

## ANÁLISE DO IMPACTO DA IMPLANTAÇÃO DO TREM METROPOLITANO NA CONFIGURAÇÃO ESPACIAL DA CIDADE

Laís Corteletti

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

PROPUR – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional

Rua Sarmiento Leite, 320, 5º Andar – 90.050-170 – Porto Alegre, RS, Brasil

laiscorteletti@gmail.com

Bárbara Maria Giacom Ribeiro

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

PROPUR – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional

Rua Sarmiento Leite, 320, 5º Andar – 90.050-170 – Porto Alegre, RS, Brasil

bgiacom@gmail.com

### **Introdução**

A diversificação das atividades humanas vem crescendo de forma acelerada nas últimas décadas. Novos produtos e serviços surgem a cada ano e, como consequência de todas essas atividades, uma série de deslocamentos, tanto de pessoas, quanto de produtos e insumos, se fazem necessários. A necessidade de circular está diretamente relacionada com os lugares e os interesses das pessoas. Lugares onde as pessoas moram, estudam ou trabalham, e interesses que elas têm nas mais diversas áreas: sociais, políticas, culturais e econômicas (Vanconcellos, 2005, p.23).

Existe uma relação entre transporte e uso do solo: no solo urbano as pessoas realizam suas atividades e produzem bens e serviços. Para se movimentar, todos, pessoas e bens, utilizam as estruturas de transporte (Vasconcellos, 1996). Pode-se afirmar que o crescimento das cidades, formando imensos conurbados urbanos (e, por consequência, aumento da aglomeração da população), faz com que as distâncias percorridas tendam a aumentar, acarretando em problemas como longos períodos de deslocamento, grande consumo de combustíveis fósseis e congestionamentos.

A implantação de um sistema de circulação coletivo eficiente tem o objetivo de suprir a demanda crescente e torna-se necessária em função dos constantes problemas decorrentes, principalmente, do uso de veículos particulares (Vasconcellos, 1996). Porém, a

inserção de uma linha de trem e/ou metrô em uma cidade com uma malha viária já consolidada pode ser capaz de alterar sua dinâmica. Um novo sistema de transporte pode alterar a acessibilidade e os fluxos, valorizar ou desvalorizar determinadas áreas, deslocar o centro comercial ou, até mesmo, promover o surgimento de novas centralidades.

A cidade de Novo Hamburgo pode ser considerada um exemplo desta situação. O prolongamento da antiga linha férrea Porto Alegre – São Leopoldo até Novo Hamburgo ocorreu em 1876. Porém, a estação final não chegou até a urbanização de Hamburgo Velho, localizou-se três quilômetros antes, em campo aberto longe da parte urbanizada (Petry, 1963). Este fato foi o propulsor do deslocamento da centralidade na região, fazendo com que surgisse uma nova centralidade em torno da estação, que mais tarde foi batizada de Novo Hamburgo. Hamburgo Velho foi perdendo vitalidade, diminuindo suas características de centro e se tornando o bairro histórico do município. A extensão da linha-1 do Trensurb até o município de Novo Hamburgo, ocorreu no ano de 2013, fazendo com que esta temática retornasse à história do município. A cidade entrou novamente em uma fase de adaptação da sua estrutura urbana consolidada a um novo sistema de circulação.

Portugal e Goldner (2003, p. 25) afirmam que “as alterações no sistema viário têm influência não só sobre uso do solo, mas, também, sobre os imóveis”. Então é preciso tratar o sistema de circulação e a forma da cidade como uma única questão. Fica evidente, analisando a morfologia urbana, que o desenvolvimento dos meios de transporte é capaz de contribuir para um novo tipo de crescimento e expansão das cidades. Ambas temáticas precisam ser tratadas em conjunto permanentemente e a cada novo ciclo da estrutura urbana.

A cidade monocêntrica de origem compacta, onde todas as necessidades estão no centro, na qual as interações podem ser feitas por pedestres, acabou por se transformar em um modelo que permite a expansão do território. A partir da mecanização dos deslocamentos, emergem novas centralidades, mais distantes, e a movimentação pela cidade não é mais possível de ser feita a pé. Quando são instaladas novas infraestruturas de transporte, (pe.g linhas de trens urbanos), a estrutura das cidades se modifica e passa a se desenvolver em outros pontos que não o centro (Berry, 1971). Estas novas formas de conexão alteram a estrutura da cidade e fazem surgir novos núcleos que podem concentrar as mesmas atividades que existem no centro (Serrano Cambronero, 2002)

A relação desta infraestrutura com as cidades acontece de diferentes formas, trazendo implicações que, de algum modo, alteram o desenvolvimento desses sistemas. Este

estudo busca responder como a inserção de um novo sistema de circulação, como uma linha de trem, pode alterar as características configuracionais das cidades.

A implantação do trem metropolitano, em Novo Hamburgo, cujo traçado segue até o *shopping* Bourbon, no centro da cidade, sendo sua futura expansão prevista até as cidades vizinhas de Campo Bom e Sapiranga, traz consigo possibilidades de grandes mudanças para a região em que este é implantado, não somente na paisagem, mas, principalmente, nos usos do solo do entorno desta infraestrutura. Regiões podem se potencializar, ganhando importância, enquanto outras, enfraquecer, desvalorizando-se.

Esta pesquisa busca analisar as alterações que a implantação de um transporte de massa ferroviário pode causar na estrutura urbana consolidada. Propõe-se a seguinte questão de pesquisa: Qual é o resultado da inserção de um novo sistema de circulação, a extensão da linha 1 do Trensurb, na configuração urbana do município de Novo Hamburgo? Quais são as consequências, em termos locais, para os estabelecimentos de comércio e serviços? A forma de diagnosticar alterações ou determinar suas causas sobre a cidade se dá por meio de análise espacial com abordagem configuracional. Para isto, é utilizado um *software* específico de análise configuracional urbana, o Medidas Urbanas versão 1.5 (Polidori et al., 2001). O banco de dados é construído utilizando um *software* de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que possibilita o cruzamento dos diferentes dados, bem como auxilia na análise dos resultados.

### **Referencial Teórico**

As cidades são consideradas como um sistema complexo de elementos inter-relacionados, em que relações mantidas pelos homens entre si e mediadas pelo desenvolvimento de atividades compõem um “todo dinâmico”, em que o espaço urbano é o meio e o resultado das relações sociais (Soja, 1985). Neste sentido, o sistema de circulação juntamente com a forma e extensão da cidade estão relacionados na medida em que o desenvolvimento dos meios de transporte modifica a morfologia e a estrutura urbana, permitindo um novo tipo de crescimento e de expansão (Serrano-Cambronero, 2002). Krafta (2008) ressalta que é importante entender o aspecto configuracional da cidade e a inter-relação dos espaços, onde cada nova alteração gera mudanças sistêmicas em toda cidade.

A complexidade dos sistemas urbanos e a natureza de seus processos de transformação vêm desafiando a pesquisa urbana a buscar novas abordagens que possam tratar esses fenômenos de forma adequada. Na área da modelagem urbana, diversas

metodologias vêm sendo desenvolvidas, abordando a cidade como um sistema complexo, formado por muitos elementos e relações, num estado fora de equilíbrio (Batty, 2005; Portugali, 2000; Allen, 1997). Segundo essa concepção, o sistema urbano é formado por uma grande quantidade de agentes tomando decisões simultâneas de localização, gerando uma dinâmica não linear, abrindo caminho para muitos futuros possíveis para a forma da cidade.

