

# **ANALISE DOS PADRÕES ESPACIAIS DE ACESSIBILIDADE DA CIDADE AREQUIPA (PERU)**

**R. M. A. Medrano, P. W. G. Taco, G. B. G. Taco**

## **RESUMO**

A estratégia de transporte da cidade de Arequipa, Perú, é desenvolver uma rede de transporte público integrado que possa suportar a qualidade e maximizar a acessibilidade do serviço de transporte público BRT proposto para a cidade. Para a análise da acessibilidade o índice basea-se no custo do tempo de viagem de cada arco da rede para cada zona de tráfego em análise. A técnica do índice de espalhamento de Moran foi aplicada para a análise dos padrões espaciais das áreas na base do índice de acessibilidade. O valor do tempo de viagem afeta de distintas maneiras a acessibilidade das áreas, como apresenta o análise dos padrões espaciais para distintos cenários. Este documento também procura apresentar que índices simples de acessibilidade podem suportar aos tomadores de decisão.

## **1 INTRODUÇÃO**

Arequipa, conhecida no mundo como a "Cidade Branca" pelo seu cilhar, uma pedra vulcânica branca usada nas construções coloniais, é a capital da província do mesmo nome e com uma população de 864.250 habitantes a segunda cidade maior do Peru depois de Lima. A cidade de Arequipa tem destaque na macro região sul pela sua dinâmica e crescimento urbano. Atualmente tem uma extensão de 2923.53 km<sup>2</sup>, sendo que a sua cobertura inclui 17 distritos da Província de Arequipa. O crescimento da população nos últimos 40 anos é a principal causa do crescimento da área metropolitana. Este crescimento significou um aumento em áreas residenciais, mas não assim, o aumento proporcional no equipamento necessário para o bom funcionamento destes setores. Existe, então, uma relação tamanho população/equipamento com um desequilíbrio muito acentuado.

Além do crescimento descontrolado e saturação de atividades dentro da área urbana, surgem os problemas de transporte e mobilidade na cidade, devido a um sistema de transporte caótico e inadequada infra-estrutura rodoviária, onde as estradas devem cumprir diferentes funções e suportar tráfego de nível nacional, regional, urbano e local. Assim, As autoridades municipais das três últimas administrações sempre mostraram o interesse que Arequipa seja uma cidade moderna, ordenada e saudável, onde seus habitantes e visitantes possam morar em condições ambientais adequadas. Portanto muitos projetos de transporte foram elaborados para atingir esses projetos. Mas muitas das propostas no foram planejadas de forma integrada como a atual "Terminal Terrestre Interurbano de Passageiros (TTIP)" que estando numa zona próxima ao centro da cidade origina vários conflitos.

Outra proposta estratégica importante foi o Sistema Integrado do Transporte de Arequipa - SIT. O SIT implica uma revolução no transporte da cidade e o projeto de "Melhoramento Integral e Sustentável dos serviços do Transporte Público da Cidade de Arequipa". Ainda o

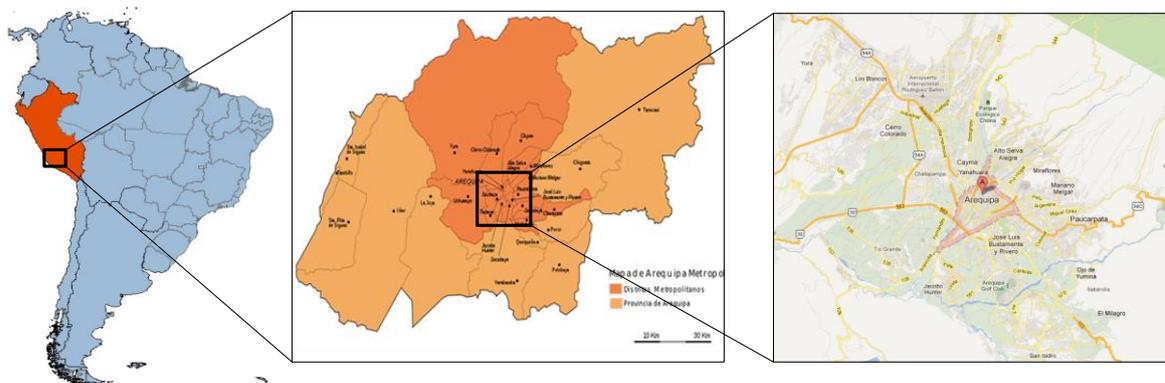
SIT considera a otimização operacional das rotas diminuindo de 243 para 80, ainda da aplicação da legislação nacional e provincial respeito aos veículos autorizados para o transporte público, e o uso de combustível pouco poluente.

