

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e**  
**Urbanismo- PROGRAU**



**Dissertação**

**MORFOLOGIA URBANA E AMBIENTE:**  
um estudo exploratório sobre os efeitos da renaturalização  
na estrutura configuracional urbana.

**Janaína Ayres de Lima**

Pelotas, 2012

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS****Reitor**

Prof. Antonio César Gonçalves Borges

**Pró-Reitor de Graduação**

Prof. Cláudio Manoel da Cunha Duarte

**Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação**

Prof. Manoel de Souza Maia

***Dados Internacionais de Catalogação na Publicação:*****Bibliotecária Daiane Schramm – CRB-10/1881**

L732m Lima, Janaína Ayres de

Morfologia urbana e ambiente: um estudo exploratório sobre os efeitos da renaturalização na estrutura configuracional urbana. / Janaína Ayres de Lima; Orientadora: Ana Paula Neto de Faria. – Pelotas, 2012.

158f.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas.

**Autora:**

Janaína Ayres de Lima

**Título do Trabalho:**

MORFOLOGIA URBANA E AMBIENTE:  
um estudo exploratório sobre os efeitos da renaturalização  
na estrutura configuracional urbana.

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Arquitetura e Urbanismo – PROGRAU, Faculdade de Arquitetura e  
Urbanismo, Universidade federal de Pelotas, como parte dos requisitos  
para a obtenção do grau de **Mestre em Arquitetura e Urbanismo**.

**Orientadora:**

Ana Paula Neto de Faria, Dr<sup>a</sup>.

Pelotas, maio de 2012.

## **Banca examinadora**

Prof. Dr. Maurício Couto Polidori (PROGRAU/UFPel)

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Niara Clara Palma (UNISC)

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Eliane Constantinou (UFRGS)

## **Dedicatória**

Aos meus pais, Ronilda e Lineu,  
pelo amor e incentivo de todas as horas  
e por me ensinar que sempre podemos ir além.

Ao Rafa, pelos sorrisos e beijos, que se traduzem em  
apoio e estímulo, durante o processo e sempre.

## **Agradecimentos**

Agradeço à minha orientadora, professora Ana Paula Neto de Faria, pela competência e pelo esforço em me conduzir no mundo da ciência.

Ao professor Maurício Polidori que me acompanhou durante os primeiros passos na pós-graduação e pelo conhecimento transmitido no desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Valério Medeiros pelo auxílio na aquisição dos mapas axiais das cidades de Anápolis, Florianópolis, Palmas, Porto Velho e Vitória.

Aos colegas e professores do Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PROGRAU e Laboratório de Urbanismo – LabUrb, em especial ao Marcus Saraiva, Otávio Peres e Christiano Toralles, pelas trocas de conhecimento.

Aos amigos e familiares pelo apoio e incentivo nos momentos difíceis.

À Capes, pelo apoio financeiro recebido.

## RESUMO

Cidades apresentam várias formas de tecido urbano, as quais produzem diferentes graus de integração e segregação espacial interna. Com o crescimento das cidades, espaços de interesse ambiental são fortemente impactados ou até mesmo completamente convertidos para espaços urbanos. As diretrizes de planejamento dos últimos anos têm se voltado para uma definição mais rigorosa de critérios de preservação do ambiente natural e para as possibilidades de renaturalizar áreas urbanizadas. A fim de aproximar duas das principais angústias da sociedade atual, a segregação sócio-espacial e a degradação ambiental, o presente estudo exploratório aborda a temática da renaturalização urbana sob a ótica da configuração espacial. As intervenções sobre o espaço urbano que procuram aprimorar a conectividade do ambiente natural acabam produzindo alterações na estrutura configuracional urbana. Estas alterações, por sua vez, tendem a reduzir a integração espacial, elevando a segregação na malha urbana. O objetivo geral do estudo está em avaliar o grau de impacto nos níveis e padrões de segregação sócio-espacial gerados por projetos de renaturalização. Como metodologia utilizamos a modelagem urbana a fim de simular cenários de futuro e medidas de diferenciação espacial para avaliar o impacto sobre a estrutura urbana. Dentre as medidas de diferenciação espacial selecionamos a acessibilidade e a centralidade. Em paralelo, os sistemas naturais são avaliados a partir da acessibilidade e número de ciclos, em busca de um parâmetro para ponderação entre a eficiência da malha urbana e a qualidade da rede ecológica. As variações na segregação espacial decorrentes de diferentes critérios de renaturalização são evidenciadas através da comparação entre os cenários simulados. Através da análise estatística da distribuição das medidas de diferenciação espacial, tanto do espaço urbano quanto da rede ecológica, demonstramos que se submetemos as cidades a projetos de renaturalização, as perdas de qualidade espacial da malha urbana são pequenas quando comparadas às vantagens adquiridas pelo ambiente natural. Além disso, estas perdas podem ser minimizadas com a utilização de critérios de intervenção baseados em características morfológicas do sistema espacial urbano.

**Palavras - chave:** Morfologia Urbana – Renaturalização – Diferenciação Espacial

## ABSTRACT

Cities have urban tissue patterns that assume various morphological configurations, producing different degrees of spatial integration and segregation. As the cities grow, places of environmental interest are strongly affected or even completely converted into urban spaces. In recent years planning guidelines have turned into a more rigorous definition of natural environment preservation criteria and the possibilities of re-naturalize urbanized areas. In order to bring two of the major anxieties of today's society, the socio-spatial segregation and environmental degradation, the present exploratory study approaches the urban re-naturalization theme from the perspective of spatial configuration. The interventions on the urban space that try to improve the connectivity of the natural environment eventually produce changes in the urban configurational structure. These changes, on the other hand, tend to reduce the spatial integration, increasing the segregation in the urban tissue. The general goal of this study is to evaluate the degree of impact on the levels and patterns of socio-spatial segregation generated by re-naturalization projects. As methodology we used the urban modeling to simulate future scenarios and measures of spatial differentiation to assess the impact in the urban structure. Among the measures of spatial differentiation we selected accessibility and centrality. In parallel, natural systems are evaluated from their accessibility and number of cycles in search of a parameter to ponderate between the urban tissue efficiency and ecological network quality. The variations in the spatial segregation resulting of different criteria of re-naturalization are evidenced by comparing the simulated scenarios. Through statistical analysis of spatial differentiation measures distribution, of both the urban space and the ecological network, we demonstrate that if we submit the cities to re-naturalization projects, the losses of spatial quality of the urban tissue are small when compared to the advantages gained by the natural environment. Besides, these losses can be minimized with the use of intervention criteria based on morphological characteristics of the urban spatial system.

**Keywords:** Urban morphology; Re-naturalization; Spatial Differentiation.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01</b>	Restauração do Rio Saint Charles (a) Área de Intervenção; (b) Demolição do muro de contenção; (c) Imagem do Rio Restaurado. Fonte: (a e b) < <a href="http://forum.skyscraperpage.com">http://forum.skyscraperpage.com</a> > e (c) < <a href="http://fr.academic.ru/dic.nsf/frwiki/1438429">http://fr.academic.ru/dic.nsf/frwiki/1438429</a> >. ....26
<b>Figura 02</b>	Auto-estrada sobre o Rio Cheonggyecheon (a) Construção do viaduto sobre o rio; (b) Autoestrada em funcionamento. Fonte: (a) < <a href="http://www.alestruariodelplata.com.ar/esbozos.html">http://www.alestruariodelplata.com.ar/esbozos.html</a> > e (b) < <a href="http://www.ribeiraoarrudas.blogspot.com/2010/06/o-exemplo-de-seul">http://www.ribeiraoarrudas.blogspot.com/2010/06/o-exemplo-de-seul</a> >..26
<b>Figura 03</b>	Reabilitação do Rio Cheonggyecheon: (a) Imagem da extensão do Projeto de Reabilitação e (b) Imagens da intervenção executada. Fonte: (a) < <a href="http://www.alestruariodelplata.com.ar/esbozos.html">http://www.alestruariodelplata.com.ar/esbozos.html</a> > e (b e c) < <a href="http://www.ribeiraoarrudas.blogspot.com/2010/06/o-exemplo-de-seul">http://www.ribeiraoarrudas.blogspot.com/2010/06/o-exemplo-de-seul</a> >.... 27
<b>Figura 04</b>	Imagem de satélite de Porto Velho e sua representação enquanto mosaico.37
<b>Figura 05</b>	Representação do Espaço Urbano (a) Imagem de Satélite (b) Linhas Axiais e (c) Grafo correspondente.....38
<b>Figura 06</b>	Representação do sistema urbano de Bagé por linhas axiais.....39
<b>Figura 07</b>	Transposição de (a) Mosaico para (b) Grafo. ....40
<b>Figura 08</b>	Grafo da rede ecológica para a cidade de Florianópolis. ....41
<b>Figura 09</b>	Ilustração do conceito de centralidade. (a) Caminho 1; (b) Caminho 2; (c) Caminho 3 (d). Diferenciação dos trechos de acordo com a centralidade.43
<b>Figura 10</b>	Ciclo Hamiltoniano .....45
<b>Figura 11</b>	Mapa das cidades de (a) Anápolis, (b) Bagé, (c) Florianópolis, (d) Palmas, (e) Porto Velho e (f) Vitória representadas por linhas axiais. Fontes indicadas no Anexo.....49
<b>Figura 12</b>	Mapa da rede ecológica das cidades de (a) Anápolis, (b) Bagé, (c) Florianópolis, (d) Palmas, (e) Porto Velho e (f) Pelotas representadas por pontos. ....52
<b>Figura 13</b>	(a) Relação entre a média de acessibilidade da rede urbana e as características de irregularidade do traçado urbano; (b) relação entre média da acessibilidade da rede urbana e a o índice de compacidade da matriz urbana. ....54
<b>Figura 14</b>	(a) Relação entre o desvio padrão de acessibilidade da rede urbana e o índice de compacidade da matriz urbana; (b) relação entre o desvio padrão de acessibilidade e o nível de irregularidade do traçado urbano .....55
<b>Figura 15</b>	(a) Relação entre a média de acessibilidade da rede urbana e o nível de irregularidade do traçado urbano; (b) relação entre média de acessibilidade da rede urbana e a o índice de compacidade da matriz urbana. ....56

