor dividiu a acessibilidade em macroacessibilidade e microacessibilidade.

A macroacessibilidade está relacionada ao acesso potencial dos indivíduos aos equipamentos urbanos; se as pessoas e/ou bens chegam a seus destinos com maior facilidade devido ao maior número de vias e/ou de modos de transportes disponíveis pelo sistema, por exemplo, isto irá refletir um nível de macroacessibilidade mais alto. Por outro lado, a microacessibilidade é uma ferramenta que pode ser aplicada para o controle da circulação urbana, pela engenharia de tráfego; ela indica o acesso direto aos locais pretendidos de forma mais fiel a realidade.

A partir da conceituação dada pelos diferentes autores, observa-se a importância das distâncias de caminhada dos usuários do início da viagem até o ponto de embarque e do local de desembarque até o destino final. Nesse sentido, a localização dos pontos de parada influencia diretamente o maior ou menor acesso ao sistema de ônibus, reflexo do esforço necessário para o deslocamento, isto é, a distância de caminhada. O uso e a ocupação do solo, as condições de tráfego, dentre outros aspectos, podem caracterizar a flexibilidade de distribuição de pontos de embarque/desembarque.

## **2.1. Indicadores de acessibilidade**

Para avaliar a acessibilidade em relação a um objeto, é preciso a utilização de indicadores que a meçam ou a quantifiquem. É preferível a escolha de indicadores que possam apresentar medidas mais simples, porém válidas de forma a permitir uma avaliação real e direta.

Para Gudmundsson (2004 apud COSTA, 2008) os indicadores são variáveis que podem funcionar como “balizadores” na elaboração de políticas e em análises técnicas, bem como ajudar a operar objetivos e tornar determinados sistemas gerenciados de forma menos complexa, além disso, eles revelam as condições dos sistemas, políticas ou organizações por meio de medidas de desempenho referentes às metas ou objetivos analisados.

Um índice que, por sua vez, é criado a partir da combinação de indicadores representa uma

medida única a qual compõe uma maior quantidade de informações (SAISANA et al., 2005). Os índices desse tipo são atraentes, pois resumem as informações relacionadas às questões complexas, porém quando não se apoiam aos indicadores originais podem implicar a resultados simplistas.

Raia Jr. (2000) chegou a uma classificação geral dos indicadores de acessibilidades, a partir de estudos anteriores de diversos autores, classificando os indicadores de acessibilidade em:

- i) indicadores do tipo atributos de rede:
  - a. *conectividade de nó nas interligações do sistema de transporte*: indicam se dois pontos estão conectados fisicamente por um sistema de transporte. Neste sentido, a acessibilidade a destinos de uma zona é medida pelo número de zonas que estão conectadas a esta zona, pelo sistema de transporte.
  - b. *acessibilidade temporal*: consideram os períodos em que não há disponibilidade do sistema de transporte, ou seja, as horas e/ou dias em que certas linhas do transporte coletivo não funcionam.
  - c. *separação espacial*: acessibilidade a destinos é medida utilizando-se indicadores de separação espacial, tais como a distância entre zonas e/ou o tempo médio da viagem entre zonas ou outro mais complexo.
- ii) indicadores do tipo quantidade de viagens: consideram o custo da viagem e a probabilidade das viagens ocorrerem.
- iii) indicadores do tipo oferta do sistema de transporte: utilizam como parâmetros: o número de linhas que servem a zona de estudo, a frequência do sistema, e a área desta zona.
- iv) indicadores que usam dados agregados que combinam aspectos de transporte e uso do solo; e
- v) indicadores que usam dados desagregados que combinam aspectos de transporte e uso do solo.

Para a melhor compreensão a respeito dos indicadores de acessibilidade, o presente trabalho adotará a classificação geral dos indicadores proposta por Raia Jr. (2000), relacionando-a aos conceitos de acessibilidade vistos anteriormente. A Tabela 3 classifica os tipos de índices existentes, conforme o conceito que abordam.