Neste contexto, o trabalho analisou os padrões espaciais da acessibilidade como impacto da implementação dos projetos estratégicos do município de Arequipa. Para a análise da acessibilidade o índice foi baseado no custo do tempo de viagem de cada aresta da rede para cada zona de tráfego em análise. A técnica do índice de espalhamento de Moran foi aplicada para a análise dos padrões espaciais das áreas na base do índice de acessibilidade. O valor do tempo de viagem afeta de várias maneiras a acessibilidade das áreas, como apresentou o análise dos padrões espaciais para distintos cenários. Este trabalho também procurou apresentar que os padrões espaciais de acessibilidade podem suportar aos tomadores de decisão no planejamento de projetos de transporte urbano.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DA CIDADE E SEU AMBIENTE DE TRANSPORTE

De acordo com (Peris *et al.*, 2011) “Arequipa fica no sul do Perú ao lado do deserto de Atacama e em uma área de influencia sísmica”. Politicamente a região de Arequipa esta dividida em oito províncias, sendo uma delas a Província de Arequipa com uma população de 864.250 habitantes numa superfície de 9. 682,02 km<sup>2</sup> e uma densidade populacional de 89,3 Hab./km<sup>2</sup>.

Arequipa é uma cidade e uma área metropolitana, que em 2007 (INEI, 2011) tinha uma população de 749.291 habitantes, sendo considerada a segunda cidade do Perú em população. A área metropolitana (cidade de Arequipa) que tem uma superfície de 2.900 km<sup>2</sup> esta dividida em 19 distritos e, é uma entidade sem competência legal (Peris *et al.*, 2011).



**Fig. 1 Localização da cidade de Arequipa**

Arequipa apresenta um “crescimento sustentado desde 1940 sendo o seu HDI 0,658, um dos melhores do Peru”. Infelizmente, sendo que esta cidade é a segunda em importância neste país, a sua “taxa de desemprego esta acima do meio nacional e a incidência de pobreza de 44,1 % esta concentrada na interface urbano-rural e áreas de favelas no centro da cidade” (Peris *et al.*, 2011).

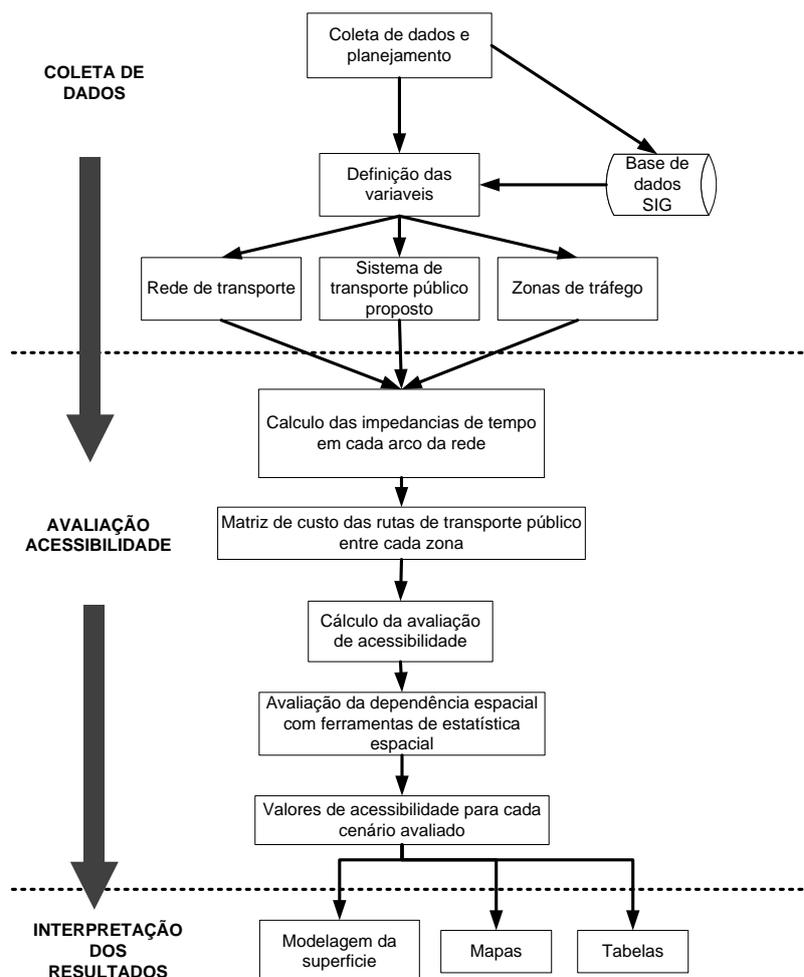
Com o apoio técnico e financeiro do BID, a ONG internacional EMBARQ e a Corporação Andina de Fomento – CAF colocaram em valor os estudos já feitos, sendo até agora que o projeto já tem o seu código SNIP No. 77545. Isto fez que o projeto fosse declarado de

viável, fechando assim a etapa de pré-inversão. Neste sentido o projeto já esta na primeira etapa, pois tem-se assegurado o financiamento do Governo Regional de Arequipa, da Sociedade Civil Cerro Verde e a Municipalidade Provincial.