<b>Figura 16</b>	Gráfico de valores médios de acessibilidade, relacionados ao índice de compacidade e o nível de irregularidade do traçado para as cidades da amostra .....	58
<b>Figura 17</b>	Gráfico de probabilidade acumulada de $C \geq x$ para as cidades da amostra relacionadas ao (a) nível de irregularidade do traçado e ao (b) nível de compacidade da área urbana .....	59
<b>Figura 18</b>	Representação da distribuição espacial para Florianópolis (a) acessibilidade e (b) centralidade e Vitória (a) acessibilidade e (b) centralidade.....	60
<b>Figura 19</b>	Representação da distribuição espacial de acessibilidade e centralidade para (a/b) Anápolis e (c/d) Palmas, respectivamente.....	61
<b>Figura 20</b>	Representação da distribuição espacial de acessibilidade e centralidade, respectivamente, para as cidades de (a/b) Pelotas, (b/c) Bagé e (d/e) Porto Velho. ....	62
<b>Figura 21</b>	Representação da distribuição espacial de acessibilidade e centralidade, respectivamente, para as cidades de (a / b) Anápolis. ....	64
<b>Figura 22</b>	Gráfico do número total de ciclos com comprimento de 3 a 9 da rede ecológica, relacionados ao índice de compacidade do território e o nível de irregularidade do traçado para as cidades da amostra.....	64
<b>Figura 23</b>	Representação da distribuição espacial de acessibilidade e número total de ciclos com comprimento de 3 a 9 da rede ecológica para as cidades de (a/b) Anápolis e (c/d) Porto Velho. ....	65
<b>Figura 24</b>	Representação da distribuição espacial de acessibilidade e número total de ciclos com comprimento de 3 a 9 da rede ecológica para as cidades de (a/b) Vitória e (c/d) Florianópolis... ..	66
<b>Figura 25</b>	Imagem de dados de altitudes disponibilizada pelo USGS para a cidade de Anápolis .....	68
<b>Figura 26</b>	Mapas de Altitudes elaborado com base nos dados do USGS para Anápolis. ....	69
<b>Figura 27</b>	Mapas de linhas de drenagem para cidade de Anápolis .....	69
<b>Figura 28</b>	Exemplo de cenário atual mais a inserção das linhas de drenagem onde serão efetuadas as renaturalizações para a cidade de Anápolis, GO.....	70
<b>Figura 29</b>	Representação de parte dos cenários simulados para Bagé-RS com ênfase em alguns pontos de intervenção. (a) Atual (b) Cenário 1 e (c) Cenário 2. ..	71
<b>Figura 30</b>	Distribuição espacial da acessibilidade normalizada para o cenário atual e cenário 3 como o de menor impacto para as cidades de (a/b) Florianópolis e (c/d) Porto Velho .....	74
<b>Figura 31</b>	Apresenta a distribuição espacial da acessibilidade normalizada para o cenário atual e cenário 4 como o de menor impacto para as cidades de (a/b) Anápolis, (c/d) Bagé e (e/f) Vitória. ....	75

- Figura 32** a) Relação entre as o nível de irregularidade do traçado da rede urbana e os cenários de menor impacto com relação à acessibilidade média do espaço urbano; (b) Relação entre o nível de compacidade da matriz urbana e os cenários de menor impacto com relação à acessibilidade média do espaço urbano. ....76
- Figura 33** (a) Relação entre a média de acessibilidade da rede ecológica e os cenários de menor impacto com relação à acessibilidade urbana; (b) Relação entre o número total de ciclos com comprimento de 3 a 9 da rede ecológica e os cenários de menor impacto com relação à acessibilidade urbana.....77
- Figura 34** (a) Relação entre o nível de compacidade e os cenários de menor impacto da centralidade; (b) Relação entre o nível de irregularidade traçado e os cenários de menor impacto da centralidade.. .....83
- Figura 35** Apresenta a distribuição espacial da centralidade para o cenário atual e cenário 4 como o de menor impacto para as cidades de (a) Anápolis, (b) Porto Velho e (c) Vitória.....84
- Figura 36** Apresenta a distribuição espacial da acessibilidade normalizada para o cenário atual e cenário 3 como o de resultado mais positivo para as cidades de (a) Florianópolis e (b) Palmas .....87
- Figura 37** Distribuição espacial da acessibilidade normalizada para o cenário atual e cenário 4 como o de resultado mais positivo para as cidades de (a) Porto Velho, (b) Anápolis , (c) Bagé e (d) Vitória. ....88
- Figura 38** (a) Relação entre a irregularidade do traçado e os cenários de maior ganho de acessibilidade da rede ecológica; (b) Relação entre o índice de compacidade da matriz urbana e os cenários de maior ganho de acessibilidade da rede ecológica. ....89
- Figura 39** Representação da média do número de ciclos da rede em relação ao número total de ciclos com comprimento de 3 a 9 para as cidades de (a) Anápolis, (b) Bagé, (c) Porto Velho e (d) Palmas.....91
- Figura 40** Representação dos ganhos no número total de ciclos da rede ecológica com comprimento de 3 a 9 para os quatro cenários simulados em todas as cidades da amostra. ....92
- Figura 41** Distribuição espacial do número total de ciclos com comprimento de 3 a 9 da rede ecológica atual e para o cenário com maior aumento no número de ciclos da rede para as cidades de (a) Anápolis, (b) Florianópolis e (c) Porto Velho. ....93

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01</b>	Caracterização da forma urbana. ....	50
<b>Tabela 02</b>	Caracterização da forma urbana e o comportamento da acessibilidade espacial da rede urbana para as cidades da amostra. ....	53
<b>Tabela 03</b>	Caracterização da forma urbana e o comportamento da acessibilidade da rede ecológica para as cidades da amostra.....	56
<b>Tabela 04</b>	Comportamento da acessibilidade da rede urbana para as cidades da amostra. ....	57
<b>Tabela 05</b>	Comportamento da centralidade da rede urbana para as cidades da amostra.. ....	58
<b>Tabela 06</b>	Caracterização da forma urbana e o comportamento da acessibilidade da rede ecológica para as cidades da amostra.....	63
<b>Tabela 07</b>	Valores da média e percentuais de perda de acessibilidade para os 4 cenários simulados, onde o valor destacado em vermelho refere-se ao cenário de maior impacto negativo e o azul o de menor impacto.. ....	72
<b>Tabela 08</b>	Valores da diferença entre valores máximos e mínimos e percentuais de alteração da diferença de acessibilidade para os 4 cenários simulados, onde o valor destacado em vermelho refere-se ao cenário de maior impacto negativo e o azul o de menor impacto.. ....	77
<b>Tabela 09</b>	Valores de mediana de centralidade para os 4 cenários simulados, onde o valor destacado em vermelho refere-se ao cenário de maior impacto negativo e o azul o de menor impacto. ....	80
<b>Tabela 10</b>	Valores máximos de centralidade para os 4 cenários simulados, onde o valor destacado em vermelho refere-se ao cenário de maior impacto negativo e o azul o de menor impacto. ....	81
<b>Tabela 11</b>	Constante $a$ e expoente $b$ para a distribuição das probabilidades de frequência da centralidade espacial para os 4 cenários simulados, onde o valor destacado em vermelho refere-se ao cenário de maior impacto negativo e o azul o de menor impacto. ....	82
<b>Tabela 12</b>	Valores da média e percentuais de aumento de acessibilidade para os 4 cenários simulados, onde o valor destacado em vermelho refere-se ao cenário de menor ganho e o azul o de maior ganho na acessibilidade da rede ecológica. ....	86
<b>Tabela 13</b>	Número total de ciclos da rede com comprimento de 3 a 9 para as cidades da amostra, onde o valor destacado em vermelho refere-se ao cenário de menor ganho e o azul o de maior ganho do número de ciclos da rede ecológica.. ....	91
<b>Tabela 14</b>	Percentual de aumento no número total de ciclos com comprimento de 3 a 9 com relação ao cenário atual das cidades da amostra onde está destacado o cenário de melhor resultado... ..	94

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 01</b>	Acessibilidade do Sistema Urbano .....	42
<b>Equação 02</b>	Acessibilidade Normalizada .....	42
<b>Equação 03</b>	Tensão sobre dois vértices da centralidade Freeman-Krafta .....	44
<b>Equação 04</b>	Participação dos vértices nos caminhos mínimos para a Centralidade Freeman-Krafta .....	44
<b>Equação 05</b>	Centralidade Freeman-Krafta .....	44
<b>Equação 06</b>	Centralidade Freeman-Krafta Normalizada .....	44

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE EQUAÇÕES .....</b>	<b>XII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
<b>2 SISTEMA URBANO E SUA ESTRUTURA CONFIGURACIONAL .....</b>	<b>06</b>
2.1 Conformação espacial da mancha urbana.....	06
2.1.1 Cidade compacta .....	07
2.1.2 Cidade dispersa.....	08
2.2 Configuração espacial intraurbana .....	09
2.3 Forma urbana e segregação espacial.....	11
2.3.1 Segregação e integração espacial urbana .....	11
2.3.2 Relações entre forma urbana e nível de integração/segregação .....	13
2.4. Forma urbana e planejamento ambiental sustentável.....	16
2.5. Forma urbana, segregação espacial e renaturalização.....	18
<b>3. A DEGRADAÇÃO E A RENATURALIZAÇÃO DO AMBIENTE NATURAL</b>	
<b>INTRAURBANO.....</b>	<b>20</b>
3.1. Degradação ambiental e a cidade como ecossistema integrado – natureza e sociedade .....	20
3.2. Renaturalização .....	24
3.3. A abordagem da ecologia da paisagem e suas noções de estrutura da paisagem.....	28
3.3.1. Elementos estruturadores da paisagem.....	30
3.3.2. Alterações na paisagem e padrões de conservação .....	32