**Tabela 3:** Classificação dos índices de acessibilidade.

Conceito		Indicadores	
Acessibilidade	Acessibilidade a destinos	Indicadores de atributos de rede	Indicadores de conectividade de nó Separação espacial
		Quantidade de viagens	
		Dados agregados que combinam aspectos de transporte e uso do solo	
		Dados desagregados que combinam aspectos de transporte e uso do solo	
	Acessibilidade a sistemas de transporte	Indicadores de atributos de rede	Acessibilidade temporal Acessibilidade locacional
		Oferta do sistema de transporte	

Os principais indicadores estão listados na Tabela 4.

**Tabela 4:** Índices de acessibilidade de estudos anteriores.

Tipo	Autor	Formulação	Variáveis
Indicadores de Separação Espacial	Ingram (1971)	$A_i = \sum_j^n a_{ij}$	$A_i$ : acessibilidade integral do ponto $i$ ; $a_{ij}$ : acessibilidade relativa entre os pontos $i$ e $j$ ; $n$ : número total de pontos da rede.
	Allen et al. (1993)	$A_i = \frac{1}{N-1} \times \sum_j^N C_{ij}$	$A_i$ : acessibilidade da zona $i$ ; $N$ : número de pontos utilizados no cálculo; $C_{ij}$ : custo despendido para se deslocar entre as zonas $i$ e $j$ .
	Davidson (1995)	$A_i = \sum_j^n S_j \times f(C_{ij})$	$A_i$ : acessibilidade da zona $i$ ; $S_j$ : medida de atratividade da zona $j$ ; $C_{ij}$ : custo despendido de viagem entre as zonas $i$ e $j$ ; $f$ : função de impedância (exponencial ou potência).
Quantidade de viagens	Dogson (1974)	$A_i = \sum_j P_{ij} \cdot C_{ij}^\alpha$ $P_{ij} = \frac{W_j}{C_{ij}} / \sum_j \frac{W_j}{C_{ij}}$	$A_i$ : indicador de acessibilidade da região $i$ ; $P_{ij}$ : probabilidade de ocorrer a viagem entre zonas $i$ e $j$ ; $C_{ij}$ : custo da viagem entre as áreas $i$ e $j$ ; $\alpha$ : coeficiente de valor 1; $W_j$ : número de empregos da zona $j$ .
Oferta do sistema de transportes	Bruton (1979)	$A_i = \frac{\sum_z F_{m,i}^z}{S_i}$	$A_i$ : indicador de acessibilidade da região $i$ ; $F_{m,i}^z$ : frequência do sistema de transporte $m$ que serve a região $i$ através da rota $z$ no horário de entre-picos; $S_i$ : área da região $i$ (quilômetros quadrados).
	Januário (1995)	$A_i = \sum_j^n L_{ij} f(c_{ij})$	$A_i$ : acessibilidade da zona $i$ às demais zonas de destino; $L_{ij}$ : oferta de lugares no transporte público entre $i$ e $j$ ; $n$ : número de nós da rede; $f(c_{ij})$ : função impedância do tipo potência inversa
	Henk & Hubbard (1996)	$ITSA = \frac{I_{cob} + I_f + I_{cap}}{3}$	$ITSA$ : disponibilidade de transporte coletivo em uma zona; $I_{cob}$ : cobertura do serviço (km das rotas/área da zona); $I_f$ : frequência do serviço (km percorrida / km das rotas); $I_{cap}$ : capacidade do serviço (lugares x km/população zona).
Oferta do sistema de transportes	Dias (2008)	$X_{i,p} = \frac{X_i - \min(X_i)}{\max(X_i) - \min(X_i)}$ $X_{i,p \text{ novo}} = 1 - X_{i,p}$ $IA_{IP} = \sum_{i=n}^N X_i \cdot W_p$	$X_{i,p}$ : valor normalizado de 0 a 1 do indicador $i$ no lugar $p$ ; $X_i$ : valor obtido pelo indicador $i$ ; $\max(X_i)$ : maior valor do indicador $i$ entre os pesquisados; $\min(X_i)$ : menor valor obtido pelo indicador $i$ ; $IA_{IP}$ : índice de acessibilidade; $X_i$ : indicadores apresentados; $W_p$ : peso atribuído a cada indicador.
Indicadores que usam dados agregados que combinam aspectos de transporte e uso do solo	Vickerman (1974), Dalvi & Martin (1976), Koenig (1980) Hanson (1995)	$A_i = \sum_j W_j \cdot f(C_{ij})$	$W_j$ : número de oportunidades na zona $j$ para dado motivo; $f(C_{ij})$ como $1/C_{ij}^\alpha$ (Hanson, 1995), onde $C_{ij}$ é distância ou tempo de viagem entre as zonas $i$ e $j$ , e $\alpha$ coeficiente que geralmente recebe valor 1 (um).
	Deka (2002)	$DTC_i = \frac{\sum_{r=1}^m C_r \times F_r}{A_i}$	$DTC_i$ : disponibilidade de transporte coletivo no setor $i$ ; $C_r$ : quilometragem da linha $r$ na área estendidas do setor $i$ ; $F_r$ : frequência do serviço na rota $r$ , no pico da manhã; $m$ : número de linhas que atravessam o setor estendido; $A_i$ : área do setor estendido.
	Raia Jr. et al. (1997)	$A_i = \sum_j Dens_j \cdot (Dist_{ij})^{-\alpha}$	$A_i$ : acessibilidade da zona $i$ ; $Dens_j$ : densidade populacional em $j$ ; $Dist_{ij}$ : distância viária entre os centroides das quadras $i$ e $j$ ; $\alpha$ : expoente da função potência.