Esses novos *insights* vêm colocando em cheque a natureza e o papel do planejamento urbano. Há uma consciência crescente que é inútil o planejamento urbano tentar definir e impor uma forma final para a cidade, visão comum nos planos diretores tradicionais e normativos. Os novos conhecimentos sobre a dinâmica da forma da cidade apontam para a necessidade de instrumentalização do poder público e da sociedade para analisar diferentes trajetórias possíveis do sistema urbano e suas implicações socioespaciais (Portugali, 2000). O processo de avaliação passa a desempenhar um papel central no sistema de planejamento urbano, e surge a necessidade de desenvolver métodos sistemáticos de monitoramento da evolução do sistema urbano, a fim de antecipar efeitos das transformações propostas pelos agentes. Nesse contexto, os modelos urbanos figuram como recursos importantes, que podem atuar como instrumentos de medida e de avaliação.

Modelos urbanos podem ser entendidos como representações quantitativas e simplificadas da realidade, implicando numa escolha de variáveis significativas para o propósito do modelo (Echenique, 1975). Dessa forma, os modelos permitem a escolha de aspectos particulares da realidade e sua representação quantitativa. Como resultado dessas raízes comuns, indicadores e modelos urbanos apresentam fortes relações lógicas e operacionais como: a) relações de complementaridade, o que justifica o uso das duas ferramentas e b) relações de similaridade, o que impõe condições de coerência lógica e operativa (Bertuglia; Rabino, 1994).

Os modelos urbanos abordam a cidade como um sistema espacial, ou seja, um conjunto articulado de elementos que interferem e dependem uns dos outros (Hillier; Hanson, 1984; Krafta, 1994). Os modelos configuracionais enfatizam a importância das características da forma construída no sistema urbano e sua fundamentação conceitual reside no estudo da forma e/ou da morfologia urbana. Tais modelos aplicam metodologias de desagregação da cidade em componentes (e.g., unidades elementares de espaço, atributos espaciais) e suas relações (e.g., descrições topológicas, adjacências, centralidade). Para isto, a teoria dos grafos fornece a base analítica para o cálculo de diferentes medidas e propriedades da rede urbana. Os modelos assumem a hipótese do caminho mínimo, ou seja, de que as ligações entre células

da rede sempre serão feitas pelos caminhos mais curtos. Dessa forma, toda cidade exibiria uma diferenciação espacial, ou seja, uma hierarquia na qual algumas células (espaços) se destacam pela sua posição relativa e/ou pelo número de conexões com os demais.

Os indicadores de desempenho (Bertuglia; Rabino, 1994) são medidas mais complexas, capazes de refletir as interdependências entre os componentes do sistema urbano, sendo, portanto, baseados em modelos urbanos. Seus objetivos são prover uma visão sintética sobre o estado do sistema urbano em um determinado momento, bem como avaliar prováveis impactos de ações de transformação urbanas consideradas ou propostas. Existem fundamentalmente dois tipos de indicadores de desempenho espacial (Bertuglia; Rabino, 1994). Os primeiros são indicadores de eficácia ou equidade e se reportam à qualidade de vida urbana. São aqueles relacionados aos indivíduos e moradores, baseados na localização residencial e como esta é servida pelas organizações. O segundo tipo de indicador se relaciona às organizações prestadoras de serviços (públicos ou privados), são indicadores de eficiência e sustentabilidade, e se reportam à economia do sistema como um todo, ou seja, à racionalidade do uso dos recursos e os custos gerais da vida e da produção econômica.

#### *Medidas Configuracionais e Indicadores de Desempenho*

No presente trabalho, utilizam-se modelos configuracionais (Krafta, 1994; 1996), que se diferenciam de outros modelos urbanos por admitirem ponderações a partir de atributos (áreas, atividades, atratividade, entre outras) que podem ser alocados em cada célula espacial. Dessa forma, tais modelos trabalham com uma descrição sistêmica e ponderada, e que permite vários níveis de desagregação espacial, superando as limitações das descrições agregadas por setores ou zonas. Os modelos são capazes de captar nuances da distribuição espacial das facilidades urbanas num grau de precisão espacial tão minucioso quanto for a descrição espacial adotada no estudo. O Quadro 1 apresenta sinteticamente os modelos utilizados neste estudo, que são descritos na sequência.

Quadro 1. Modelos configuracionais selecionados para a aplicação e os seus principais resultados.

<b>Modelos</b>	<b>Medida</b>
Acessibilidade	Distância relativa aos espaços do sistema
Centralidade Freeman-Krafta Planar	Importância relativa dos espaços na interconexão do sistema (i.e., <i>betweenness</i> ).
Convergência	Privilégio locacional de um espaço de oferta frente à distribuição espacial dos seus potenciais usuários (demanda) e concorrentes

	(i.e., poder de polarização ou gravitação). Relaciona-se à noção de eficiência do serviço (oferta).
Oportunidade Espacial	<i>Ranking</i> dos espaços de demanda em relação à sua acessibilidade relativa aos espaços de oferta. Relaciona-se à noção de eficácia ou equidade (nível de atendimento).

Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2014).

**Acessibilidade** é um conceito central nos estudos de planejamento territorial, sendo considerada um conceito chave em planejamento urbano e planejamento de transportes, ao expressar o que, possivelmente, seja a maior função das cidades: prover oportunidades para trocas e interações (Koenig, 1980). A Acessibilidade está relacionada às facilidades e dificuldades de se alcançar determinado ponto ou lugar no sistema urbano, e pode ser definida como a propriedade de determinado componente de uma rede de estar mais próximo de todos os demais elementos, considerando os caminhos mínimos (ou preferenciais) entre eles (Haggett; Chorley, 1969; Ingram, 1971). Para um sistema  $S$  com  $n$  vértices, a Acessibilidade de um vértice genérico  $i$  é (Equação 1):

$$Ace(i) = \sum_{i=0}^n 1/d_{ij} \quad (1)$$

onde  $d$  é o inverso da distância mínima entre as entidades  $i$  e  $j$ .

De modo geral, a **Centralidade** é a propriedade de uma célula (espaço) estar no caminho que liga outras duas, e sua hierarquia se dá pela quantidade total de vezes que ela aparece nos caminhos que ligam todos os pares de células de um sistema (Freeman, 1977). A Centralidade Krafta destina-se à aplicação em análises urbanas, com introdução das noções de tensão e distâncias: a tensão reflete a relação entre duas células expressa pelo produto de seu conteúdo; a distância refere-se à extensão do caminho mínimo entre cada par de pontos, e à medida que esta aumenta, a centralidade de cada célula interposta no caminho diminui (Krafta, 1994). O modelo de Centralidade Planar considera apenas a diferenciação espacial originada do sistema de espaços e suas conexões, enquanto que o modelo de Centralidade (ou Centralidade Ponderada) considera a presença e a distribuição desigual das formas construídas e também das atividades desenvolvidas nesses espaços (Krafta, 1994).

A expressão matemática da Centralidade é (Equação 2):

$$C_{li} = (P \cdot Q) \cdot \{[min]d_{tpq}\}^{-1} \quad (2)$$

onde centralidade da entidade  $i$  na interação  $I$  é igual ao produto dos carregamentos das entidades  $p$  e  $q$  multiplicado pelo inverso da mínima distância entre as entidades  $p$  e  $q$ ;

$C_{li}$ : centralidade da entidade  $i$  na interação  $I$ ;

$P$  : carregamento da entidade  $p$ ;

$Q$  : carregamento da entidade  $q$ ;

$[min] d_{tpq}$  : distância mínima entre as entidades  $p$  e  $q$ .

Na Centralidade Planar, os carregamentos  $P$  e  $Q$  nas entidades  $p$  e  $q$  são sempre iguais a  $I$ .