3.4. ....Implicações de medidas de intervenção ambiental sobre a estrutura urbana	33
<b>4. SIMULAÇÕES URBANAS E DO AMBIENTE NATURAL.....</b>	<b>34</b>
4.1. Descrição e delimitação do mosaico ambiental urbano.....	36
4.2. Critérios de representação da estrutura espacial urbana.....	38
4.3. Critérios de representação da estrutura configuracional dos de elementos ambientais .....	39
4.4. Descrição da estrutura espacial do sistema urbano.....	42
4.4.1. Acessibilidade .....	42
4.4.2. Centralidade .....	42
4.5. Descrição da Estrutura espacial da rede ecológica .....	45
4.5.1. Número de ciclos .....	45
4.5.2. Acessibilidade da mancha .....	46
<b>5. ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>47</b>
5.1. A amostra .....	48
5.1.1. Caracterização da amostra .....	50
5.1.2. Considerações sobre a influência das características morfológicas no comportamento da rede urbana.....	53
5.1.3. Considerações sobre a influência das características morfológicas no comportamento da rede ecológica .....	55
5.2. Caracterização do estado atual .....	57
5.2.1. Espaço urbano.....	57
5.1.2. Ambiente natural .....	63
<b>6. SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE FUTURO .....</b>	<b>68</b>
6.1. Critérios de Renaturalização .....	68
6.2. Critérios de Intervenção na malha urbana .....	71
6.3. Resultados.....	72

6.3.1. O impacto de diferentes cenários sobre as características de acessibilidade da malha urbana .....	72
6.3.2. O impacto de diferentes cenários sobre as características de centralidade da malha urbana .....	79
6.3.3. O impacto de diferentes cenários sobre as características de acessibilidade da rede ecológica .....	85
6.3.4. O impacto de diferentes cenários sobre as características dos ciclos na rede ecológica.....	90
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>96</b>
7.1. A metodologia adotada e o alcance dos objetivos propostos.....	96
7.2. A forma urbana e o comportamento da rede urbana e ecológica.....	97
7.3. A forma urbana e o impacto da renaturalização na integração espacial e conectividade ambiental .....	98
7.4. A redução do impacto da renaturalização sobre a rede urbana .....	99
7.5. O aumento dos ganhos da rede ecológica resultante da renaturalização....	100
7.6. Desenvolvimento e continuidades .....	100
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>109</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de compreender e aprimorar a qualidade de vida nas cidades, os estudos urbanos vêm sendo focados em dois aspectos: o conflito entre urbanização e ambiente natural e as desigualdades no acesso às oportunidades urbanas. Estes problemas tipicamente urbanos vêm se agravando à medida que a população e a área urbana se expandem.

Segundo o Censo 2010 a população no Brasil cresceu 12,3% entre 2001 e 2010 (IBGE, 2011) ainda que tenha apresentado uma redução no percentual de crescimento de 3,6% em comparação a taxa de crescimento observado entre os anos de 1991 e 2000. Do total de população cadastrada no Brasil em 2010, 84% encontra-se localizada nas aglomerações urbanas (IBGE, 2011). Considerando-se que o número de domicílios teve um aumento de 25% nos últimos 10 anos e que a população urbana apresentou acréscimo de 3% no mesmo período (IBGE, 2011), entende-se que além do crescimento populacional as cidades vêm expandindo seu território. Com o crescimento da população urbana, cresce a demanda por habitação, a qual aliada à especulação imobiliária, depreciação dos estoques construídos e a criação de novos bairros resulta em expansão do território urbano e, conseqüentemente, na redução das áreas naturais.

A relação pouco ou nada harmoniosa entre cidade e ambiente natural traz conseqüências para ambas as partes. No contexto urbano, a ocupação inadequada de áreas de interesse ambiental pode ser relacionada a algumas catástrofes as quais afetam a sociedade, como inundações, desmoronamentos, incêndios, etc. (PERLMAN E MILDNER, 2004, p. 1). Com a crescente preocupação sobre as mudanças climáticas e a recorrência desses desastres naturais, a busca por um planejamento urbano que integre os interesses sociais à preservação do ambiente natural tem ganhado força nos últimos anos.

Atualmente, diversos projetos de renaturalização urbana vêm sendo implantados com o objetivo de melhorar as relações cidade x ambiente natural, resgatar áreas para o uso da população e marketing urbano. Estas intervenções voltadas para a renaturalização urbana

buscam melhorar as condições ecológicas do interior das cidades. Contudo, pouco se sabe sobre o impacto da renaturalização de áreas intraurbanas sobre a estrutura configuracional do sistema urbano.

Com relação à conformação física das cidades e sua relação com a sustentabilidade, os debates são muitos, contudo não há consenso sobre qual configuração espacial urbana seria mais adequada para contribuir para a sustentabilidade. Muitos pesquisadores vêm buscando encontrar na forma compacta a sustentabilidade urbana, em especial no que diz respeito à mobilidade e à implantação da infraestrutura urbana. Porém essas abordagens focalizam principalmente as questões relativas à emissão de poluentes e consumo de energia ou em questões sociais associadas à redução do tempo nos deslocamentos cotidianos. Sob este ponto de vista geralmente são desconsiderados aspectos relativos à degradação ambiental resultante de projetos urbanos que buscam a melhor integração urbana sem qualquer preocupação com a preservação do ambiente natural intraurbano.

A concepção de aumentar a eficiência do tecido urbano em detrimento da preservação ambiental intraurbana vem sendo contestada (BURGESS, 2000, p. 21). Para os autores que seguem esta postura, o ambiente natural sob o qual está assentada a cidade deve ser considerado como ponto essencial na concepção de projetos de desenho e planejamento urbano. As cidades devem se desenvolver incorporando a natureza no processo de crescimento e expansão urbana, permitindo a presença do ambiente natural dentro das cidades. Sob esta ótica, a cidade fragmentada poderia possibilitar a manutenção da natureza urbana em função do elevado número de vazios existentes dentro das cidades. Contudo, estruturas urbanas com estas características contribuem para o aumento das distâncias intraurbanas, acarretando, entre outras coisas, em maior segregação espacial.

As cidades apresentam configurações espaciais que distribuem de maneira desigual as vantagens/desvantagens espaciais do sistema, contribuindo para a integração/segregação espacial. Cidades mais compactas tendem a possuir maior integração do que as cidades dispersas, aumentando as facilidades de contato e acesso dentro do sistema urbano. As cidades dispersas apresentam maiores distâncias entre os pontos da rede, elevando os deslocamentos internos e reduzindo a relação entre as partes do sistema, o que aumenta a probabilidade de segregação espacial. Esta pode ser caracterizada pela presença de áreas com menor acesso aos serviços e equipamentos urbanos, além de fenômenos ligados a violência e aos problemas de fluxo no trânsito (HILLIER *et. al.*, 2007). As recentes tendências econômicas e políticas têm trazido o tema da segregação para o primeiro plano do debate político, uma vez que a segregação pressupõe desigualdades indesejadas no planejamento

urbano. Nesse contexto os estudos da configuração espacial das cidades podem contribuir de forma objetiva, uma vez que possibilitam compreender as relações entre a forma urbana e as relações sociais.

Intervenções de desenho urbano podem colaborar de forma a elevar ou reduzir as desigualdades espaciais e, a partir da compreensão das características da configuração espacial é possível avaliar e ponderar opções de intervenção as quais auxiliem na concepção de cidades com menos segregação espacial.

O presente estudo aborda a temática da renaturalização urbana sob a ótica da configuração espacial, destacando a importância da avaliação integrada de aspectos ambientais e sociais para a concepção de cidades mais sustentáveis. Considerar as influências de intervenções ambientais sobre a estrutura das cidades ao mesmo tempo em que avaliamos a qualidade destas intervenções pode contribuir para a ponderação entre critérios ambientais e sociais no processo de planejamento urbano, assim como colaborar para a redução dos conflitos entre homem e natureza.

O presente estudo busca contribuir para o debate do planejamento ambiental urbano a partir de análises e discussões sobre a configuração espacial das cidades e propõe os seguintes questionamentos:

- (a) É possível propor alternativas de renaturalização sem que a configuração espacial urbana incremente de modo significativo suas desigualdades internas?
- (b) Como reduzir a influência negativa da renaturalização sobre a estrutura espacial das cidades se as melhorias no funcionamento do ambiente natural pressupõem a introdução de descontinuidades na malha urbana?
- (c) A conformação territorial da cidade exerce influência sobre os resultados observados no desempenho da configuração espacial, quando submetida à renaturalização urbana?

Com a introdução de áreas de preservação natural, em especial a renaturalização de corredores naturais, a estrutura espacial urbana será impactada, resultando em efeitos negativos sobre a configuração espacial urbana. Com base neste pressuposto inicial, propomos a hipótese de que é possível a redução dos efeitos negativos através da adoção de critérios de intervenção baseados na configuração espacial urbana. Compreender a influência da adoção de determinados critérios de intervenção urbana sobre a estrutura espacial das cidades pode auxiliar no processo de tomada de decisão, a fim de propor intervenções que produzam menor impacto sobre a malha urbana. A segunda hipótese é de que cidades com

distribuição espacial mais compacta estão sujeitas a maiores impactos sobre sua estrutura configuracional quando submetidas a projetos de renaturalização.

Como metodologia para avaliação das hipóteses propomos a utilização de modelos de simulação computacional urbana. A simulação computacional permite avaliar e ponderar diferentes propostas de intervenção através da elaboração de cenários de futuro. Desta forma, a simulação poderia auxiliar na comparação entre diferentes soluções de desenho urbano, em especial no que se refere a melhores qualidades de integração e preservação ambiental, contribuindo para uma intervenção urbana mais eficiente e, ao mesmo tempo, sustentável.

O desafio refere-se à compreensão das influências mútuas entre sistemas naturais e urbanos, analisando os ganhos ambientais dentro das cidades e avaliando as influências de medidas de renaturalização ambiental sobre a configuração espacial urbana. Para tanto, faz-se necessária a avaliação de ambas as estruturas, a do sistema urbano e da rede ecológica. A rede ecológica pode ser analisada de acordo com sua conectividade, quando consideradas as relações entre os elementos naturais que compõe esta rede. A simulação de cenários permite uma avaliação simultânea entre os efeitos sobre a configuração espacial e as consequências para o ambiente natural resultante de diferentes intervenções urbanas.

Assim, o objetivo geral do estudo está em avaliar o impacto dos possíveis efeitos negativos resultantes de intervenções voltadas à renaturalização urbana sobre a estrutura das cidades. A partir desta análise é possível compreender se a adoção de determinados critérios de intervenção urbana seria capaz de reduzir os impactos de renaturalizações urbanas sobre configuração das cidades.