Tipo	Autor	Formulação	Variáveis
Indicadores que usam dados desagregados que combinam aspectos de transporte e uso do solo	Formulação geral	$A_i = \sum_j W_j \cdot f(c_{ij})$ $f(c_{ij}) = 1$ se $c_{ij} \leq C$ $f(c_{ij}) = 0$ se $c_{ij} > C$	$C$ : medida de contorno (referência) $W_i$ : número de oportunidades na zona
	Tagore & Sidkar (1995)	$A_i = \sum_j S_j \times f(t_{ij}) \times e^{(\gamma \times M_i)} / \sum_j S_j$	$A_i$ : acessibilidade da zona $i$ ; $S_j$ : medida de atratividade da zona $j$ ; $C_{ij}$ : custo despendido de viagem entre as zonas $i$ e $j$ ; $f(t_{ij})$ : função de calibração de viagens entre as zonas $i$ e $j$ ; $\gamma$ : coeficiente de calibração de mobilidade; $n$ : número total de zonas.
	Wang (2003)	$A_i^g = \sum_{j=1}^J \frac{O_j^g \times f(t_{ij})}{\sum_{k=1}^K W_k^g \times f(t_{ki})}$	$A_i^g$ : acessibilidade ao trabalho no segmento $g$ para residentes da zona $i$ ; $O_j^g$ : nº de empregos no segmento $g$ para residentes de $j$ ; $f$ : função de impedância; $t_{ij}$ : tempo de viagem entre as zonas $i$ e $j$ ; $W_k^g$ : nº de trabalhadores no segmento $g$ e residentes de $k$ ; $t_{ik}$ : tempo de viagem entre as zonas $i$ e $k$ .

De acordo com Vickerman (1974) é difícil quantificar ou mensurar a acessibilidade de forma precisa por esta englobar tanto os elementos distribuídos geograficamente no espaço quanto às características dos sistemas de transporte. As dificuldades quanto à coleta de dados e/ou aplicação de determinado indicador levará a adaptação do mesmo ou a sua eliminação na análise de um sistema ou fenômeno em questão, assim novos indicadores poderão ser considerados.

A identificação de indicadores pode ser feita através de pesquisas de experiências anteriores sobre o sistema ou fenômeno que se deseja medir, sendo fundamental o envolvimento de especialistas nesse processo. A escolha dos indicadores tem como critérios gerais a validade científica, a relevância, o custo, a atratividade, a representatividade e outros; a atribuição de pesos aos critérios permite avaliar o desempenho dos indicadores. Assim os indicadores e seus critérios devem ser comparados para identificar a ausência ou presença de determinada propriedade com a qual possa optar por um ou outro indicador e/ou selecionar quais indicadores irão compor um conjunto (COSTA, 2008).