A partir da adoção de grafos direcionados, Krafta (1996) formula também outros modelos de análise espacial urbana, derivados do modelo de centralidade valorada original. A utilização de grafos direcionados permite associar atributos diferenciados às origens e destinações dos vetores de direção, i.e., permite representar *demanda* e *oferta*. Duas dessas medidas tem interesse ao presente estudo, a **Convergência** e a **Oportunidade Espacial**. A medida de convergência pode ser definida como a localização privilegiada de pontos de oferta de um determinado comércio ou serviço, em função da distribuição de potenciais consumidores e dos demais pontos de oferta desse serviço, isto é, a convergência retrata a eficiência ou capacidade de atrair usuários para diferentes pontos de oferta de serviços. Já a oportunidade espacial, por sua vez, é uma medida de privilégio de localização residencial diante de um sistema de serviços (Krafta, 1996). Este é um indicador que instrumenta a análise de equidade, pois descreve com precisão as facilidades de acesso de cada ponto de localização de demanda a um sistema de ofertas. Em planejamento, a distribuição equitativa envolve a localização de recursos ou de facilidades para benefício do maior número possível de diferentes grupos sociais espacialmente definidos (Talen, 1998).

A Oportunidade Espacial é calculada da seguinte forma (Equação 3):

$$Opt_{Ii} = Q_o \cdot \{[min]d_{pq}\}^{-1} \forall i \in D \quad (3)$$

onde a oportunidade da entidade  $i$  na interação  $I$  é igual ao carregamento das ofertas da entidade  $q$  multiplicado pelo inverso da distância entre as entidades  $p$  e  $q$ , para toda entidade  $i$  que contém demandas;

$Opt_{Ii}$  : oportunidade da entidade  $i$  na interação  $I$ ;

$Q_o$  : carregamento das ofertas da entidade  $q$ ;

$[min] d_{tpq}$  : distância mínima entre as entidades  $p$  e  $q$ ;

$i$  : para toda entidade  $i$ ;

$D$  : que contém demandas.

A Convergência de cada par de pontos é calculada da seguinte forma (Equação 4):

$$Conv_{Ii} = (P \cdot Q) \cdot \{[min]d_{tpq}\}^{-1} \forall i \in O \quad (4)$$

onde a convergência da entidade  $i$  na interação  $I$  é igual ao produto do carregamento das demandas da entidade  $p$  pelo carregamento das ofertas da entidade  $q$  multiplicado pelo inverso da distância entre as entidades  $p$  e  $q$ , para toda entidade  $i$  que contém ofertas;

$Conv_{Ii}$  : convergência da entidade  $i$  na interação  $I$ ;

$P_D$  : carregamento das demandas da entidade  $p$ ;

$Q_O$  : carregamento das ofertas da entidade  $q$ ;

$[min] d_{pq}$ : distância mínima entre as entidades  $p$  e  $q$ ;

$i$  : para toda entidade  $i$ ;

$O$  : que contém ofertas.

A aplicação destes modelos configuracionais permite desenvolver análises espaciais da rede de localidades de trabalho bastante diversificadas e com grande nível de desagregação espacial. Podem ser calculados diferentes indicadores, tanto do ponto de vista da oferta da possibilidade de trabalho (indicadores de eficiência), bem como do ponto de vista da demanda (indicadores de equidade).

### **Metodologia**

A metodologia proposta baseia-se em modelos configuracionais, que permitem articular, de forma sistêmica, variáveis relativas ao espaço (distâncias), a uma dada demanda (i.e., dados socioeconômicos) e a uma determinada oferta (i.e., estabelecimentos de comércio e serviços). É proposta a análise comparativa de dois cenários: o primeiro, considerando-se a configuração espacial da cidade num momento imediatamente anterior à implantação do Trensurb; o segundo, adicionando a linha do trem ao sistema espacial urbano. Aplicam-se os modelos de Acessibilidade, Centralidade, Convergência e Oportunidade Espacial, com suporte em um ambiente de SIG. Utiliza-se como estudo empírico o município de Novo Hamburgo, RS.

### *Área de Estudo*

Novo Hamburgo localiza-se na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), no estado Rio Grande do Sul, a 40 km da capital, Porto Alegre. A cidade abrange uma área de 223,60 km<sup>2</sup>, da qual quase 70% é área rural (156,31 km<sup>2</sup>) (FEE, 2014). A Figura 1 apresenta a localização da área de estudo.



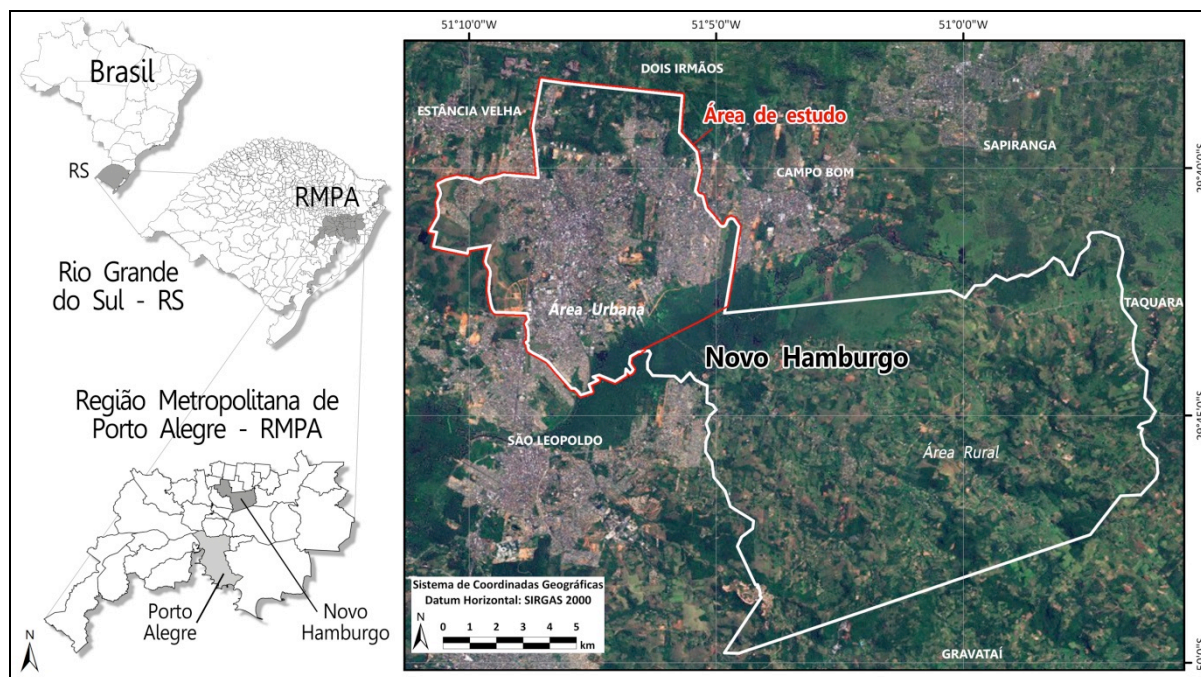


Figura 1 – A área de estudo abrange a área urbana de Novo Hamburgo, que se localiza na porção norte da RMPA. Imagem-base: disponível em ArcGIS Desktop v.10.1 (ESRI, 2012) - ESRI/DigitalGlobe, 2010-2011.

Sendo o oitavo município mais populoso do estado, com 248.251 habitantes (IBGE, 2014), Novo Hamburgo possui altos indicadores de qualidade de vida: o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é de 0,809 (PNUD;IPEA;FJP, 2014), possui o sétimo PIB (Produto Interno Bruto) estadual e um PIB *per capita* de R\$ 23.009,67 (IBGE, 2014). A sua principal atividade econômica é o desenvolvimento de produtos da cadeia coureiro-calçadista. Observa-se que a produção industrial está sendo gradativamente reduzida, e vem se destacando o setor de serviços, que é responsável, atualmente, por mais de 60% do PIB municipal (IBGE, 2014).