Como objetivos específicos do presente trabalho destaca-se:

- (a) Compreender o impacto ocasionado por projetos de intervenção urbana voltados para a renaturalização sobre a estrutura configuracional das cidades;
- (b) Avaliar as relações entre as mudanças nas características de segregação espacial do sistema urbano e os critérios de intervenção empregados na renaturalização;
- (c) Investigar as relações entre os impactos negativos gerados no ambiente urbano e os resultados positivos observados no natural;
- (d) Identificar possíveis relações entre as características da forma das cidades – compactidade e traçado – e o grau de impacto gerado por projetos de renaturalização sobre a estrutura urbana.

Para alcançar os objetivos do trabalho buscamos construir um arcabouço teórico, baseado em algumas reflexões acerca da relação entre cidade e o meio ambiente. A estrutura geral do trabalho está dividida em três módulos. Na primeira parte (Capítulo 2) abordamos os estudos das aglomerações urbanas a partir de seus princípios de crescimento e sua dispersão espacial, além de refletir sobre como o planejamento urbano pode interagir com as questões ambientais e de configuração espacial em busca da sustentabilidade urbana. Ainda, buscamos identificar de que maneira a configuração espacial urbana pode contribuir para a compreensão dos fenômenos urbanos, as relações entre a forma urbana e a segregação espacial e as influências da renaturalização sobre a estrutura configuracional das cidades. No segundo módulo (Capítulo 3), buscamos retratar os problemas resultantes da degradação ambiental e a importância da coexistência entre o ambiente e a sociedade, além de identificar possibilidades de intervenção urbana que tenham por objetivo reabilitar áreas degradadas dentro das cidades. Na terceira parte (Capítulos 04, 05 e 06) apresentamos o estudo exploratório, o procedimento de elaboração dos cenários e representação do espaço urbano e ambiental, além das reflexões sobre os resultados do estudo. As considerações finais e a bibliografia concluem o trabalho.

## **2. SISTEMA URBANO E SUA ESTRUTURA CONFIGURACIONAL**

A busca por compreender a forma urbana e sua relação com a sociedade, enquanto agentes ativos de geração e transformação do espaço das cidades, é uma constante em estudos de diversas áreas, desde o Urbanismo, passando pela Sociologia e Antropologia até a Geografia. Neste capítulo fundamentamos o estudo em questão, delimitando a configuração espacial urbana como foco de pesquisa. Para tanto, procuramos abordar aspectos que descrevem os princípios gerais da formação do território urbano. Passamos a analisar o padrão espacial das cidades, a partir da descrição de suas características morfológicas e relações intrínsecas, ao mesmo tempo em que buscamos identificar a influência desses padrões espaciais na conectividade da rede ecológica urbana. A partir disso, destacamos algumas abordagens atuais do planejamento ambiental urbano. Em seguida buscamos compreender as definições de segregação e integração espacial para, adiante, identificar as relações entre a forma urbana e os níveis de integração espacial dos seus tecidos. Por fim sugerimos algumas considerações acerca das relações entre forma urbana, segregação espacial e renaturalização.

### **2.1. Conformação espacial da mancha urbana**

Ao transformar o ambiente natural em espaço urbano, o processo de crescimento urbano leva a diversas formas de ocupação territorial, resultando em cidades mais ou menos compactas. A conformação espacial do território está relacionada a condicionantes ambientais e sociais onde está inserida, como a topografia, a presença de matas ou rios de grande dimensão, os padrões culturais, entre outros. Essa conformação territorial relacionada à compactidade espacial pode refletir maior ou menor preservação do ambiente natural. Ao mesmo tempo, ela exerce influência sobre a mobilidade urbana, resultando em diferentes padrões de integração/segregação espacial intraurbana.

Com o objetivo de compreender as relações entre a sustentabilidade das cidades e a conformação urbana, procuramos estabelecer relações entre as formas compactas e dispersas com a mobilidade espacial e a preservação ambiental.

### **2.1.1. Cidade compacta**

Primeiramente buscamos definir o que é uma cidade compacta e como ela se comporta em termos de estrutura urbana. Uma forma compacta é aquela que mais se aproxima de um círculo, uma vez que quando comparamos formas alongadas a um círculo, ou mesmo a um quadrado, é possível observar que, para uma mesma medida de área, formas alongadas resultam em um perímetro maior. Dessa forma, cidades compactas seriam aquelas que possuem um território relativamente concentrado em comparação a outros mais dispersos (HILLIER, 2001, p. 02.18), ou seja, apresentam contiguidade espacial na ocupação de seu território geográfico. A avaliação desse parâmetro pode ser efetuada através da razão entre o perímetro e a área, onde quanto menor o valor mais compacta a forma. As cidades mais compactas, de maneira geral, costumam estar situadas em sítios planos, sem acidentes naturais significativos, aumentando a probabilidade de implementação de um traçado mais ortogonal, o qual geralmente é composto por linhas mais longas do que traçados irregulares. Existem casos em que cidades compactas apresentam traçados predominantemente irregulares, como as cidades medievais, contudo essas são exceções. As linhas viárias mais longas (sem descontinuidade ou mudança de direção) tendem a resultar em maior integração no sistema global, a reduzir a distância entre os elementos do sistema e, conseqüentemente, a aumentar o acesso dos indivíduos a todas as partes da rede (HILLIER, 2001, p. 02.20).

De acordo com Elkin *et al.* (1991 *apud.* JENKS *et al.* 1996, p. 3), as cidades compactas seriam mais sustentáveis, uma vez que permitiriam menor deslocamento de pedestres e ciclistas e uma redução dos custos em trajetos longos através de transporte coletivo. Com uma mobilidade urbana mais eficiente é possível presumir a redução da emissão de poluentes, em especial o carbono, e o consumo de energia, diminuindo o consumo dos derivados de petróleo (BURGESS, 2000, p. 20). Além disso, a concentração no território reduz a pressão sobre o ambiente natural circundante (*ibid.*) e aumenta a eficiência da infraestrutura urbana, já que os custos de implantação em uma determinada área urbana atenderiam a uma população maior (BEATLEY, 2000, p. 3), ainda que essa eficiência também possa ser influenciada pela densidade da população local.

Com relação às tentativas conceituais e práticas de compactação urbana, Burgess (2000 p. 21-22) apresenta algumas estratégias com diferentes escalas de aplicação, como:

a) aumentar a densidade, aprimorar o sistema de transporte coletivo e elevar a distribuição dos serviços públicos e fim de reduzir os deslocamentos;

b) a descentralização concentrada, baseada em uma estrutura policêntrica, com densificação e intensificação de serviços em seus subcentros, conectados por eficientes vias de transporte;

c) o desenvolvimento orientado, onde o crescimento é incentivado para as principais rotas de trânsito e pontos de intersecção entre as mesmas através de um planejamento urbano que busca a densificação, a utilização mista do solo e o aprimoramento do sistema de transporte coletivo.

O referido autor ainda ressalta que possivelmente a escala mais adequada de concentração urbana com objetivo sustentável seja a escala regional, ou de região metropolitana. Essa escala possibilita estruturas intraurbanas com 'centralização desconcentrada' onde as cidades são conectadas por redes de transporte coletivo, permitindo a integração e acesso ao ambiente natural além da manutenção dos espaços rurais (ATKINSON, 1992 *apud.* BURGESS, 200 p. 22). Contudo, as ações vinculadas a essas iniciativas raramente obtêm êxito, principalmente em função da dificuldade de relações entre municípios vizinhos e das discrepâncias financeiras e econômicas.

Se por um lado a concentração urbana pressupõe as vantagens citadas anteriormente, por outro lado ela, através da densificação urbana, tende a reduzir os espaços abertos (BREHENY, 1992a, 1992b *apud.* JENKS, 1996, p. 4). Cidades compactas tendem a suprimir a paisagem natural intraurbana, transformando-as em fragmentos isolados muitas vezes representados por ambientes artificialmente inseridos pelo homem, os quais não conseguem desempenhar as funções ecológicas de um ambiente sem intervenções antrópicas. As possíveis consequências ambientais da compactação urbana assumem proporções ainda maiores se considerarmos que a urbanização serve como barreira aos fluxos ecológicos, dificultando as dinâmicas dos ecossistemas. Dessa forma, cidades compactas de grandes proporções podem representar amplos obstáculos para o desenvolvimento de diversos ecossistemas.

### **2.1.2. Cidade dispersa**

O termo 'cidade dispersa' ou 'difusa' tem seu conceito fundamentado nas concepções de ambientes heterogêneos com padrões de organização espacial e crescimento urbano que tendem a acompanhar a topografia e as características ambientais do sítio onde está inserida (SEGALS e VERBAKEL, 2008), apresentando distribuição espacial de seu território de

maneira espalhada. Em função das características do sítio e da consequente distribuição espacial, a forma urbana dispersa geralmente é composta por linhas curtas as quais compõem um traçado menos ortogonal. De acordo com Hillier (2001, p. 02.20), linhas viárias menores (com descontinuidades ou mudanças de direção) implicam em menores valores de integração no sistema global, aumentando as distâncias entre os elementos do sistema reduzindo a acessibilidade geral da rede.

Alguns autores indicam a fragmentação como uma deficiência da cidade contemporânea principalmente com relação à falta de eficiência dos fluxos dentro da malha urbana, uma vez que a cidade fragmentada aumenta as distâncias intraurbanas, elevando os custos de deslocamentos. Contudo, estratégias adequadas de planejamento e altos investimentos públicos podem reduzir os efeitos negativos da dispersão urbana através das novas ferramentas de comunicação entre os indivíduos, como as tecnologias de transporte rápido (metrô, trem, ônibus seletivos etc.), a distribuição dos equipamentos urbanos em locais estratégicos e a expansão do uso de mecanismos de interação virtual, como, por exemplo, compras online, envio de documentos, comunicação verbal ou visual etc., sem os quais seriam imprescindíveis deslocamentos decorrentes da necessidade de presença física. Ainda, para que os espaços dispersos não percam urbanidade deve-se buscar a interconectividade entre as regiões e a adequada localização das atividades, buscando as trocas e a distribuição das oportunidades espaciais em seu território (SEGALS e VERBAKEL, 2008).

Segundo Polidori (2004, p. 16), é possível assumir que, sobre a ótica da morfologia urbana, compactar e fragmentar sejam estados construtores de sustentabilidade urbana, fazendo com que as cidades perdurem ao longo dos anos. As cidades com maior grau de fragmentação podem interagir de forma mais adequada com o ambiente natural, pois teriam a habilidade de se adaptar melhor aos processos de concentração e expansão decorrentes do crescimento urbano externo e interno.