### 3. ÍNDICE DE ACESSIBILIDADE PROPOSTO

Como mostra a revisão bibliográfica existem diversos tipos indicadores de acessibilidade, porém nem todos são possíveis de serem utilizados por dependerem de dados com custos não razoáveis, demandarem uma pesquisa de campo muito ampla que despenderia um tempo e trabalho onerosos, e/ou impossibilidade de analisar os modos coletivo e privado simultaneamente, pois utilizam variáveis exclusivas de um ou de outro modo de transporte. A partir da análise bibliográfica, é possível relacionar as características e os tipos de índice mais adequados para cada modo:

#### - Transporte Individual

##### a) Acessibilidade aos destinos:

A facilidade/dificuldade, esforço ou potencial de superar espacialmente obstáculos para ter acesso aos destinos desejados por meio de um sistema de transporte.

##### b) Indicadores do tipo atributos de rede:

Devem ser considerados indicadores que refletem ou influenciam o custo da viagem medido pelo tempo, distância ou custo. Tais indicadores de separação espacial estão relacionados à configuração da rede viária, por exemplos: capacidade das vias (número de faixas de tráfego);

tipo e estado de conservação do pavimento; velocidade operacional (permitida) da rede viária; presença de intersecções com/sem sinalização semafórica e/ou canalização de tráfego por rotatórias ou rótulas; e etc.

- Transporte Coletivo

a) Acessibilidade aos destinos:

Conforme o próprio conceito, a acessibilidade aos destinos constitui a forma mais ampla de se analisar a acessibilidade, podendo ser aplicada a diversos modos e contemplando a totalidade do deslocamento. Dessa forma, entende-se que a análise de acessibilidade do transporte coletivo deva ser inserida no contexto geral da viagem pretendida pelo usuário.

b) Acessibilidade ao sistema de transporte

O conceito abrange características específicas do sistema de transporte coletivo que devem ser consideradas na proposta do índice.

c) Indicadores do tipo atributos de rede:

- Acessibilidade Locacional: Referente à localização dos pontos de parada próximos a origem e destino das viagens. Assim, a acessibilidade locacional é medida pela distância ou tempo despendido pelo usuário até o ponto de embarque e/ou do ponto de desembarque até o destino pretendido.
- Acessibilidade Temporal: Indicada pela frequência das linhas de ônibus que atendem os pontos de embarque/desembarque. Considera, também, a situação em que linhas de ônibus não operam em determinadas horas e/ou dias da semana, cuja acessibilidade pode ser medida pelo tempo em que os usuários têm acesso ao transporte coletivo.

d) Indicadores do tipo oferta do sistema de transporte:

Apenas serão considerados indicadores que caracterizam a acessibilidade locacional e temporal ao modo de transporte coletivo, portanto, serão descartados parâmetros socioeconômicos como a renda familiar e a tarifa/custo do transporte e, também, de conforto nos veículos e nos pontos de parada, os quais fogem da proposta deste trabalho (medir o acesso físico ao espaço urbano e ao sistema de transporte). A título de exemplos de variáveis que compõem esses indicadores têm-se: o número de linhas que servem a zona de estudo; a frequência do sistema; distribuição e localização dos pontos de parada; o itinerário das linhas; tempo ou distância de caminhada e tempo de espera nos pontos de parada para ter acesso ao veículo; e a velocidade média operacional do veículo de transporte coletivo.