#### *Dados Utilizados*

Os dados utilizados nesta análise compreendem: a) População em Idade Ativa (PIA) (IBGE, 2011b) e número de passageiros do Trensurb; b) estabelecimentos de comércio e serviços localizados no município de Novo Hamburgo (IBGE, 2011a); e c) representação vetorial das vias da área de estudo sob forma de trechos de vias (BATTY, 2004).

a) Demanda: a faixa etária do grupo populacional caracterizado como dado de demanda corresponde à PIA, ou seja, à População em Idade Ativa, que compreende a população apta a exercer uma atividade econômica. No Brasil, a PIA inicia-se nos 15 anos de idade e compreende as populações economicamente ativa e não economicamente ativa.

No cenário de análise que já considera a implantação da linha do trem (Cenário-2), além da PIA, utilizaram-se também dados relativos aos usuários diários de cada estação. Nos quantitativos de passageiros fornecidos pelo Trensurb, constam os números de passageiros que passam pelo controle de acesso (i.e., catraca), tanto de entrada quanto de saída, em cada uma das estações, mensalmente, para os meses de março a agosto de 2014. Os valores utilizados correspondem à metade das médias diárias desse período, considerando-se que cada usuário embarca e desembarca na mesma estação.

b) Oferta: estabelecimentos de comércio e serviços. O CNEFE - Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (IBGE, 2011a) consiste numa pesquisa realizada pelo IBGE em etapa anterior ao Censo Demográfico 2010, que apresenta os endereços identificados e suas respectivas espécies. Para este estudo foram utilizadas as seguintes categorias: Domicílios Coletivos, Estabelecimentos Agropecuários, Estabelecimentos de Ensino, Estabelecimentos de Saúde, Estabelecimentos de Outras Finalidades (IBGE, 2011a). Esta constitui em importante fonte de informações sobre uso do solo que abrange todas as cidades do Brasil. Os endereços são disponibilizados para cada entidade da base de dados, e oferecem ainda a possibilidade de diferentes tipos de combinação, como em quadras, CEP ou setor censitário, devido ao georreferenciamento das localidades. A metodologia utilizada para espacialização dessas informações consiste na geocodificação dos endereços (Leite, 2014).

Vale ressaltar que uma limitação inerente a esta base de dados reside no caráter qualitativo dos dados: cada estabelecimento comercial e de serviços conta como uma unidade. Desta forma, os estabelecimentos não foram ponderados por porte, ou seja, uma loja pequena e um supermercado têm o mesmo papel e importância na análise.

No caso do Cenário-2 (“com trem”), agregou-se às representações espaciais dos trechos do Trensurb a quantidade de estabelecimentos comerciais existentes nas estações. O trabalho assume que a demanda permanece constante nos dois cenários, ou seja, as áreas de residência não se alteram; é acrescido somente o número de passageiros do Trensurb.

Após tratamento e seleção dos dados a serem utilizados, a componente relativa à oferta assumiu a configuração conforme exibida na Figura 2.

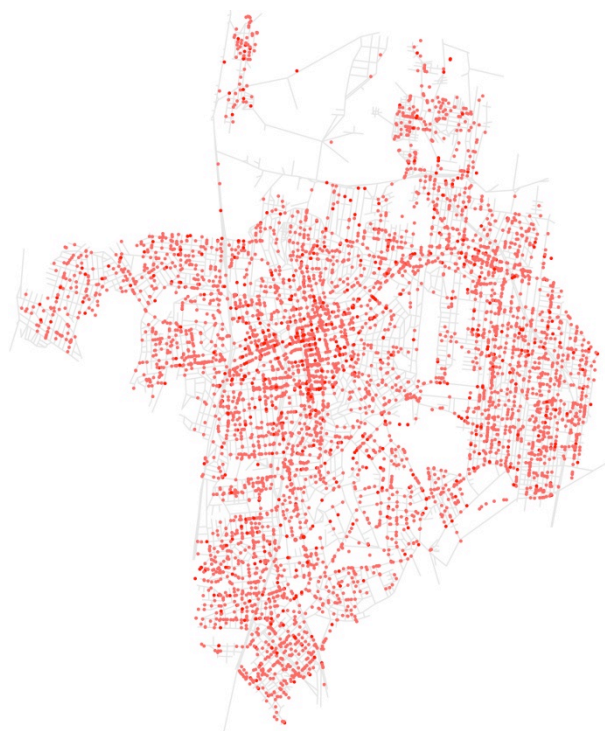


Figura 2 – Estabelecimentos comerciais e de serviços localizados no município de Novo Hamburgo (pontos vermelhos) apresentados sobre a base de trechos de via.

c) Base espacial: rede de trechos de vias. A presente metodologia requer que o sistema em estudo seja representado na forma de redes (Echenique, 1975). Esta representação permite definir a unidade discreta do espaço urbano a ser utilizado, de acordo com os objetivos do estudo. A abordagem adotada é a utilização da unidade espacial do "trecho de rua" (ou trecho de via), que corresponde ao trecho de uma rua localizada entre duas ruas, ou seja, a porção de espaço compreendido entre cruzamentos de vias, descontinuidades ou mudanças de direção (isto é, a face de uma quadra/quarteirão) (Batty, 2004; Zechlinski, 2013). A escolha desta unidade espacial, com elevado nível de detalhe, considera dois fatores: as características de fluxo movimentação nas vias e distribuição de população e estabelecimentos de comércio e serviços. É importante ressaltar que esta representação, por sua vez, não é adequada para medir distâncias métricas na rede. A Figura 3 ilustra os trechos de ruas.

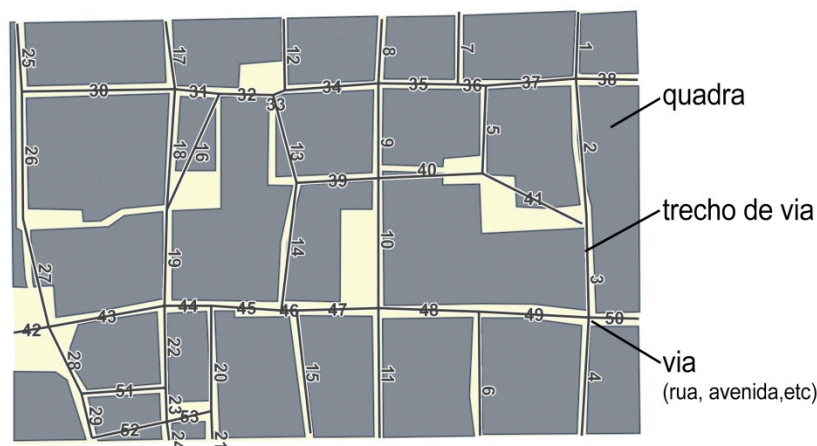


Figura 3 – Um sistema de espaços públicos em que a unidade especial é o trecho de via.

Fonte: adaptado de Krafta (2014, p.146).