## **2.2. Configuração espacial intraurbana**

Os estudos da configuração espacial urbana baseiam-se nos conceitos da morfologia urbana<sup>1</sup>, área mais ampla onde estão inseridos. A morfologia urbana, enquanto área de

---

<sup>1</sup> O conceito de morfologia urbana surgiu entre as duas grandes guerras entre geógrafos alemães e franceses, tendo continuidade nos trabalhos desenvolvidos por historiadores e arquitetos. Destacam-se os estudos de M.

conhecimento, trata do estudo da forma das cidades, sob aspectos visuais e estrutura externa, procurando explorar e sistematizar a cidade enquanto objeto concreto através da identificação das possibilidades existentes ou que poderiam ocorrer, assim como sua evolução física ao longo do tempo (KRUGER, 1996).

Para Hillier, (1984, 2007) a configuração é a relação entre determinados elementos. Dessa forma, os trabalhos voltados para a análise configuracional do espaço urbano buscam descrever um sistema através da representação de seus componentes e regras de interação (KRAFTA, 1997). As regras de interação do sistema explicitam as relações de dependência e interdependência entre os elementos. Um sistema descrito por seus componentes e as relações entre esses componentes permite uma avaliação do modo como as alterações pontuais interferem no sistema como um todo (*Ibid.*).

Dessa forma, a partir da análise configuracional seria possível compreender como os elementos funcionam em conjunto. O conjunto de todas as partes é mais importante para a compreensão do espaço do que a análise de cada elemento isolado (HILLIER, 2007). Krafta (1997) indica a descrição configuracional de uma cidade como sendo uma espécie de ‘raio x’ do *layout* urbano, uma vez que é a descrição de um sistema em um dado momento no tempo.

Uma abordagem configuracional descreve as propriedades do sistema urbano através de índices de conectividades e medidas de integração do sistema (KRAFTA, 1997), possibilitando a identificação de padrões e semelhanças na distribuição espacial de diferentes cidades (HILLIER, 2007). Também é possível analisar uma mesma cidade em diferentes momentos e assim comparar sua evolução ou até mesmo entender sua dinâmica quando são simuladas alterações (históricas ou pretendidas) em sua estrutura espacial.

Acredita-se que a estrutura configuracional dos espaços públicos exerce influência sobre as práticas sociais que neles ocorrem (HILLIER *et al.*, 2007). Centenas de pesquisadores em todo o mundo buscam responder às questões sobre o desenvolvimento das cidades, em especial aos temas relacionados à forma urbana e à segregação espacial através da configuração espacial (HILLIER, 2007). Segundo Krafta (1997, p. 05.3), a configuração do espaço possui forças capazes de impedir ou promover a interação social, o que pode ser observado através dos padrões de segregação e/ou integração espacial.

---

Cozen, os quais tinham por base analisar os aglomerados urbanos e classificá-los por suas características formais, período de formação e evolução do parcelamento urbano (KRUGER, 1996).

## 2.3. Forma urbana e segregação espacial

### 2.3.1. Segregação e integração espacial urbana

A segregação<sup>2</sup> pode ser abordada por diferentes aspectos, desde perspectivas sociais até questões étnicas, passando por delimitações de cor, gênero, utilização do espaço, entre outros (SABOYA, 2009). O presente estudo avalia a segregação a partir de sua dimensão espacial, ou seja, identifica ambientes mais segregados através do padrão configuracional do espaço urbano. Parece óbvio que em qualquer perspectiva de segregação o ambiente esteja incluído, contudo as características do espaço geralmente são indicadas apenas como delimitações físicas e não como condicionantes ou agravantes da segregação em diferentes aspectos (LEGIBY, 2008, p. 1). Para Saboya (2009) a segregação pressupõe a desigualdade, seja ela econômica, social, étnica, ou de localização privilegiada dentro da malha urbana, e a desigualdade espacial contribui para acentuar as demais diferenças existentes (*ibid.*), ou seja, se reflete em desigualdades no direito à cidade, onde a população que vive em locais segregados tem maior dificuldade de acesso ao restante da malha urbana, reduzindo o contato entre grupos localizados em diferentes partes do sistema. Ao mesmo tempo, áreas segregadas tendem a possuir menor disponibilidade de infraestrutura urbana, desde saneamento básico até o atendimento do transporte público.

Já a integração seria o oposto da segregação, ou seja, a facilidade de locomoção ao longo do espaço. Segundo Krafta (1997, p. 05.3), a integração é uma característica que diferencia cada ponto do sistema de acordo com a facilidade de deslocamento a partir dele até qualquer outro ponto dentro da malha. Refere-se à facilidade de acesso de um ponto a todos os outros indicados no sistema (HOLANDA, 2002, p. 63).

A forma de segregação espacial pode ser voluntária ou involuntária (SABOYA, 2009). A primeira indica a iniciativa de uma pessoa, ou grupo, em procurar localizações privilegiadas dentro da estrutura urbana, em busca da separação espacial de algum grupo com característica específica. Um exemplo deste tipo de segregação é a implementação de condomínios fechados destinados à classe de maior poder aquisitivo. A segregação involuntária refere-se à localização espacial de indivíduos que não possuíram alternativas em termos de escolhas locais e acabaram situados em locais de difícil acesso ou mais distantes dentro da malha urbana.

---

<sup>2</sup> Segregação é o ato de separar ou isolar, objetivando evitar contatos (FERREIRA, 2004, p. 1820).

As cidades, de maneira geral, apresentam diferentes graus de segregação espacial. Em sua maioria, as regiões mais segregadas são manifestadas em núcleos residenciais (segregação familiar). Já as áreas mais integradas normalmente se localizam em centros conectados. Contudo, quando a segregação espacial extrapola o nível da expressão cultural passa a ser vista como um problema social, uma vez que reduz os movimentos intraurbanos (HILLIER *et al.*, 2007, p. 3).

Os estudos de Hillier *et al.* (2007) indicam que há uma correlação entre as áreas mais segregadas e a localização da população mais pobre dentro das cidades. Como essa parcela da população tende a apresentar menos opções de mobilidade, acabam ocupando regiões com menos vantagens locais. Com base nessa ideia é possível inferir que a configuração espacial urbana pode dificultar o acesso de algumas parcelas da população a determinados serviços. Além disso, a segregação espacial pode reduzir as probabilidades de relações entre indivíduos diferentes, aumentando a intolerância e a percepção da desigualdade, o que tende a contribuir para o aumento da violência urbana (SABOYA, 2009). Dessa forma, o aumento da segregação espacial pressupõe a redução da urbanidade. Dentre os vários conceitos de urbanidade, a mesma pode ser compreendida como a redução dos custos de deslocamento e o aumento da acessibilidade aos equipamentos públicos (HOLANDA, 2002, p. 70-71), possibilitando aos indivíduos melhor qualidade de vida.

Por outro lado, as áreas mais integradas do ambiente urbano tendem a estar associadas a um fluxo intenso e, de maneira geral, costumam atrair atividades de comércio e prestação de serviços. Ou seja, a configuração espacial exerce influência sobre a intensidade de circulação urbana de pedestres e veículos (HILLIER, 2007, p. 113), que por sua vez atrai os estabelecimentos comerciais em busca de visibilidade dentro da malha urbana (HILLIER, 2007, 125). Além disso, elevar a medida de integração urbana, do ponto de vista global do sistema, significa reduzir as áreas segregadas, permitindo maior facilidade no deslocamento entre os diversos pontos da malha urbana. Segundo Holanda (2002, p. 62), destinar atenção especial ao desenho urbano e às análises dos seus resultados do ponto de vista da integração espacial poderia evitar a chamada 'exclusão pelo projeto', contribuindo para a redução da segregação espacial. Contudo, poucos projetos de intervenção urbana consideram a influência da forma urbana na segregação espacial (LEGIBY, 2009, p. 1). Estudos indicam que o desenho urbano pode auxiliar na redução das consequências negativas da segregação (LEGIBY, 2008, 2009; HILLIER *et al.*, 2007).

### **2.3.2. Relações entre forma urbana e nível de integração/segregação**

A literatura da área da sintaxe espacial<sup>3</sup> indica que existem relações entre a forma urbana e os níveis de segregação presentes no sistema urbano. Legiby (2008) afirma que a configuração espacial urbana é um fator determinante nos fluxos e na presença de indivíduos no espaço público. Ou seja, o desenho urbano tem a capacidade de exercer influência sobre os deslocamentos e os locais mais propícios ao agrupamento de pessoas no espaço. Segundo Medeiros (2006, p. 101), a forma urbana seria capaz de inibir ou intensificar fluxos, estabelecendo um gradiente de concentração de fluxos para diferentes áreas do sistema. A partir disso, regiões com maior fluxo tendem a atrair determinados usos, como comércio e serviço, os quais acabam atraindo novos fluxos e aumentando a circulação e dando origem a novas dinâmicas urbanas. Esse processo de reorganização espacial e alterações nos fluxos urbanos seria o ‘Movimento Natural’ denominado por Hillier *et al.* (1993, p. 31-32 *apud* MEDEIROS, 2006).

Cidades apresentam diferenças geométricas as quais interferem no grau de integração do espaço urbano. Segundo Hillier (2001, 02.04), a integração espacial está relacionada com a dimensão linear, disposição e o ângulo de conexão entre as vias. A geometria espacial diferenciada entre cidades pode representar uma expressão cultural da sociedade sobre o espaço urbano (*Ibid.*). Ao mesmo tempo em que a sociedade atua sobre a forma urbana, esta exerce influência sobre as atividades sociais através do grau de integração/segregação global do sistema. Estudos revelam que espaços públicos mais segregados acabam sendo utilizados essencialmente pela população local, enquanto espaços mais integrados atraem usuários de outras partes da cidade (LEGIBY, 2008).