O índice proposto para comparação da acessibilidade pelos modos de transporte coletivo e privado se baseia nas características físicas das redes de oferta existentes. Após análise dos índices específicos para cada modo, foram reunidas as variáveis significativas para medir acessibilidade em ambos os sistemas de transportes. A variável elementar para essa comparação é o tempo de viagem, sobretudo por se tratarem de modos motorizados. Sendo assim, o índice proposto é dado por:

$$A_{ij} = \frac{1}{j} \sum_{j=1}^n \left( 1 - \frac{T_{ij} - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \right) \quad (1)$$

$$T_{ij} = t_{ij}^M + t_{ij}^{NM} + \frac{60}{f_{ij}} \quad (2)$$

Onde:

$A_{ij}$ : é o índice de acessibilidade do nó  $i$  para os destinos  $j$ ;

$T_{ij}$ : é o tempo de viagem do nó  $i$  para o destino  $j$  em minutos;

$T_{max}$ : é o máximo tempo de viagem de  $i$  até  $j$  para o qual a viagem pode ser considerada viável para o usuário, em minutos;

$T_{min}$ : é o menor tempo de viagem de  $i$  até  $j$  encontrado para a rede de transportes analisada, em minutos;

$f_{ij}$ : é a frequência de viagem do veículo que atende a rota do nó  $i$  para o destino  $j$  em veículos/hora;

$t_{ij}^M$ : é o tempo de percurso entre o nó  $i$  e o destino  $j$  pelo modo motorizado, em minutos;

$t_{ij}^{NM}$ : é o tempo de percurso a pé, anterior ao embarque ou após o desembarque, entre o nó  $i$  e o destino  $j$ , em minutos;

$n$ : é o número de destinos chave do tipo  $j$  para o qual se analisa a acessibilidade do nó  $i$ ;

A variável tempo de viagem é decomposta em tempo de espera e tempo de percurso no transporte coletivo. O tempo de espera foi introduzido na formulação a partir da frequência do veículo. Para o modo privado não há tempo de espera para o usuário, sendo desprezada a parcela que inclui a frequência. Para o modo coletivo, deve ser considerada a maior frequência horária das linhas que atendem o percurso de  $i$  para  $j$ , ou a soma das frequências dessas linhas, quando os horários não forem coincidentes.

As demais variáveis mencionadas anteriormente influenciam nos tempos de percurso, que são obtidos como resultado de uma análise física e operacional da oferta. Sendo assim, as variáveis que permitem a obtenção dos tempos de percurso são:

- Velocidade operacional: variável fundamental para o cálculo dos tempos de percurso. É obtida a partir de pesquisa de velocidade e retardamento realizada nas vias da área de estudo. Por sua vez, a velocidade é influenciada pelo estado de conservação do pavimento, tipo de controle de interseções, capacidade viária e deve ser determinada para cada modo de transporte analisado. Na impossibilidade de se realizar a pesquisa de velocidade em todas as vias da área de estudo, pode ser feita uma pesquisa amostral para cada grupo de vias com características geométricas e de fluxo semelhantes. Outra alternativa é a utilização dos resultados de uma alocação de tráfego, devidamente calibrada, para a região de estudo.
- Distribuição e localização dos pontos de parada: a oferta espacial dos pontos de parada define a distância que deve ser percorrida a partir de cada origem  $i$  até acessar a linha de transporte, e a partir deste até o destino  $j$ . Essa distância é percorrida, na maioria das vezes, a pé pelo usuário de transporte coletivo, devendo ser considerada a velocidade de caminhada no cálculo do tempo de percurso.
- Itinerário das linhas: semelhante à localização dos pontos de parada, o itinerário definirá a distância de cada origem  $i$  ao sistema de transportes e do sistema de transportes a cada destino  $j$ .

Como resultado, para cada origem  $i$  é obtido um número absoluto que representa a acessibilidade desse ponto ao conjunto de destinos considerados. A escala dos resultados será variável em função do número  $n$  de destinos  $j$  que compõem o somatório. O índice proposto pode ser calculado para um único par origem/destino ou para toda a rede, de todos os nós para

os destinos selecionados, com auxílio de ferramentas de geoprocessamento. Permite obter, assim, uma representação espacial identificando áreas com maior ou menor acessibilidade para cada modo de transporte.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta aplica ao conceito de acessibilidade a destinos variáveis de indicadores de acessibilidade ao sistema de transportes, como a frequência. O índice proposto reúne variáveis que permitem sua aplicação tanto ao modo privado, como coletivo, traduzindo em termos de tempo de viagem diferentes variáveis que caracterizam cada modo.