Para a representação do sistema viário do município sob análise foi necessário construir três arquivos vetoriais, em formato *shapefile*. Isto se deve à exigência do *software* Medidas Urbanas de não haver sobreposições de linhas (trechos de ruas) cujas conexões não existam de fato no sistema viário, como no caso de uma rua sob um viaduto (quando não é possível acessar um diretamente a partir do outro). Desta forma, para que o *software* Medidas Urbanas “entenda” que cruzamento de trechos não existe, que são apenas decorrência da representação espacial adotada, separou-se o sistema viário da área de estudo em três partes: a primeira camada, com a maior parte dos trechos da malha viária do município (6.784 trechos); a segunda camada, com os trechos relativos às situações em que há mudanças de nível em relação à malha principal (viadutos e elevadas) ou trechos curvos que, criavam cruzamentos inexistentes (6 trechos); e por fim, o terceiro arquivo vetorial apresenta os quatro trechos referentes à linha do trem, cada trecho começando e terminando nas estações do Trensurb (4 trechos). Para esta representação, instituiu-se que cada percurso entre estações seria um trecho, pois como a estrutura do Trensurb é aérea, os únicos pontos de conexão como o sistema viário são as estações de embarque e desembarque. Tais trechos correspondem ao percurso entre as estações de trem Santo Afonso, Industrial, Fenac e Final - Novo Hamburgo. A Figura 4 mostra a representação da representação da rede espacial de Novo Hamburgo sob forma de trechos de via.

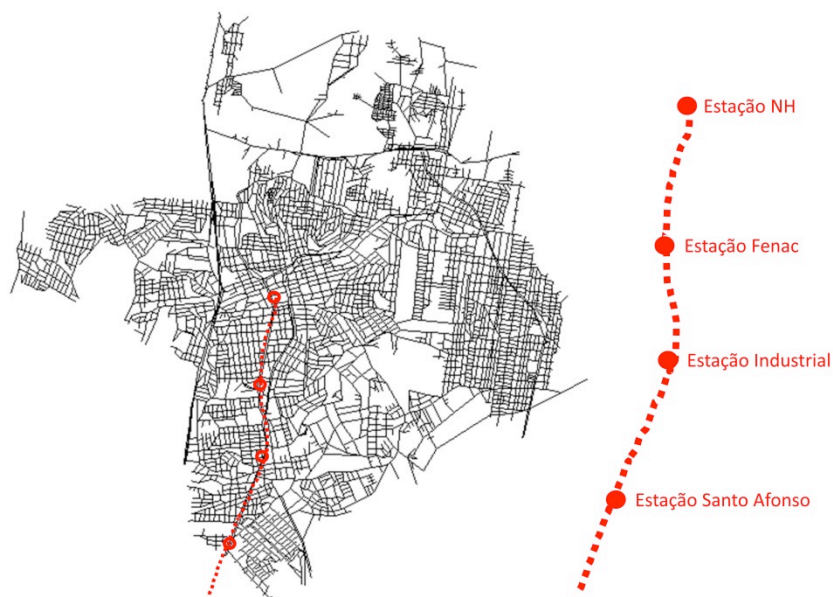


Figura 4 – Representação por trechos do município de Novo Hamburgo, à esquerda. À direita, esquema ampliado da linha do Trensurb.

#### *Etapas Metodológicas*

Os bancos de dados, um para cada recorte da área de estudo (Cenário-1: malha viária sem trem; Cenário-2: malha viária com trem) foram construídos em um ambiente SIG (ArcGIS v.10.1 - ESRI, 2012), onde foram integrados a rede de vias e os dados de demanda e oferta. Os dados de demanda e oferta foram agregados aos vetores dos trechos de rua utilizando técnicas de geoprocessamento.

As bases vetoriais foram então importadas no *software* Medidas Urbanas v.1.5 em “projetos” distintos, um para cada cenário de análise. As etapas subsequentes são desempenhadas da mesma maneira para ambos os projetos: 1) inicialmente, é calculada a conectividade dos trechos a fim de encontrar vértices que estivessem desconectados da rede; 2) uma vez que os projetos são compostos por três camadas distintas da representação espacial (trechos de via), as camadas foram conectadas nos pontos de real intersecção entre os trechos. Esta etapa é realizada manualmente e é de fundamental importância para assegurar que nenhuma aresta (ou conexão da rede) não esteja conectada ao sistema. Desta forma, as camadas relativas aos trechos de via também foram conectadas com a camada relativa à linha do Trensurb, sendo as estações os pontos de conexão. 3) Por fim, são realizadas as análises de diferenciação espacial utilizando os modelos de Acessibilidade, Centralidade, Convergência e Oportunidade Espacial (Krafta, 1994, 1996).

Os resultados obtidos por meio da aplicação destes modelos são inseridos no banco de dados geoespaciais (no SIG) para comparação dos resultados com e sem o Trensurb. As etapas metodológicas estão resumidas no diagrama de blocos na Figura 5.

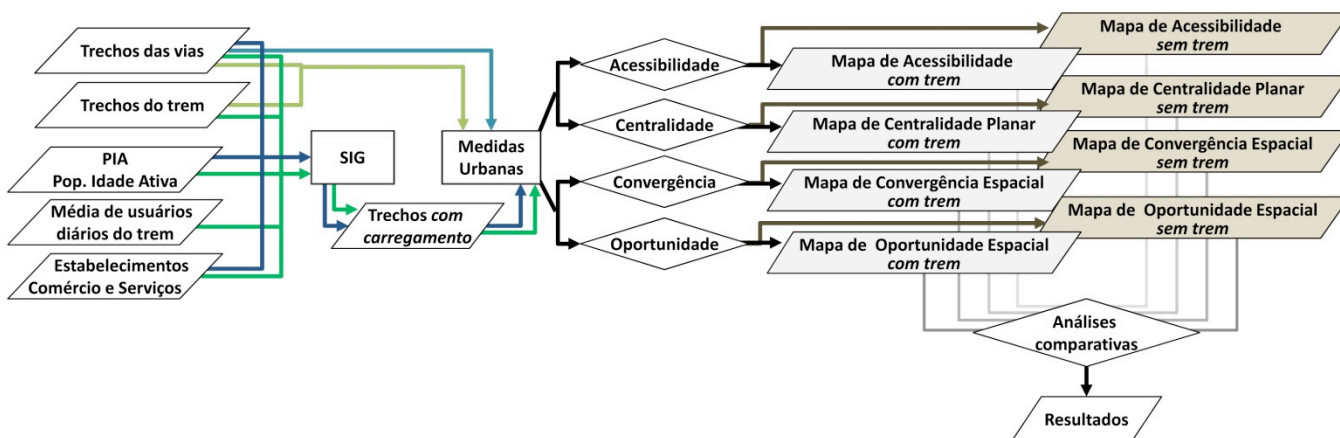


Figura 5 – Diagrama das etapas de desenvolvimento do trabalho.

### Resultados e Discussão

Os quatro modelos aplicados calculam as medidas configuracionais para cada entidade do sistema em análise (i.e., trecho de via). Esses valores numéricos são atribuídos aos vetores espaciais no SIG para posterior representação sob forma de mapas e melhor exploração dos resultados gráficos.

Os resultados obtidos no modelo de *Acessibilidade* apontam para o ganho de importância dessa medida nas regiões em torno das estações de trem. No Cenário-1, os maiores valores de acessibilidade concentram-se no núcleo do sistema (Figura 6a); no Cenário-2, os trechos mais acessíveis aparecem mais distribuídos ao longo da linha do trem (Figura 6b), com reforço da acessibilidade ao sul, na direção a São Leopoldo. Também se pode notar uma perda nos valores de acessibilidade junto a BR-116. Pode-se afirmar que os trechos do trem são mais longos que os do restante do sistema, por conta disso, estes podem ser considerados “encurtadores de distâncias”, fazendo com que as entidades antes localizadas na periferia sul do sistema (Cenário-1), como a chegada do trem, passem a estar a poucos passos topológicos do centro da cidade (Cenário-2), mudando assim suas posições no *ranking* de acessibilidade.