O projeto vai melhorar progressivamente o serviço de transporte urbano, pois a frota de transporte publico coletivo estará formada por 1700 veículos modernos com combustível pouco contaminante que reduziram os níveis de poluição e acidentes de transito na cidade. Assim sendo, o estudo da acessibilidade através do estudo de padrões espaciais justifica o nosso trabalho, pois assim poderemos conhecer o comportamento da população para o novo serviço BRT.

### 3 METODOLOGIA

A análise da acessibilidade aborda a formulação do conceito de acessibilidade, seleção ou desenvolvimento apropriado dos indicadores de acessibilidade, aplicação desses indicadores e interpretação dos resultados. Dado a natureza espacial da acessibilidade, os sistemas de informação geográfica são uma ferramenta potencial para a análise de acessibilidade pela facilidade que oferece na coleta de dados. Mas combinado com as técnicas de estatística espacial ele permite introduzir uma nova perspectiva da dependência espacial que pode ter o índice, por área, utilizado neste trabalho. Para tal caso foi desenvolvida a metodologia ilustrada na Figura 2.

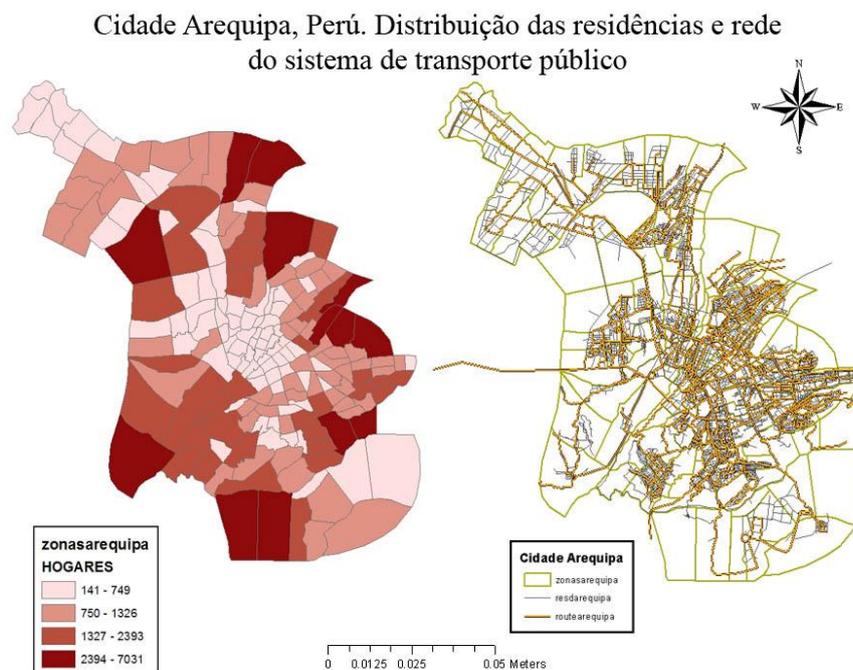


**Fig. 2 Metodologia proposta**

### 3.1 Coleta de dados

Para poder medir a acessibilidade da cidade de Arequipa. Definam-se como elementos importantes os seguintes: zonas de tráfego, rede viária e o sistema de rotas de transporte público proposto. A base de dados em sistemas de informação geográfica (GIS) do estudo realizado para o projeto “Sistema Integrado de Transporte (SIT) 2008” foi utilizada, a qual foi fornecida pela prefeitura de Arequipa. A cidade foi dividida em 184 zonas de tráfego, com os respectivos centróides localizados nos centros administrativos ou centros de maior concentração de atividades.

Os dados da rede viária representam todo o sistema viário da cidade incluindo as estradas de fluxos menores. A rede viária consta de 12575 arcos e 8565 nós. Dentro dos atributos mais importantes da rede viária estão: as velocidades de circulação para o transporte público e o custo de tempo de viagem em minutos de cada arco, cuja denominação foi de “IVTT”. O sistema de rotas de transporte público do projeto SIT 2008, consta de 380 rotas de ônibus incluindo as rotas de BRT, e de 5636 paradas de ônibus. É possível observar que o sistema proposto não tem uma cobertura espacial total de todas as zonas de tráfego analisadas, algumas zonas periféricas encontram-se sem cobertura.



**Fig. 3 Zonas de tráfego, rede viária e sistema de rotas da cidade Arequipa**

### 3.2 Avaliação da acessibilidade

A acessibilidade não é fácil de medir e não existe um método ou técnica que seja o melhor para atingir a quantificação da acessibilidade (Gutierrez, 2001). A escolha de um indicador afeta os padrões espaciais da acessibilidade (Talen e Anselin, 1998; Apud Vandelbuck et al, 2009). Gutierrez e Urbano (1996), Halden (2002) indicam que a qualidade do análise e a situação a ser analisada definem a técnica a ser utilizada. Por essa razão, a variável utilizada para a medição da acessibilidade foi o custo generalizado do tempo de viagem de cada arco da rede para as rotas de transporte público, com o objetivo de medir o desempenho do sistema através da avaliação da acessibilidade.