Se considerarmos apenas sistemas urbanos representados por linhas axiais, sistemas compactos tendem a possuir um número maior de linhas longas no sistema, quando comparados com sistemas fragmentados. Desse modo, é possível supor que formas compactas tendem a possuir maior integração global, uma vez que tendem a possuir menor profundidade do sistema em função do número de componentes do sistema. Hillier (2001, p. 02.17) salienta que, quando linhas viárias longas são divididas, são elevadas as profundidades gerais do sistema, reduzindo a integração do mesmo. Caso as interrupções sejam efetuadas próximas ao centro das linhas, a redução poderá ser ainda maior do que quando segmentadas em duas linhas de dimensões diferentes (uma pequena e outra maior). Assim, é possível inferir que, se compararmos cidades de mesmo porte, aquelas com disposição mais fragmentada poderiam

---

<sup>3</sup> Hillier *et al* (1984, 2007), Medeiros (2006) entre outros.

ter menor integração global quando comparadas com cidades compactas, já que tendem a possuir linhas mais curtas e, conseqüentemente, um maior número de linhas dentro do sistema.

Os estudos de Hillier indicam a relação entre a disposição espacial, avaliada através da dimensão das linhas (ou ruas) do sistema e a da integração do espaço urbano. As proposições relacionadas ao porte, dispersão e tipo de traçados das cidades foram desenvolvidas com base na representação por linhas axiais, sendo que a representação por segmentos de eixo poderia resultar em alteração nos resultados. Essas suposições foram demonstradas na Tese de Medeiros (2006) denominada *Urbis Brasiliae* ou Sobre Cidades do Brasil: inserindo assentamentos urbanos do país em investigações configuracionais comparativas.

Em seu estudo, Medeiros (2006) busca vincular as características morfológicas relacionadas ao traçado e dispersão urbana à integração espacial para cidades brasileiras. A fim de identificar a existência de uma tipologia configuracional para as cidades locais, o autor procurou caracterizá-las de acordo com sua morfologia, através de categorias as quais tinham como objetivo facilitar a identificação de similaridades e diferenças de conformação espacial dentro da amostra analisada. Dentre os quatro grupos de características delimitados por Medeiros destacamos *Forma & Distribuição (Mapa Axial)*, em especial os itens (1) mancha urbana, (2) forma urbana e (3) unidade do mapa axial para descrever a morfologia urbana das cidades e avaliar a influência dessas características sobre a integração global do espaço urbano. No estudo de Medeiros (2006), a mancha urbana foi definida como contínua ou descontínua; a forma do mapa axial foi caracterizada como regular, intermediária ou irregular; enquanto a unidade do mapa axial foi determinada como grelha, composição de grelhas ou orgânico. Quanto à mancha urbana, Medeiros identificou que 54% da amostra para cidades de médio e grande porte são de malhas descontínuas, enquanto 46% são de malhas contínuas. Com relação à forma, as cidades de médio e grande porte apresentaram mapas axiais predominantemente regulares (79%), seguidos da forma irregular (13%) e por fim a forma intermediária (8%). A análise da unidade do mapa axial permitiu observar que grande parte da amostra (92%) apresenta composição de grelhas em sua disposição espacial enquanto apenas uma pequena parcela (8%) se dividiu igualmente entre grelha e orgânica.

A partir da amostra, foram extraídas as características da mancha urbana, da forma urbana e da unidade do mapa axial e relacionadas com a medida Integração Global. Esta medida determina o grau de permeabilidade ou acessibilidade de uma linha em uma representação linear da rede (MEDEIROS, 2006, p.334). Segundo Medeiros (2006, p. 336), a forma regular dos mapas axiais, com predominância ortogonal, apresentam maior nível de

integração global, desde que esse seja o traçado predominante dentro do sistema e não somente de partes do sistema. Ainda, salienta que o padrão colcha de retalhos, termo utilizado para definir o agrupamento de diversos tipos de tecidos, não estimula uma maior integração (*Ibid.*). No mesmo estudo, foi identificado que os sistemas com menor integração global encontram-se em dois grupos: os de mancha urbana dispersa, diretamente ligados às especificidades do sítio, como montanhas, rios, lagos etc., e os de grandes dimensões, como metrópoles, mesmo quando possuem mancha urbana de menor fragmentação.

No estudo de Medeiros (2006), em um primeiro momento, a análise de dispersão do território é vinculada somente às características geográficas do sítio, ou seja, a dispersão é relacionada ao grau de acidentes geográficos presentes no espaço urbano. Somente quando são calculadas a compactação e densidade é mencionada a possibilidade da dispersão urbana ser influenciada pelas características culturais ou escolhas de projeto.

A partir das análises do trabalho de Medeiros (2006) é possível destacar que para o cálculo de compactação e densidade são considerados apenas o tamanho dos eixos e a área do sistema, o que pode distorcer o resultado em função do nível de regularidade e grau de unidade da malha. Dessa forma, uma sugestão de aprimoramento da medida seria calcular o nível de compactação através da razão entre o perímetro da borda e a área do sistema, o que traria maior independência à medida. Ao mesmo tempo a análise do traçado poderia ser avaliada paralelamente através do tipo de traçado e grau de unidade da malha.

Cabe destacar a análise que relaciona a área do sistema com a Integração Global do mesmo, a qual indica que, quanto maior a área do sistema, menor a Integração Global. Isso deve se ao fato de que, quanto maior o tamanho da cidade, maior a tendência dela possuir um traçado mais irregular e com menos unidade, reduzindo o tamanho dos eixos e aumentando o número de componentes do sistema.

Segundo o autor, os sistemas com menor número de componentes ou com traçados ortogonais apresentaram maior Integração Global, o que enfatiza a influência do tipo de traçado e grau de unidade da malha sobre a integração/segregação do sistema.

Quando analisadas as características morfológicas das cidades em relação ao valor de Integração Global na Base 100<sup>4</sup> foi identificado que sistemas com maior número de componentes apresentam menos desigualdade interna, ou seja, menor diferença entre os

---

<sup>4</sup> Trata-se da normalização dos valores absolutos de integração obtidos em um padrão único, a fim de permitir a comparação de dados entre espaços de escalas distintas, resultando em valores de 0 a 100, onde 0 é o menor valor absoluto de integração e 100 o maior (MEDEIROS, 2006, p. 339).

valores de integração mais altos e os mais baixos. Ao mesmo tempo, sistemas com menor número de componentes implicam em maiores diferenças entre os valores extremos de Integração (MEDEIROS, 2006, p. 341-342).

Elaborando um panorama geral dos estudos tanto de Medeiros (2006) quanto de Hillier (2001), é possível perceber que as características morfológicas do espaço urbano, como o tamanho da cidade, o tipo de traçado, a regularidade do mesmo e o grau de compactidade da mancha urbana, exercem influência no grau de integração e segregação das cidades, podendo interferir nos resultados obtidos. A partir disso, propomos que a amostra do presente trabalho seja composta por cidades com tamanhos semelhantes, selecionadas por meio dos dados de população, a fim de reduzir a influência do fator do tamanho do território para a avaliação das características de integração/segregação espacial. É relevante para o estudo avaliar as implicações de projetos de renaturalização em diferentes realidades relacionadas à característica de compactação, por isso selecionamos cidades com diferentes níveis de compactação/dispersão e as classificamos de forma a criar um gradiente entre as formas mais compactas e as mais dispersas. Ainda, uma amostra heterogênea de cidades com relação ao nível de regularidade e grau de unidade da malha urbana poderá indicar se há influência do traçado no impacto resultante de projetos de renaturalização urbana.

## **2.4. Forma urbana e planejamento ambiental sustentável**

As cidades apresentam as maiores contribuições para a degradação ambiental, uma vez que nelas está concentrado elevado grau de emissão de poluentes, assim como alto consumo de energia e recursos ambientais (BEATLEY, 2000, p. 4). Ao mesmo tempo, os espaços urbanos são o principal foco de estudo em busca da sustentabilidade global, uma vez que projetos podem ser aplicados em grande escala, dando origem a resultados mais expressivos do ponto de vista ambiental (*ibid.*). Dessa forma, o planejamento urbano e a estruturação espacial podem contribuir positivamente para a busca da redução dos impactos ambientais através de planos voltados à preservação ambiental.

Ainda que as relações entre o ambiente natural e a cidade estejam há alguns anos presentes nos estudos relacionados à cidade, até o momento não possuímos projetos e aplicações práticas que realmente tragam essa temática para o centro das diretrizes de planejamento (BEATLEY, 2000, p. 5), talvez porque, dentre as questões relativas ao ambiente natural, os problemas urbanos estejam entre os de mais difícil solução, devido principalmente a sua complexidade e magnitude (JENKS, 1996, p. 1).

Desde a década de 1990 as discussões em torno da gestão ambiental urbana vêm ganhando força, fazendo com que os aspectos ambientais estejam presentes de forma mais consistente nas discussões de planejamento. Atualmente é consenso que ocupações de áreas ambientalmente inadequadas, como leitos de cursos d'água, linhas de drenagem e encostas com declividade acentuada, contribuem de forma substancial para a degradação ambiental intraurbana. Pouco vem sendo feito para evitar essas ações ou reduzir seu impacto sobre a rede ecológica intraurbana.

Nesse sentido, um caminho para retroceder ou diminuir o impacto negativo da degradação ambiental no interior das cidades poderia ser a renaturalização<sup>5</sup> dos cursos d'água, contudo projetos de intervenção urbana com esse intuito ainda são raramente aplicados no Brasil. Possuímos algumas iniciativas isoladas de renaturalização de canais e arroios intraurbanos, com pouca divulgação e dificuldades financeiras na execução dos projetos, como, por exemplo, o projeto de renaturalização do Arroio Vieira em Rio Grande – RS, desenvolvido com base em uma iniciativa da população através da Associação dos Amigos do Arroio Vieira - Pró-Vieira, e de alguns canais na Cidade de São Paulo - SP, como o córrego Itororó, em projetos desenvolvidos pela Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente (FOLGATO, 2006 *apud* BROCANELLI e STUERNER, 2008, p. 153).

Para Campbell (2000) os planejadores atuais não buscam relacionar de maneira adequada o desenvolvimento econômico, o ambiente e a sociedade. Ao contrário, enfocam apenas um aspecto de acordo com sua visão principal, negligenciando algumas características em favor de outras. Por exemplo, o planejador ambiental vê a cidade como consumidora de recursos e geradora de resíduos, enquanto o de desenvolvimento econômico como um local de produção, distribuição e consumo. Devemos ponderar as duas perspectivas para que seja possível avaliar a dimensão global dessas relações (sociedade vs. ambiente) para delimitar os possíveis caminhos do desenvolvimento sustentável<sup>6</sup>.