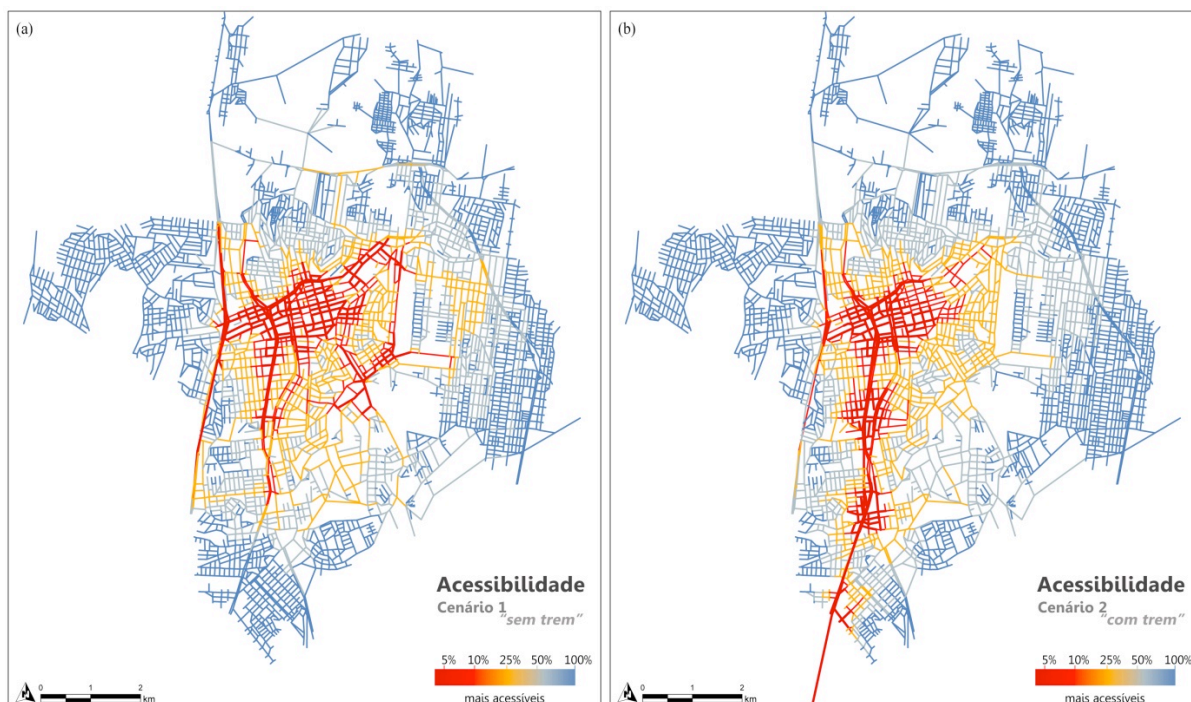


Figura 6 – Mapa de Acessibilidade: (a) do Cenário-1, sem o trem; e (b) do Cenário-2, incluindo os trechos do Trensurb. Nas duas situações, as entidades da rede que obtiveram os maiores valores de Acessibilidade estão representadas na cor vermelha (os 5% mais acessíveis); no outro extremo, os 50% dos trechos menos acessíveis aparecem em azul escuro.

Por sua vez, a análise dos resultados de *Centralidade Freeman-Krafta Planar* indica que, à primeira vista, não houve variações expressivas entre os Cenários 1 e 2 (Figura 7). A instalação do Trensurb, principalmente, a estação final Novo Hamburgo, está localizada em um ponto que já apresentava altos índices de Centralidade. A chegada do trem fez com que essa Centralidade fosse reforçada e por consequência, as avenidas de entradas da cidade, junto à BR-116, perderam importância.

Percebe-se que houve um aumento na centralidade nos trechos ao sul, no entorno do Trensurb. A parte norte da cidade, mais distante da estrutura nova do trem, permanece estável, não há ganho nem perda de centralidade.

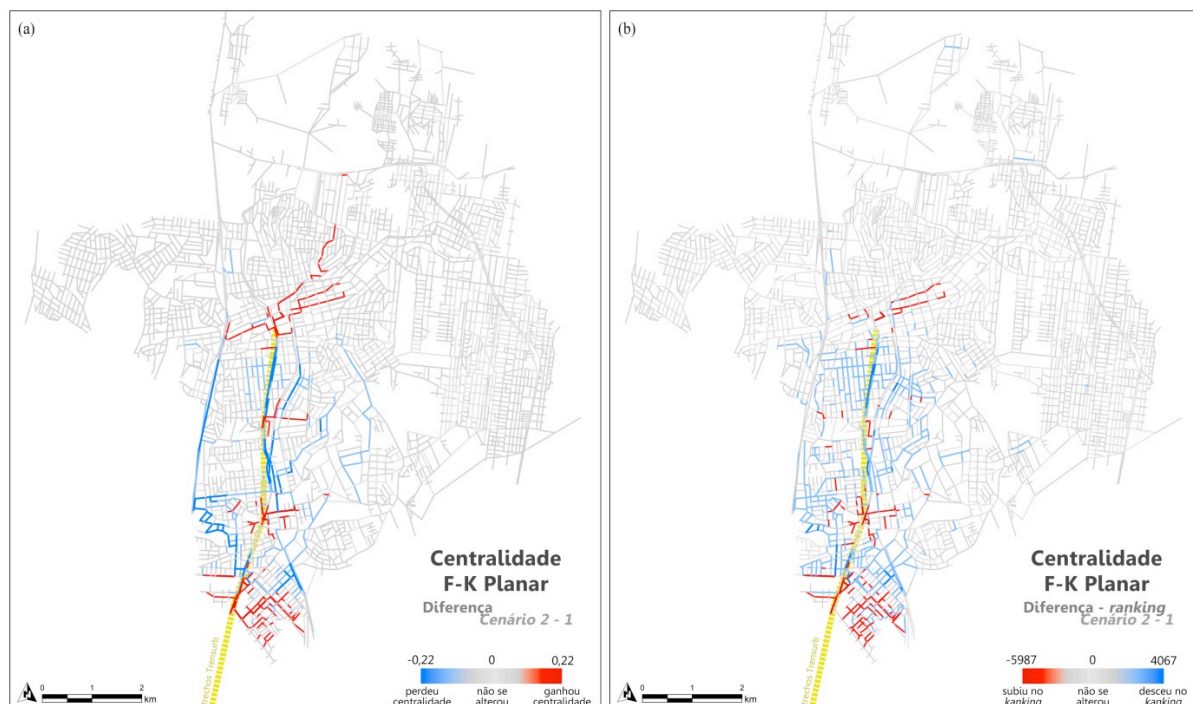


Figura 7 – Mapas de mudança de Centralidade Freeman-Krafta Planar entre os Cenários 2 (com trem) e 1 (sem trem): (a) calculada por meio da diferença entre a Centralidade Relativa do Cenário-2 e 1; e (b) calculada a partir da mudança de posição no *ranking* de Centralidade no Cenário-2 com relação ao Cenário-1. Em vermelho e em azul estão representados os trechos de via que tiveram seus valores de Centralidade Planar muito alterados na transição do Cenário-2 com relação ao Cenário-1; os trechos em vermelho, em (a) tiveram seus valores acrescidos em centralidade com a implantação do Trensurb; em (b) sua posição subiu no *ranking*; aqueles em azul, em (a) perderam centralidade; em (b) perderam posição no *ranking*; por fim, os trechos em cinza apresentaram em (a) poucas alterações na centralidade calculada entre os Cenários 1 e 2; em (b) pouca mudança nas suas posições no *ranking* de Centralidade.

Os modelos decorrentes do modelo de centralidade valorada original fazem uso de grafos direcionados na modelagem do sistema urbano, permitindo associar atributos diferenciados às origens (i.e., demanda) e destinações (i.e., oferta) dos vetores de direção. Desta forma, os modelos de Convergência e Oportunidade Espacial produzem resultados que consideram em seu cálculo, além das medidas baseadas na configuração da rede espacial, os dados de demanda e oferta.