Na base do cálculo feito no projeto SIT 2008, o “IVTT” (Tempo de viagem de cada arco em minutos calculado a partir da velocidade dos ônibus e do comprimento de cada arco) foi utilizado para o cálculo do custo de tempo. Por tanto, a matriz de custo do tempo de viagem entre cada zona de tráfego foi construída com base nas rotas do transporte público utilizando-se o software Transcad. Obtida a matriz de custos generalizados de tempo entre cada zona, foi calculado o total de tempo de viagem para acessar a cada zona de tráfego como se apresenta na seguinte equação:

$$TGA_i = \sum_j^m CIVTTA_{ij} \quad (1)$$

Onde:

$TGA_i$  = Total de Tempo generalizado de viagem de acesso à zona  $i$ ,

$CIVTTA_{ij}$  = Tempo de viagem de acesso da zona  $j$  à zona  $i$ .

Considera-se o tempo de viagem generalizado como uma impedância que existe a medida que cada rota de transporte vai deslocando-se de uma zona a outra zona. Outra questão muito importante é também que se está analisando a integração que oferece o sistema proposto no projeto SIT 2008, já que resulta interessante ver os níveis de acessibilidade que oferece este sistema integrado e se os custos de tempo de uma zona a outra realmente permitem integração.

Finalmente para avaliar a acessibilidade de cada zona se elaboro um índice de acessibilidade na base da seguinte formulação:

$$IAC_i = \frac{TGA_i}{\sum_i^n TGA_i} \quad (2)$$

Onde:

$IAC_i$  = índice de acessibilidade da zona  $i$ ,

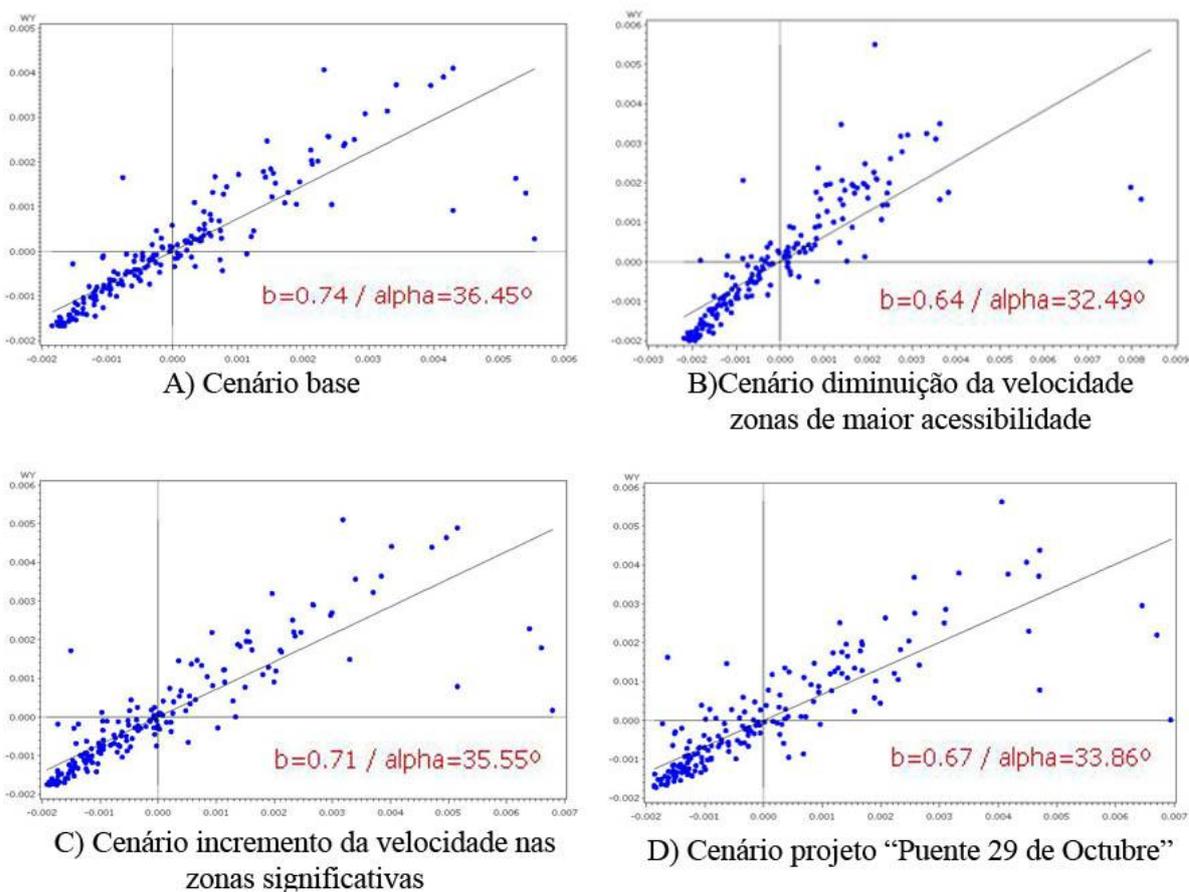
$TGA_i$  = Total de Tempo generalizado de viagem de acesso à zona  $i$ .