A formulação do índice produz um resultado normalizado, semelhante ao estudo de Dias (2008). O custo, utilizado por diversos autores como descrito na Tabela 4, é dado pelo tempo de viagem, decomposto em tempo de percurso e tempo de espera. Dessa forma, o índice pode ser aplicado para vários modos de transporte, permitindo uma comparação na mesma escala.

O índice é coerente com o conceito de acessibilidade, ou seja, de quanto maior a facilidade de transporte maior é a acessibilidade. Observa-se que um maior valor do tempo de percurso tende a diminuir o valor do índice, enquanto a maior frequência tende a aumentá-lo, pois reduz o tempo de espera e consequentemente o tempo de viagem.

O índice proposto constitui uma ferramenta capaz de contribuir para o aprofundamento das análises de diagnóstico dos sistemas de transporte atuais e construção de cenários para avaliação de alternativas, principalmente pela possibilidade de aplicação espacial, considerando todos os nós de determinada rede.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, F. de O (2010) *Acessibilidade Relativa dos Espaços Urbanos para Pedestres com Restrição de Mobilidade*. 2010. 170 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Allen, W. B.; Liu, D. e Singer, S. (1993) Accessibility measures of U.S. metropolitan areas. *Transportation Research B*, v. 27B, n. 6, p. 439-449.
- Andrade, K. R.; Paula, V. A.; Mesquita, A. P.; Villela, P. A. (2004) Problemas relacionados aos pontos de parada do transporte público nas cidades de porte médio. *Seminário Internacional da Lares*.
- Batista Jr. E. D.; Senne, E. L. F. (2000). *TRANSIS: Um Novo Método para Avaliar o Desempenho de Sistemas de Transporte Urbano de Passageiros*. ANPET.
- BRASIL (2012) Lei 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, 4 jan.
- Costa, M. da S.(2008) *Um Índice de Mobilidade Urbana Sustentável*. 2008. 248 f. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Dalvi, M. Q. (1978) Behavioural modelling accessibility, mobility and need: concepts and measurement. In: Hensher, D. A. & Stopher, P. R. (eds). *Behavioural Travel Modelling*. London: Croom Helm. p. 639–653.
- Davidson, K. B. (1995) Accessibility and Isolation in Transport Network Evaluation. In: *World Conference On Transport Research*, 7th., 1995, Sidney. *Proceedings...* Sidney: Book of Abstracts, The University of South Wales. p. 8-10.
- Dias, R. F. (2008) *Procedimento para Elaboração do Índice de Acessibilidade com Apoio de Sistema de Integração Geográfica - SIG*. 2008. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Empresa Brasileira De Transportes Urbanos – EBTU (1998). *Planejamento da Operação, Diagnóstico do Sistema Existente*. Módulo de Treinamento, STPP Gerência do Sistema de Transporte Público de Passageiros. Brasília: EBTU. v.2.
- Ferraz, A. C. P. (1998) *Escritos sobre Transporte, Trânsito e Urbanismo*. Ribeirão Preto: São Francisco.