O 'urbanismo verde'<sup>7</sup> defendido por Beatley (2000, p. 5) busca novas tecnologias e ferramentas para pensar uma cidade mais sustentável, integrada com o ambiente natural e a

---

<sup>5</sup> Renaturalizar é a ação de transformar a realidade antrópica através de princípios ambientais e fenômenos naturais (GUALLART, Vicente, 2008, p. 20). Ver mais informações a respeito do tema no item 3.3 (Renaturalização).

<sup>6</sup> Segundo Pesci (2007, p. 37), o desenvolvimento sustentável é definido como o crescimento econômico com justiça social e equilíbrio ambiental e ainda não representa uma realidade e sim um objetivo a ser alcançado.

<sup>7</sup> Este termo refere-se ao planejamento voltado para a redução dos impactos ambientais no espaço urbano (BEATLEY, 2005, p. 5).

região onde está inserida. Para tanto, propõe que sejam elaboradas alternativas de forma urbana, transporte público, redução dos resíduos, consumo de energia e insumos pelas indústrias e equipamentos de uso individuais, entre outros.

A partir de uma visão pessimista é difícil imaginar um cenário sustentável. Os discursos sobre sustentabilidade são frequentes, contudo poucas iniciativas são colocadas em prática, enquanto o cenário não-sustentável é geralmente observado no dia-a-dia das cidades e apresenta-se fortemente ligado à exploração dos recursos naturais. Porém, sob uma interpretação otimista, a sustentabilidade é vista como foco essencial em qualquer debate de planejamento urbano, o que pode vir a reduzir as distâncias entre a teoria e a prática (CAMPBELL, 2000).

Não há consenso sobre qual forma de distribuição espacial é a ideal para a sustentabilidade urbana (JENKS, 1996, p. 4). Não há sequer consenso sobre a definição de sustentabilidade urbana. Contudo, ao somar as vantagens de mobilidade, geralmente observadas nas cidades compactas, aos benefícios de adaptabilidade à expansão urbana, resultante dos processos de concentração e fragmentação, relacionados às cidades dispersas, vislumbramos a possibilidade de avançar no debate sobre a forma urbana sustentável, buscando aprimorar as vantagens e minimizar os conflitos de cada distribuição urbana.

Nesse sentido o presente estudo busca compreender de que forma a configuração espacial das cidades interfere em sua distribuição de segregação espacial, ao mesmo tempo em que procura avaliar o grau de impacto de renaturalizações sobre diferentes formas de distribuição espacial, unindo aspectos ambientais e sociais sob a ótica da configuração espacial.

## **2.5. Forma urbana, segregação espacial e renaturalização**

Ao considerar as ações de planejamento voltadas para a renaturalização urbana, é provável que o sistema urbano aumente o nível de segregação espacial em função das discontinuidades urbanas resultantes da necessidade da conectividade ambiental. Ou seja, o objetivo de melhorar a qualidade ambiental do ecossistema urbano muito provavelmente resultará em perdas de qualidade na configuração espacial urbana, refletindo em um dilema de difícil solução.

A partir da análise da forma urbana é possível avaliar quais são os reflexos de determinadas ações de preservação ambiental sobre a segregação espacial. Desse modo, a compreensão da influência da configuração espacial sobre a integração urbana permite

conectar os temas da segregação espacial e da preservação ambiental em uma única abordagem, avaliando concomitantemente os ganhos da rede ecológica e as possíveis perdas da malha urbana.

Este estudo busca compreender melhor as relações entre as alterações estruturais e seus efeitos sobre a configuração espacial a fim de vislumbrar possibilidades de planejamento urbano as quais conciliem de maneira mais adequada as questões sociais e ambientais presentes no espaço urbano.

### **3. A DEGRADAÇÃO E A RENATURALIZAÇÃO DO AMBIENTE NATURAL INTRAURBANO**

Nos capítulos anteriores procuramos desenvolver uma visão de cidade que contemple os aspectos ambientais e sociais nela contidos. No presente capítulo vamos salientar as consequências da degradação ambiental para o sistema urbano e a importância da coexistência entre cidade e ambiente natural.

Partindo do princípio que a maioria das urbanizações possui áreas ambientalmente degradadas e que é necessária a redução dos conflitos entre homem e natureza, passamos a conceituar *renaturalização* no contexto deste estudo, demonstrando diferentes níveis de aplicação desse tipo de intervenção nas cidades. A fim de caracterizar o espaço ambiental urbano apresentaremos os princípios da *ecologia da paisagem* através dos elementos estruturadores da paisagem, dos padrões de conservação e da análise da estrutura espacial das redes ecológicas. Por fim, serão discutidas as implicações das intervenções ambientais sobre a estrutura configuracional urbana, em especial com relação à integração e segregação espacial.

#### **3.1. Degradação ambiental e a cidade como ecossistema integrado – natureza e sociedade**

A ação humana alterou de 30% a 50% da superfície terrestre e utiliza atualmente mais da metade da água doce do planeta (ALBERTI, 2008). Segundo dados da *Global Assessment of Soil Degradation*, 13% da área da Terra encontra-se degradada e as principais causas são o desmatamento e o manejo inadequado da agricultura, entre outras (KOBAYAMA, 2001). As atividades antrópicas em áreas urbanas geram consequências sobre o ambiente natural, dentre as quais citam-se a alteração dos ciclos hidrológicos, a produção de sedimentos provenientes de erosão, a contaminação dos mananciais por resíduos, a formação de ilhas de calor e a poluição do ar (KOBAYAMA, 2001; FORMAN, 2008). O consumo dos recursos naturais, buscando suprir as necessidades da população, o crescente volume de resíduos gerados e a

incapacidade da cidade para suportá-los resultam na contaminação do solo e dos mananciais (KOBAYAMA, 2001). Áreas degradadas de maneira geral apresentam, entre outras características, instabilidade hidrológica e baixa diversidade biológica (*ibid.*), resultando em espaços que têm suas funções e usos ambientais reduzidos ou até mesmo perdidos ao longo do tempo.

As aglomerações urbanas modificam os processos ambientais, o que resulta em alterações no microclima e na qualidade do ar (OKE, 1987 *apud.* ALBERTI, 2008). A urbanização aumenta a impermeabilização do solo, o que afeta os fluxos de água, nutrientes e sedimentos, interferindo diretamente nos processos geomorfológicos e hidrológicos (LEOPOL, 1968; ARNOLD e GIBBONS, 1996 *apud.* ALBERTI, 2008), os quais podem dar origem a desastres naturais<sup>8</sup>.

Os desastres naturais incidem diretamente na qualidade de vida da população, principalmente sobre a parcela com menor poder aquisitivo, a qual, não conseguindo acesso a moradia digna, ocupa de forma irregular áreas com características de instabilidade ou dinâmica ambiental, aumentando o processo de degradação nesses locais (BARROS, M. *et al.*, 2003) e elevando os riscos da ação de novos desastres naturais. Ao mesmo tempo, as camadas sociais com maior renda são atraídas para regiões com alto nível de preservação ou com características biomorfológicas especiais por projetos que têm como foco as vantagens de uma vida em contato com a natureza. Esses projetos também acabam contribuindo para a degradação ambiental do espaço urbano.

Assim como ações humanas podem influenciar em desastres naturais, estes, por sua vez, geram grandes consequências nos sistemas humanos. O clima, topografia, hidrologia e cobertura vegetal são importantes elementos que influenciam nas características da qualidade ambiental urbana, sugerindo que sistemas ecológicos devam ser inseridos aos estudos urbanos (OKE, 1987, *apud.* ALBERTI, 2008, p. 4).

Até o momento, agimos como se estivéssemos isolados do restante do mundo, ignorando que nossas atitudes e escolhas possam gerar consequências em nosso entorno imediato e remoto (KOBAYAMA, 2008). Algumas ações locais como alterações em cursos d'água, desmatamentos, emissão de poluentes, entre outras, podem resultar em impactos e transformações que ultrapassam a ideia de cidade e até mesmo de continente (ALBERTI, 2008). Essas intervenções sobre o ambiente natural podem vir a prejudicar a qualidade de

---

<sup>8</sup> Desastres naturais são danos materiais e à sociedade resultantes de fenômenos naturais em locais de ação humana (KOBAYAMA, 2008).

vida e a saúde dos homens e demais seres vivos, uma vez que a cidade é o resultado de milhares de interações entre escolhas humanas individuais e coletivas, assim como agentes biofísicos (ALBERTI e WANDDELL, 2000).

Entretanto, ações que incentivem uma convivência mais responsável e integrada entre a natureza e a urbanização vêm crescendo ultimamente, evidenciando a importância da coexistência entre os dois sistemas, ambiental e social. A cidade como um sistema complexo, o qual não pode ser compreendido sem que sejam considerados os fatores ecológicos e humanos, é uma discussão que foi retomada no início do século passado, entretanto existem estudos de Hipócrates e Vitruvius, datados de séculos antes de Cristo, que discursam sobre a compreensão das relações entre cidade e natureza (ANNE SPRIN, 1985 *apud.* ALBERTI, 2008).

Os estudos urbanos e as ciências ecológicas têm evoluído significativamente nos últimos anos, principalmente no que se refere à disciplina *Ecologia da Paisagem*, a qual busca compreender as mudanças nos padrões espaciais geradas por ações humanas que desencadeiam impactos nos processos ecológicos. Contudo, a interação e os processos de *feedback* entre o sistema ambiental e social ainda são pouco compreendidos (ALBERTI, 2008). Recentemente os cientistas sociais vêm reconhecendo a importância e influência do ambiente natural nas escolhas dos indivíduos (Veja ALBERTI, 2003 e 2008; BEATLEY, 2000; CAMPBELL, 2000; FORMAN, 2008; entre outros).

Uma forma de contribuir para a elaboração do planejamento integrado entre ambiente e sociedade seria conectar as vertentes ecológicas e humanas em uma única abordagem, propondo estudos urbanos que compreendam e conectem as consequências no ambiente natural decorrentes das escolhas humanas e vice-versa. Para Alberti (2008), uma compreensão contemporânea das relações entre cidade e ambiente natural vislumbra a cidade como um fenômeno híbrido<sup>9</sup>, emergente da influência mútua entre os processos humanos e ecológicos. Esse sistema exige a interação entre diversas disciplinas como Ecologia, Economia, Geografia, Ecologia da Paisagem e Planejamento Urbano englobando seus conceitos, metodologias e normas.