Como a variável utilizada para o cálculo do índice de acessibilidade é o tempo, por tanto as zonas menos acessíveis seriam as zonas com os maiores índices de acessibilidade porque existiria uma relação inversa entre o tempo de viagem e a acessibilidade, maior tempo de viagem significa que a zona é menos acessível, e menor tempo de viagem seria menor valor do índice calculado e, portanto maior acessibilidade da zona.

Para o restante do estudo será utilizado o Diagrama de Espalhamento de Moran que permite visualizar a dependência espacial existente entre as zonas de tráfego através da comparação entre o valor do índice de acessibilidade calculado ( $IAC_i$ ) na área (polígono analisado) e o valor médio da variável nas áreas vizinhas (polígonos adjacentes). Através desta metodologia estatística de análise de dados distribuídos espacialmente em zonas de tráfego, obtém-se de modo bastante simplificado, a identificação de “clusters” (agrupamento de áreas semelhantes), além de áreas de transição. O módulo criado pelo Professor Alan Ricardo da Silva da Universidade de Brasília no software SAS 9.2 será utilizado para este fim. Finalmente distintos cenários de acessibilidade serão analisados para observar a variabilidade da dependência espacial da acessibilidade.

## 4 ANALISIS DOS RESULTADOS

Quatro cenários foram analisados para medir a variabilidade da acessibilidade, com base nos padrões espaciais, e o provável desempenho do SIT 2008. Estes quatro cenários foram: A) cenário base sem nenhuma modificação, B) segundo cenário diminuição da velocidade na rede das zonas de maior acessibilidade, C) terceiro cenário incremento da velocidade na rede das zonas significativas na análise LISA ao 95% de significância, D) quarto cenário implementação do projeto “Puente 29 de Octubre”.



**Fig.5 Diagramas de espalhamento de Moran para os quatro cenários em análise**

Os diagramas de espalhamento de Moran para os quatro cenários avaliados, Figura 5, apresentam valores do índice de correlação espacial significativos. O que indica que existe uma dependência e correlação espacial referente à variável acessibilidade IAC (índice de acessibilidade calculada) entre as zonas analisadas. Na aplicação do diagrama de espalhamento de Moran as zonas analisadas são classificadas em quatro grupos:

- (High-High), zonas com valores altos do IAC em análise com vizinhos também de alto valor. Zonas dentro de esta classificação têm baixa acessibilidade.
- (Low-Low), zonas com valores baixos do IAC em análise com vizinhos também de baixo valor. Zonas dentro de esta classificação têm alta acessibilidade.
- (High-Low), zonas com valores altos do IAC em análise com vizinhos de baixo valor. Zonas dentro de esta classificação são zonas de transição.
- (High-High), zonas com valores Baixos do IAC em análise com vizinhos de alto valor. Zonas dentro de esta classificação são zonas de transição.

Com base nos resultados obtidos da análise estatística espacial é possível observar a variabilidade dos padrões espaciais da acessibilidade para cada cenário elaborado. A maior tendência e concentração dos dados analisados para os quatro cenários apresentam-se no grupo de classificação “Low-Low”. Não somente existe uma mudança dos valores de acessibilidade em cada zona senão também uma variação da dependência espacial e os padrões espaciais.

O cenário B resulta apresenta-se como menos favorável, demonstrando uma dependência alta sobre as zonas centrais e a rede viária dentro destas. O cenário C e D apresentam melhoras comparados com o cenário A ou cenário base, mas o cenário C apresenta ser o mais significativo. Por tanto o cenário D que analisa o projeto do “Puente 29 de Octubre” resulta não gerar benefícios importantes para a acessibilidade da cidade.