- Ferraz, A. C. P. E Torres, I. G. E. (2004) *Transporte Público Urbano*. 2. ed. São Carlos: Rima. 410p.
- Ferreira, M. A. G. E Sanches, S. P. (2001) Índice de Qualidade das Calçadas – IQC. São Paulo: *Revista dos Transportes Públicos*, ANTP, ano 23, 2º trim, nº 9. p. 47-60.
- Ferronato, L. G. E Michel, F. D. (2007) *Índice de Acessibilidade por Transporte Coletivo*. Porto Alegre, RS: EPTC. p.1 - 12.
- Goto, M. (2000) *Uma Análise de Acessibilidade sob a Ótica da Equidade: O Caso da Região Metropolitana de Belém*. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- Guimarães Rodrigues, T. (2011) Desenvolvimento de um indicador de acessibilidade para a avaliação de projetos de transporte sobre a exclusão social: Estudo de caso da linha de metro 6 em São Paulo. In: *Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, 25., 2011, Belo Horizonte. ANPET. 12p.
- Ingram, D. R. (1971) The Concept of Accessibility: A Search for an Operational Form. *Regional Studies*, v. 5, p. 101-107.
- Januário, M. R. (1995) *Procedimento para determinação de índices de acessibilidade de transporte e tratamento cartográfico dos mesmos*. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro - RJ.
- Jones, S. R. (1981) Accessibility Measures: A Literature Review. *Transport and Road Research*
- Lemos, D. S. C. P. S. (2008) *Contribuição metodológica para análise da acessibilidade sustentável*. Exame (Qualificação em Engenharia de Transporte) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Litman, T (1995). *Evaluating Transportation Land Use Impacts*. Victoria, Canada: Victoria Transport Policy Institute. 44p.
- Litman, T. (2008). *Evaluating Accessibility for Transportation Planning*. Victoria, Canada: Victoria Transport Policy Institute. 49p. Disponível em: < <http://www.vtpi.org/access.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2014.
- Melo, F. B. (2005) *Proposições de Medidas Favorecedoras à Acessibilidade e Mobilidade de Pedestres em Áreas Urbanas. Estudo de Caso: O Centro de Fortaleza*. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES (2006a) Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana. *Brasil Acessível – Programa Brasileiro de Acessibilidade Urbana: Caderno 2 - Construindo a Cidade Acessível*. Brasília: SEMOB. 167p.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES (2006b) Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana. *Brasil Acessível – Programa Brasileiro de Acessibilidade Urbana: Caderno 6 - Boas Práticas em Acessibilidade*. Brasília: SEMOB. 88p.
- Morris, J. M.; Dumble, P. L. e Wigan, M. R. (1979) Accessibility Indicators for Transport Planning. *Transportation Research A*, v. 13A, p. 91-109.
- Pires, F. M. A. (2000) *Uma Contribuição Metodológica para a avaliação dos Padrões de Acessibilidade em Redes Rodoviárias*. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.
- Raia Jr, A. A. (2000) *Acessibilidade e Mobilidade na Estimativa de um Índice de Potencial de Viagens Utilizando Redes Neurais Artificiais e Sistemas de Informações Geográficas*. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos - SP.
- Rodrigues, D. S. (2001) *Avaliação Multicritério de Acessibilidade em Ambiente SIG*. 144 f. Dissertação Mestrado - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, Portugal.
- Rodrigues, D. S. (2007) *Sistema de Informação para Avaliação e Monitorização da Qualidade de Vida em Campi Universitários*. 249 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, Portugal.
- Saisana, M.; Tarantola, S.; Schulze, N.; Cherchye, L.; Moesen, W. E Puyenbroeck, T. V. (2005) *Knowledge Economy Indicators: State-of-the-Art Report on Composite Indicators for the Knowledge-based Economy*. Ispra, Italia: JRC, European Commission Joint Research Centre.
- Sales Filho, L. H. (1996) *O uso de indicadores de acessibilidade na eficácia de redes estruturais de transporte urbano*. Tese (Doutorado em Engenharia de Transporte) – UFRJ, Rio de Janeiro.
- Santos, B. J. R. (2005) *A qualidade no serviço do transporte público urbano*. Goiânia: Pontifícia Universidade Católica de Goiás. p. 1-12.
- Vasconcellos, E. A. (1999) *Circular é Preciso, Viver não é Preciso: A História do Trânsito na Cidade de São Paulo*. São Paulo: Annablume. 297p.
- Vasconcellos, E. A. (2002) *Transporte urbano nos países em desenvolvimento: reflexões e propostas*. São Paulo: Annablume. 282p.
- Vickerman, R. W. (1974) *Accessibility, attraction, and potential: a review of some concepts and their use in determining mobility*. [s.l]: Environment Planning, v.6, parte A, n.6. p.675-691.