A medida de Convergência pode ser traduzida como a localização privilegiada de pontos de oferta, em função da distribuição de potenciais consumidores (i.e., demanda) e dos demais pontos de oferta, podendo retratar a eficiência ou capacidade de atrair usuários para diferentes pontos de oferta. A análise dos mapas de Convergência Espacial (Figura 8)



evidencia a perda de “importância” da BR-116 e o ganho dos novos trechos do trem. No centro comercial do município, está localizada parte dos trechos mais convergentes de todo sistema.

Num primeiro momento, é possível concluir que a implantação do trem, associada à pequena quantidade de estabelecimentos comerciais que possui em suas estações, impacta de forma sutil na convergência deste sistema. Em casos análogos, observa-se que, com a chegada de uma infraestrutura de transporte de qualidade em um sistema urbano já consolidado, o interesse locacional do setor de comércio e serviços tende a se voltar para áreas próximas às estações, ou de fácil acesso às mesmas, gerando uma transferência desses estabelecimentos de um local da cidade para outro. Neste estudo, este efeito só poderá ser percebido no cálculo da medida de Convergência Espacial somente quando já se possuir de fato os dados referentes à implantação dos novos empreendimentos (ou simulando-se esse cenário).

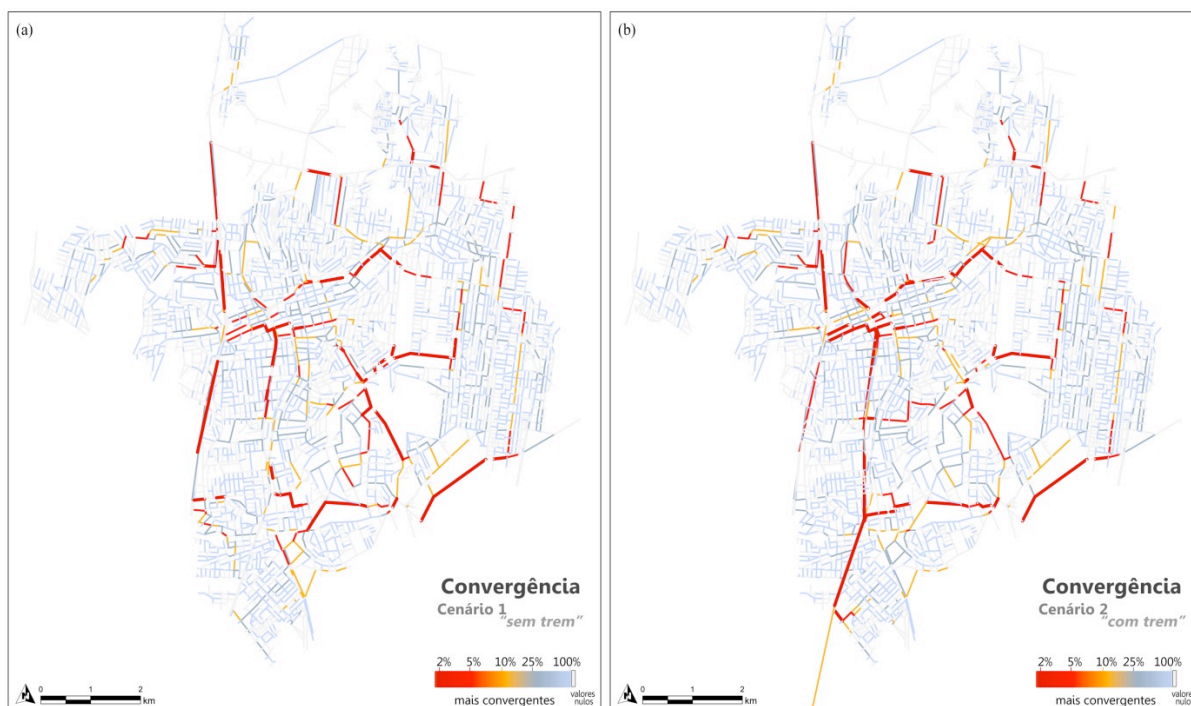


Figura 8 – Mapas de Convergência Espacial dos estabelecimentos de comércio e serviços em relação à demanda (PIA): (a) do Cenário-1, sem o trem; e (b) do Cenário-2, incluindo os trechos do Trensurb. Os trechos mais convergentes são exibidos em vermelho.

A Oportunidade Espacial, por sua vez, reflete o privilégio de localização residencial (i.e., demanda) diante de um sistema de serviços (i.e., oferta), apontando quais as melhores posições para residências em relação à distribuição dos comércios e serviços à sua volta. Dado isso, percebe-se uma sutil alteração ao sul do sistema junto à estação Rio dos

Sinos (Figura 9). O restante do sistema permanece com a distribuição semelhante em ambos os cenários. Possivelmente não há grandes alterações nos cenários, pois o trem adiciona poucos pontos comerciais. Sua principal função é de transporte de grandes massas, podendo-se afirmar que os pontos comerciais nele instalados são uma consequência da sua implantação.

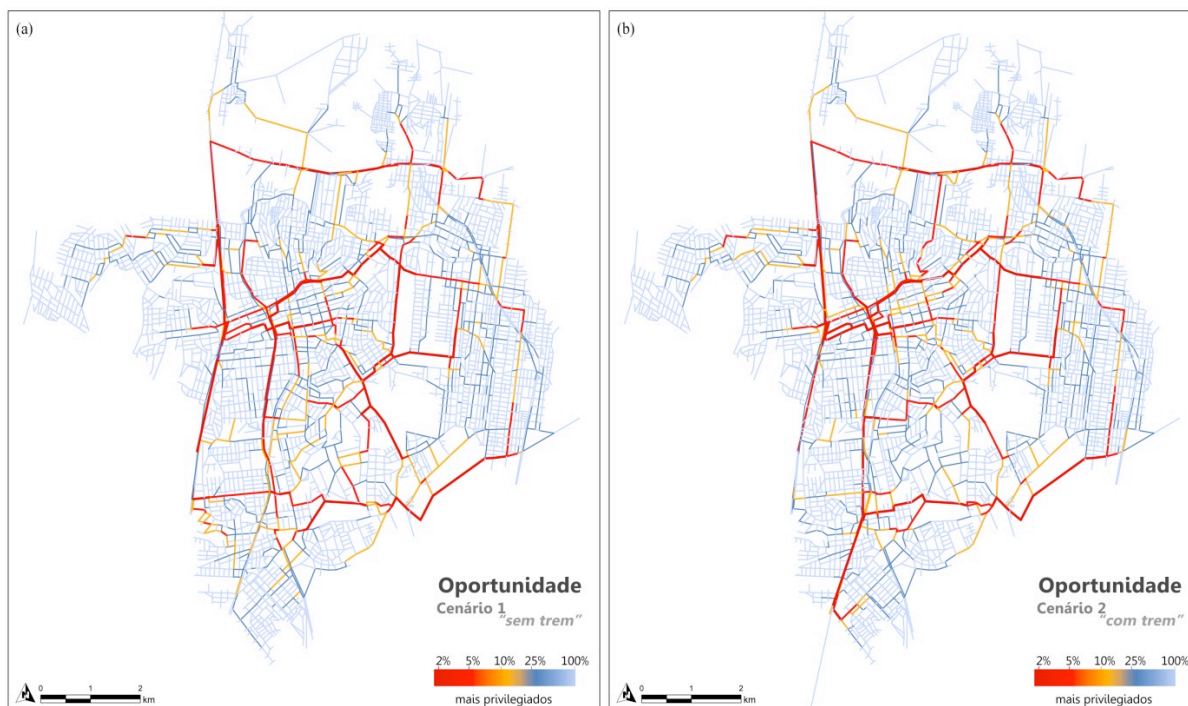


Figura 9 – Mapas de Oportunidade Espacial das localizações da PIA em relação à ocorrência de estabelecimentos de comércio e serviços: (a) do Cenário-1, sem o trem; e (b) do Cenário-2, incluindo os trechos do Trensurb. Os trechos com maiores valores de Oportunidade Espacial são exibidos em vermelho.