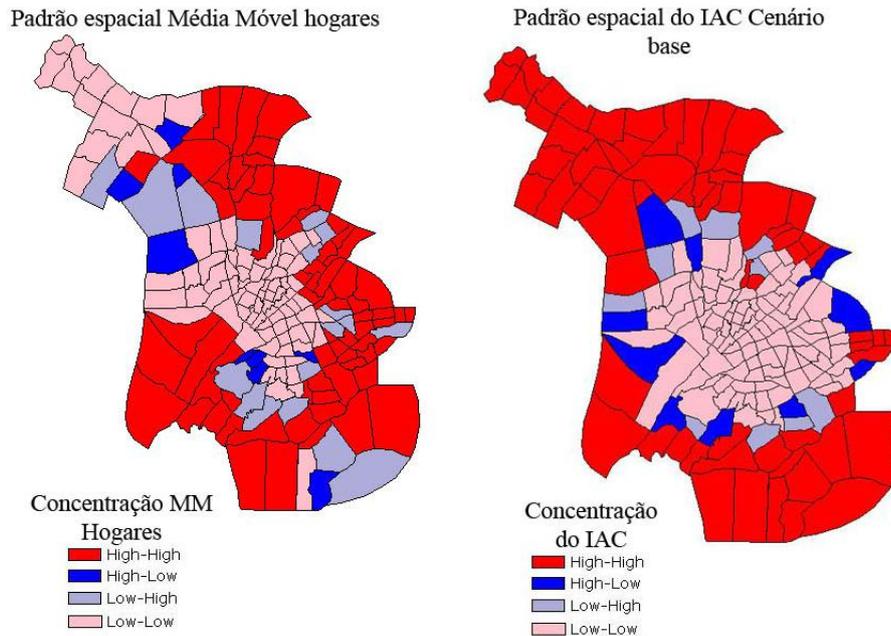
**Tabela 1. Resultados da análise de dependência espacial dos quatro cenários.**

	Coeficiente de correlação I Moran b	% Zonas alta acessibilidade	% Zonas menor acessibilidade	% Zonas transição	Min. Valor IAC	Max. Valor IAC
Cenário A	0,74	53,80	35,33	10,86	0,003644	0,01103
Cenário B	0,64	50,00	39,13	10,87	0,003293	0,013919
Cenário C	0,71	59,78	32,07	8,15	0,003581	0,012283
Cenário D	0,67	55,98	32,07	11,96	0,003629	0,012429

#### 4.1 Cenário A: cenário base

O cenário base apresenta a maior acessibilidade nas zonas centrais da cidade. Observando a distribuição do IAC por zona de tráfego só uma parte das zonas centrais apresentam a maior acessibilidade, mas no análise da dependência espacial é possível observar que muitas das zonas vizinhas se encontram dentro do padrão “High-High” o que indica que estas zonas também têm uma alta acessibilidade. Também como é característico em muitas cidades as zonas Periféricas ou zonas com maiores distancias do centro da cidade mostram-se como as menos acessíveis. Portanto existe uma alta dependência espacial de acessibilidade sobre as zonas centrais e as zonas periféricas (Figura 6).

O desempenho do projeto SIT 2008 pode-se observar como não muito efetivo para a situação em análise tomando em conta que as zonas periféricas sofrem de maiores tempos de viagem como apresentam os padrões espaciais. E ele não consegue servir a maior parte da população, considerada para o ano de estudo, como apresenta a Figura 6 a concentração da media móvel das residências e o padrão espacial da acessibilidade. Considerando que a dinâmica das cidades é possível que as zonas periféricas possam ser zonas de expansão e crescimento populacional, e por tanto o SIT não teria um desempenho apropriado para atender as zonas de crescimento.



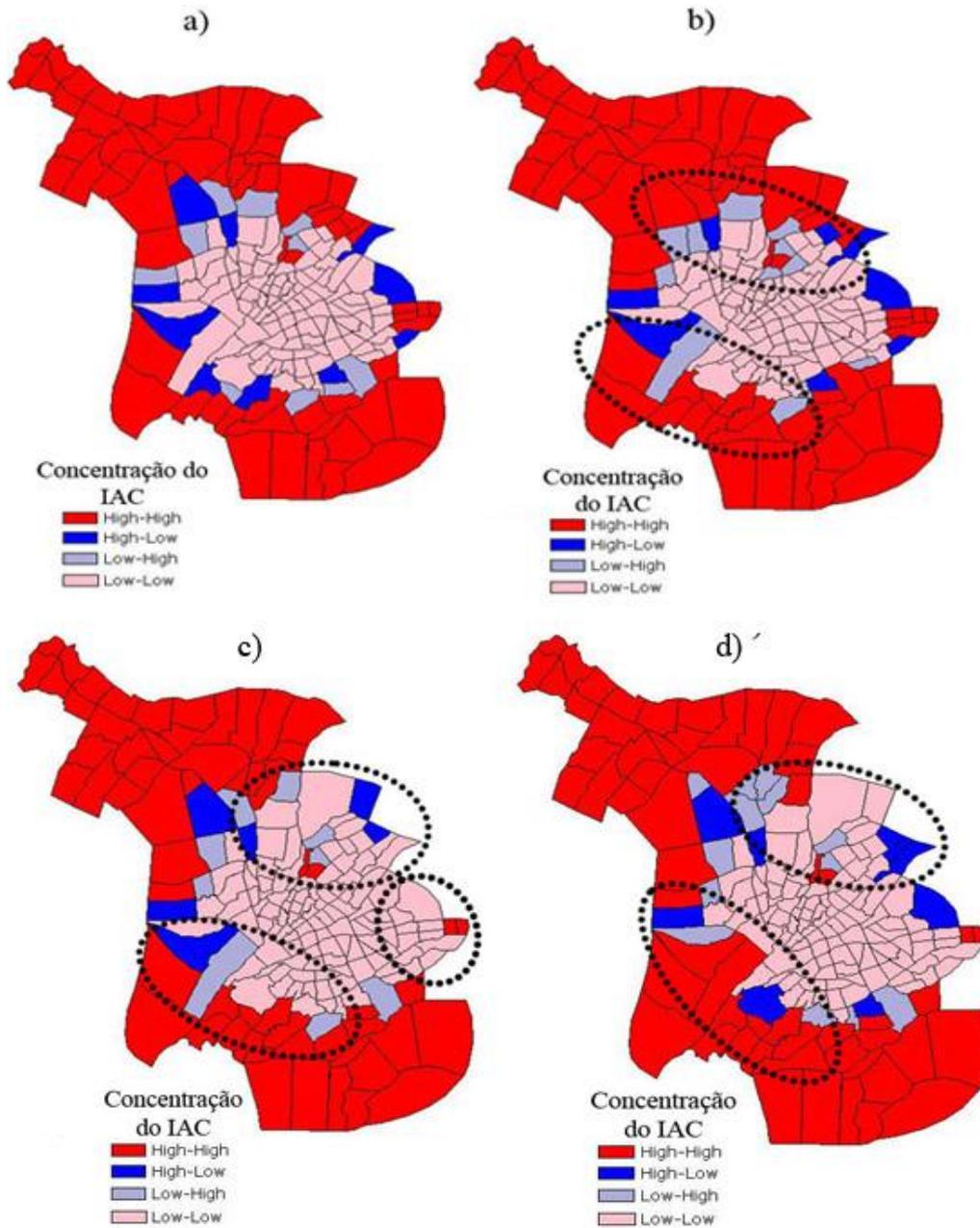
**Fig. 6 Padrões espaciais de residências e Cenário A “cenário base”**

#### 4.2 Cenário B

No cenário B é possível observar que a diminuição da velocidade na rede das zonas de maior acessibilidade produz maiores padrões espaciais de zonas com baixa acessibilidade comparado com o cenário A (cenário base). O aumento de zonas de baixa acessibilidade permite entender a existência de dependência espacial de acessibilidade entre as zonas. A maioria das zonas próximas às zonas do centro são dependentes das condições de circulação que aconteçam nas zonas do centro. Como caso hipotético, impedâncias na velocidade de operação dentro das zonas com maior acessibilidade geram maiores prejuízos para as zonas que tem dependência espacial com estas (Figura 7b).

#### 4.3 Cenário C

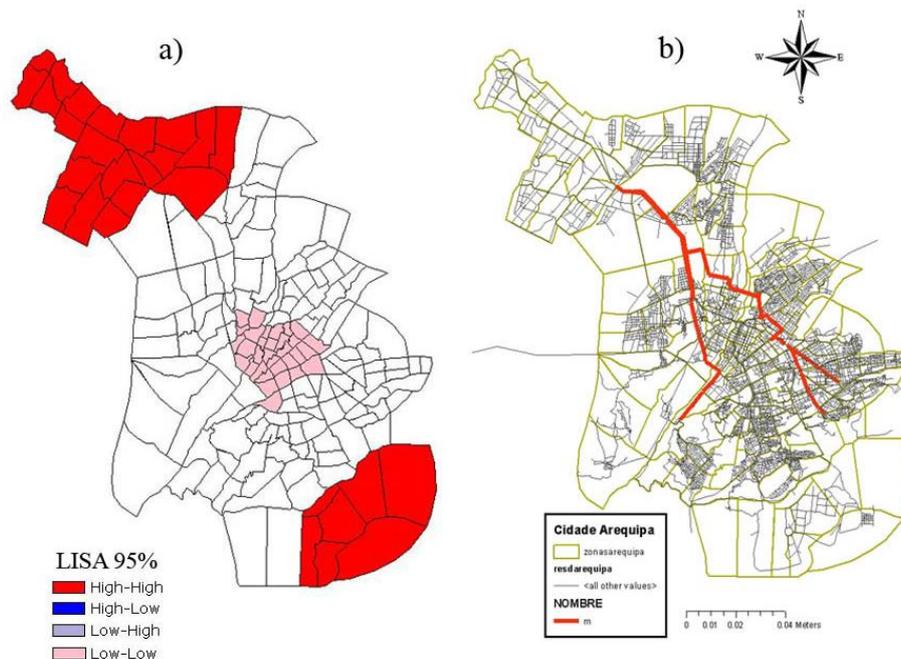
Este cenário apresentou um aumento nos padrões espaciais de zonas com maior acessibilidade. A velocidade de operação do SIT foi aumentada nas zonas significativas. As zonas periféricas do norte e sul da cidade claramente apresentam padrões espaciais independentes de melhora na velocidade de operação do SIT (Figura 8a). Existem melhoras nas zonas localizadas no leste da cidade onde existe uma percentagem elevada de residências, portanto o aumento da velocidade do SIT melhora os índices de acessibilidade destas zonas. Os padrões espaciais de acessibilidade das zonas localizadas no leste da cidade são dependentes espaciais das zonas significativas (Figura 7c).