### Conclusões

As análises desenvolvidas no presente estudo mostram que o trem, por sua magnitude, tanto em infraestrutura, quanto em capacidade de transportar grande número de pessoas, é capaz de alterar as dinâmicas do sistema urbano. Percebem-se mudanças morfológicas, relacionadas exclusivamente ao desenho da cidade e ao traçado do trem, e mudanças socioeconômicas, relacionadas aos deslocamentos dos moradores, às localizações dos comércios e serviços e ao mercado imobiliário.

Analisar a cidade do ponto de vista de um sistema urbano, através de modelos que simulem suas características de funcionamento, pode ajudar a visualizar zonas latentes ou com problemas. Com a expansão dos recursos computacionais, o uso dos modelos mostra-se

útil na tentativa de ajudar os planejadores a responder questões urbanas relativas ao uso do solo, sistemas de circulação, distribuição das atividades no tecido, entre outros. O aprofundamento deste estudo, por apresentar características preditivas, pode ajudar o poder público na tomada de decisão na escolha de um melhor traçado para futura expansão até as cidades vizinhas.

Esta pesquisa reafirma que o planejamento urbano deve ser tratado de maneira sistêmica, pois morfologia urbana e sistema de circulação estão ligados se inter-relacionam, alterando mutuamente as características um do outro.

### Referências Bibliográficas

- ALLEN, P. M. 1997. *Cities and regions as self-organizing system*, Amsterdam: Gordon & Breach Science Publishers.
- BATTY, M. 2004. A new theory on Space Syntax. *CASA Working Paper Series*, 75. Londres: CASA Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London.
- BATTY, M. 2005. *Cities and Complexity. Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models and Fractals*, Cambridge/Londres, MIT Press.
- BERRY, B.J.L. 1971. *Geografía de los centros de mercado y distribución al por menor*, Barcelona, Vicens-Vives.
- BERTUGLIA, C.S.; RABINO G.A. 1994. Performance Indicators and evaluation in contemporary urban modelling. In: Bertuglia C. S.; Clarke G. P.; Wilson A.G. (eds.). *Modelling the city. Performance, Policy and Planning*, Londres, Routledge.
- ECHENIQUE, M. 1975. *Modelos Matemáticos de la Estructura Espacial Urbana, Aplicaciones en América Latina*, Buenos Aires, Ed.SIAP/Ediciones Nueva Visión.
- ESRI – ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC.2012. *ArcGIS. Professional GIS for the desktop, v. 10.1*. Redlands, EUA.
- FEE – FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA SIEGFRIED EMANUEL HEUSER. 2014. *Novo Hamburgo*. Disponível em: <[http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg\\_municipios\\_detalhe.php?municipio=Novo+Hamburgo](http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg_municipios_detalhe.php?municipio=Novo+Hamburgo)>
- FREEMAN, L.C. 1977. A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 40, 35-41. DOI: 10.2307/3033543.
- HAGGETT, P.; CHORLEY, R. 1969. *Network analysis in geography*, Londres, Edward Arnold.

HILLIER, B.; HANSON, J. 1984. *The social logic of space*, Cambridge, Cambridge University Press.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2011a. *Censo Demográfico 2010: Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos*. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\\_Demografico\\_2010/Cadastro\\_Nacional\\_de\\_Enderecos\\_Fins\\_Estatisticos/SP/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Cadastro_Nacional_de_Enderecos_Fins_Estatisticos/SP/)>

\_\_\_\_\_. 2011b. *Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo Agregados por Setor Censitário - Características da População e dos Domicílios*. Rio de Janeiro: IBGE. Rev. 02/22/2013. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\\_Demografico\\_2010/Resultados\\_do\\_Universo/Agregados\\_por\\_Setores\\_Censitarios/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios/)>.

\_\_\_\_\_. 2014. *Cidades*. Rio Grande do Sul – Novo Hamburgo. População estimada 2014. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/232UZ>>.

INGRAM, D.R.1971. The concept of accessibility: A search for an operational form. *Regional Studies*, 5, 101-107. DOI: 10.1080/09595237100185131.

KOENIG, J.G.1980. Indicators of urban accessibility: Theory and application. *Transportation*, 2, 145-172. DOI: 10.1007/BF00167128.

KRAFTA, R. 1994. Modelling intraurban configurational development. *Environment & Planning B*, 21, 67-82. DOI: 10.1068/b210067.

KRAFTA, R. 1996. Urban convergence: morphology and attraction. *Environment & Planning B*, 23, 37-48. DOI: 10.1068/b230037.

KRAFTA, R. 2008. Fundamentos del análisis de centralidad espacial urbana. *Centro-h, Revista de la Organización Latinoamericana y del Caribe de Centros Históricos*, 2, 57-72.

KRAFTA, R. 2014. *Notas de Aula de Morfologia Urbana*, Porto Alegre, Ed. UFRGS.

LEITE, H.L.2013. Georreferenciando Dados de Uso do Solo. Um Método Para a Espacialização do CNEFE. Caderno de Resumos da 2ª Jornada de Morfologia e Modelos Urbanos. Pelotas, FAURB/UFPEL, 1-4.

PETRY, L.1963. *Novo Hamburgo*, São Leopoldo, Fenac/Rotermund.

PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO; IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; FJP – FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. 2014. *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013*. IDHM. Disponível em <[http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/o\\_atlas/idhm/](http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/o_atlas/idhm/)>.

POLIDORI, M.C.; GRANERO, J.; KRAFTA, R. 2001. *Medidas Urbanas. v 1.5*. Software. Pelotas: FAURB/UFPEL.

PORTUGAL, L.; GOLDNER, L.2003. *Estudo de pólos geradores de tráfego e de seus impactos nos sistemas viários e de transporte*, São Paulo, Ed. Edgard Blücher.

PORTUGALI, J. 2000. *Self-organization and the Cities*, Berlim, Springer-Verlag.

RIBEIRO, B.M.G.; CORTELETTI, L.; LIMA, L.; MARASCHIN, C.2014. Spatial Analysis of School Network Applying Configurational Models. In: Murgante, B. et al. (Org.). *Lecture Notes in Computer Science*. Springer International Publishing, 4, 109-124. DOI: 10.1007/978-3-319-09147-1\_9.

SERRANO CAMBRONERO, M.M.2002. Influencia de las carreteras en el desarrollo urbano de la comunidad de Madrid en el periodo de 1987-1997. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 459-469.

SOJA, E.W.1985. The spatiality of social life: towards a transformative retheorisation. In: Gregory, D.; Urry, J. (eds.) *Social relations and spatial structures*, Londres, MacMillan.

TALLEN, E. 1998. Visualizing fairness: Equity maps for planners. *Journal of the American Planning Association*, 64, 22-38. DOI:10.1080/01944369808975954.

VASCONCELLOS, E.A.1996. *Transporte urbano nos países em desenvolvimento*, São Paulo, Ed.Unidas.

VASCONCELLOS, E.A.2005. *A cidade, o transporte e o trânsito*, São Paulo, Ed. Pró Livros.

ZECHLINSKI, A.P.P.2013. *Configuração e Práticas no Espaço Urbano: uma análise da estrutura espacial urbana*. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional), Porto Alegre, UFRGS/PROPUR.