**Fig. 7 Comparação cenários: a) cenário A; b) cenário B; c) cenário C; d) cenário D**

#### **4.4 Cenário D**

A implementação do projeto “Puente 29 de Octubre” traz poucas mudanças nos padrões espaciais de acessibilidade. O maior benefício da implementação do projeto é para as zonas localizadas no leste da cidade. Mas comparado com o cenário C, ele apresenta menor porcentagem de zonas com maior acessibilidade. Realizando uma otimização da operação na rede viária principal do SIT e combinando-a com o projeto foi possível obter maiores mudanças nos padrões espaciais de acessibilidade (Figura 8b). Portanto, o projeto deve estar acompanhado de uma integração com o SIT para produzir maiores benefícios (Figura 7d).



**Fig. 8 a) Zonas significativas; b) Projeto “Puente 29 de Octubre” e vias principais da rede do SIT**

## 5 CONCLUSÕES

O trabalho focou-se na análise dos padrões espaciais da acessibilidade como impacto da implementação do projeto estratégico do sistema integrado de transporte (SIT) e o projeto “Puente 29 de Octubre” do município de Arequipa, Perú. Quatro cenários foram elaborados para analisar os padrões espaciais de acessibilidade.

A situação em Arequipa está longe de ser espacialmente equitativa e algumas áreas são mais favorecidas do que outras. Através do mapeamento da acessibilidade em base ao custo de tempo generalizado de viagem do SIT com determinados níveis de serviços, torna-se aparente que a cidade apresenta uma divergência espacial e cria zonas que são muito menos acessíveis. Estas zonas apresentam áreas menos urbanizadas, e com maiores custos de tempo. Assim, poderia indicar-se que as zonas identificadas podem constituir as expansões urbanas da cidade.

A análise da dependência espacial da acessibilidade permitiu avaliar se soluções pontuais no sistema de transporte trazem benefícios significativos ou não significativos. Para o caso de Arequipa o projeto “Puente 29 de Octubre” beneficia pouco, já uma integração com melhoras no arco principal da rede do SIT permite um benefício maior enquanto acessibilidade das zonas.

Os resultados empíricos revelam uma dependência espacial da acessibilidade por zona de tráfego. Distintos cenários de operação do SIT foram avaliados para analisar como os padrões de dependência espacial de acessibilidade por zona de tráfego variam. Algumas zonas de tráfego por sua divergência espacial não mudaram apesar das melhoras em setores pontuais do sistema. Assim, considerando que a acessibilidade não um efeito contínuo, a variação da dependência espacial da acessibilidade entre zonas de tráfego, pode possibilitar uma maior compreensão dos impactos que pode trazer o desempenho do sistema de transporte da cidade de Arequipa.

## 6 REFERÊNCIAS

Gutierrez J., (2001). Location, economic potential and daily accessibility: an analysis of the accessibility impact of the high speed line Madrid-Barcelona-French border. *Journal of Transport Geography*. 9, 229-242.

Gutiérrez, J., Urbano, P., (1996). Accessibility in the European Union: the impact of the trans-European road network. *Journal of Transport Geography* 4 (1), 15–25.

Halden, D., 2002. Using accessibility measures to integrate land use and transport policy in Edinburgh and the Lothians. *Transport Policy* 9, 313–324.

Peris J., Acebillo-Baque and Calabuig C., (2011). Scrutinizing the link between participatory governance and urban environment management. The experience in Arequipa during 2003-2006. Elsevier Science direct, *Habitat International*.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2011); <http://www.inei.gob.pe>. Acesso em 13/06/11.

Prelatura de Caraveli (2011); <http://prelaturacaraveli.blogspot.com/2009/04/mapa-arequipa-metropolitana.html>, 2011. Acesso em 13/06/11.

Municipalidad Provincial de Arequipa (2011); <http://www.muniarequipa.gob.pe>. Acesso em 09/06/11. Johnson.

Talen, E.; Anselin, L. (1998). Assessing spatial equity: an evaluation of measures of accessibility to public playgrounds. *Environment and Planning A*, v.30, p.595-613.

Vandenbulcke, G.; Steenberghenb, T.; Thomasa, I. (2009). Mapping accessibility in Belgium: a tool for land-use and transport planning?. *Journal of Transport Geography* 17,39–53.