A gestão do ecossistema urbano<sup>10</sup> depende da apreensão de seu funcionamento e das relações entre os processos humanos e ecológicos a fim de compreender suas mudanças e

---

<sup>9</sup> Híbrido significa aquilo em que há mistura de componentes diferentes (FERREIRA, 2004, p. 1036).

<sup>10</sup> Ecossistema é uma área relativamente homogênea onde os organismos interagem entre si e com o seu entorno (FORMAN, 1995, p. 38). No contexto urbano refere-se ao local onde ocorrem as relações entre o sistema social e o ambiente.

evoluções, uma vez que a maneira como o sistema urbano se adapta e corresponde à dinâmica dos ecológicos é um dos fatores mais relevantes rumo à sustentabilidade das cidades.

Muitos estudos urbanos, baseados nos sistemas humanos, têm raízes nas teorias da economia urbana, onde buscam decifrar as influências do mercado imobiliário na distribuição espacial, supondo que as famílias buscam maximizar sua eficiência em função da localização da residência em relação ao comércio, serviço e valor dos transportes (ALBERTI, 2008). A maioria desses estudos é baseada em quadros de equilíbrio, o que dificulta a inserção das dinâmicas ecológicas no sistema.

Se analisarmos o ecossistema urbano sob o ponto de vista da área de conhecimento ecológico ou humano separadamente, teremos uma visão limitada de seu funcionamento e dinâmica (ALBERTI *et al.*, 2003), uma vez que o sistema urbano é composto pela combinação de fatores demográficos, biofísicos, pela dotação e investimentos em infraestrutura, além das questões relativas ao valor da terra e ao mercado imobiliário. Mudanças no espaço urbano resultantes de condicionantes ambientais exercem poder sobre as escolhas humanas que, por sua vez, afetam os sistemas ecológicos e outros sistemas humanos, produzindo novas alterações, dando origem às emergências as quais temos dificuldade em prever em função de sua complexidade.

Os seres humanos são capazes de apreender e responder às alterações ambientais, o que possibilita ações conscientes com o objetivo de mitigar esses impactos, como coletas seletivas e reciclagem, uso responsável e reaproveitamento da água, entre outras (ALBERTI, 2008). Essa habilidade humana de interagir com os processos ambientais eleva o grau de importância das políticas públicas voltadas à preservação ambiental e reflete o aumento de sua responsabilidade em relação aos desastres ambientais.

Buscar alternativas economicamente viáveis e ambientalmente corretas representa o dilema atual dos planejadores urbanos, os quais precisam desenvolver alternativas para elevar a qualidade de vida da população, considerando e ponderando suas consequências nas funções dos sistemas naturais. Os ecossistemas e a biodiversidade estão constantemente sob a influência do crescimento urbano e, dessa forma, amplamente condicionados às escolhas de planejamento, as quais podem indicar um caminho mais ou menos sustentável para as cidades de acordo com seus conceitos e diretrizes.

Para Forman (2008b), a conservação ambiental é tão importante nos processos de planejamento quanto as questões econômicas, de transporte, habitação, emprego e estrutura social, pois se relaciona com esses itens através dos recursos hídricos e produção de alimentos, como também por meio das consequências geradas pelos desastres naturais.

Assim, as escolhas relacionadas à conservação ambiental e à expansão urbana devem ser avaliadas de forma integrada, identificando as influências de ações com objetivo social nas alterações do ambiente natural e vice-versa, para que possamos ponderar de forma adequada as escolhas de planejamento urbano, seja do ponto de vista da conservação ambiental, seja para auxiliar o desenvolvimento social e econômico (CAMPBELL, 2000).

A inserção de técnicas que buscam a recuperação de áreas degradadas, assim como a preservação dos ambientes naturais, junto ao planejamento urbano, vem ao encontro das iniciativas atuais a favor da sustentabilidade urbana. Reduzindo a interferência antrópica na paisagem natural, permitimos o aumento da biodiversidade, a melhora na qualidade do ar e da água e, conseqüentemente, elevamos a qualidade de vida da população (ALBERTI, 2008).

### **3.2. Renaturalização**

A maioria dos desastres naturais ocorridos no Brasil é decorrente da ação das águas, o que faz com que as vantagens estruturais da presença de rios na paisagem urbana, representadas principalmente pela irrigação natural, sejam ofuscadas pelos problemas oriundos das impermeabilizações em solo urbano, como enchentes, engarrafamentos etc. (PERES e MENDIONDO, 2004). O crescimento e a concentração populacional nos centros urbanos aliados à falta de planejamento e utilização equivocada das bacias hidrográficas podem ser relacionados ao aumento de desastres naturais ocorridos nos últimos anos (KOBİYAMA, 2008). Além disso, as alterações climáticas mundiais influenciam no aumento da frequência e na ação das forças desses desastres ecológicos (*ibid.*).

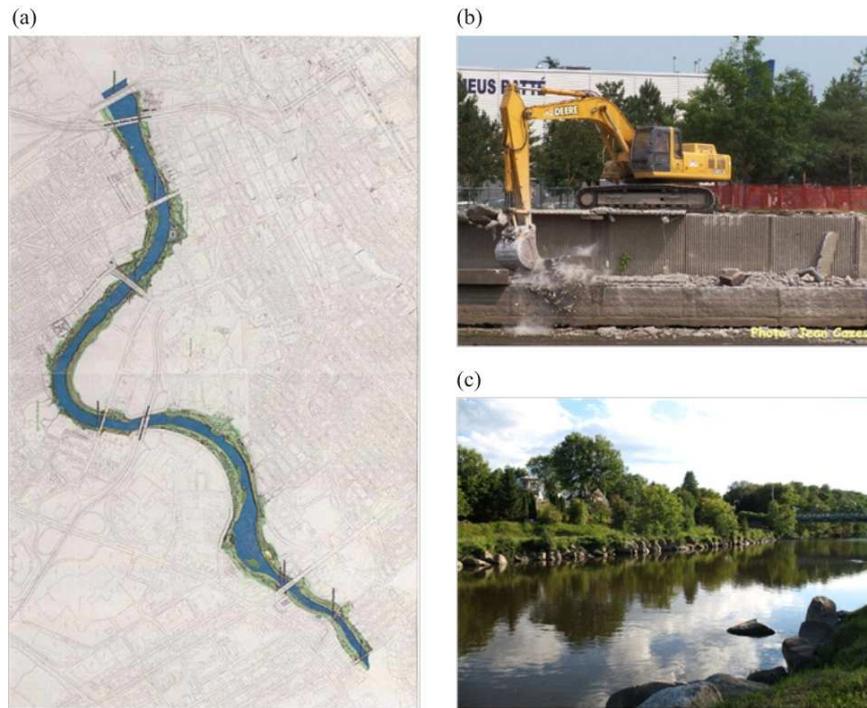
As práticas tradicionais de saneamento buscavam reduzir a sinuosidade e a rugosidade dos canais a fim de aumentar a velocidade de escoamento, drenando a água do local de interesse o mais rápido possível. Essas ações tradicionais de saneamento agravam ainda mais os problemas da falta e excesso de água. Assim, na medida em que são executados projetos de drenagem urbana, aumentam as inundações e racionamentos nas cidades (KOBİYAMA, 2000). Atualmente se consideram equivocadas as ações voltadas à canalização de rios, onde seus entornos são transformados em vias asfaltadas. O passado já demonstrou as fragilidades dessas concepções (COSTA, 2006, p. 11). Os rios, assim como suas margens, são elementos vivos e fluidos; precisam que as cidades se adaptem a sua forma e não o contrário (*ibid.*). Dessa forma, Kobiyama (2008) indica o armazenamento como alternativa à drenagem urbana, reduzindo a velocidade de escoamento e do ciclo hidrológico.

Outra medida que pode auxiliar no controle dos problemas hidrológicos é a renaturalização, a qual busca reverter ou reduzir o processo de degradação ambiental no entorno dos recursos hídricos, mitigando as consequências acima citadas (KOBİYAMA *et al.*, 2001). Além disso, a renaturalização pode promover a inserção de novas áreas de lazer e um resgate patrimonial, uma vez que recria parte de um importante ambiente histórico que acabou deteriorado pela ação humana.

Atualmente profissionais de diversas áreas, como biólogos, hidrólogos e planejadores urbanos, acreditam que a recuperação do ambiente natural seja uma meta a ser alcançada dentro do planejamento ambiental urbano (MULLER *et al.*, 2004, p. 1). Ao estudar alternativas que visam conceder aos ambientes intraurbanos degradados novas possibilidades ecologicamente viáveis, buscamos esclarecer um conjunto de termos recorrentes em projetos urbanos, dentre os quais citam-se a restauração, a reabilitação e a renaturalização. Para Kobiyama (1998) todos os conceitos citados acima representam o inverso do processo de degradação, ou seja, são referentes a ações que auxiliem na conservação ambiental e nas funções biológicas dos organismos.

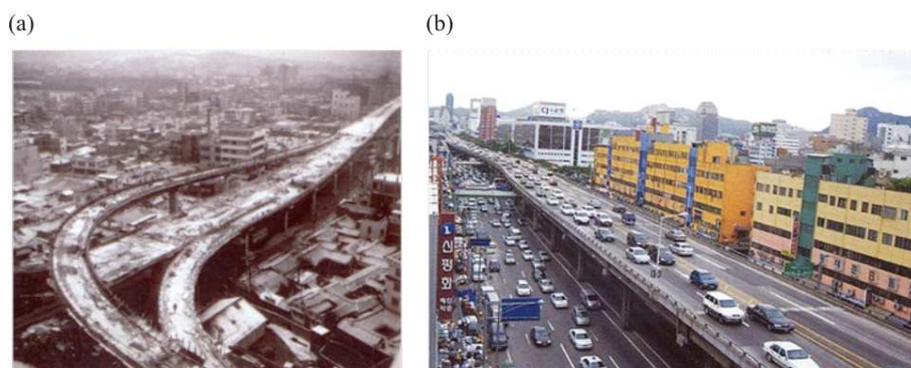
O termo *restauração* (GRIFFITH, 1986 *apud.* KOBİYAMA *et al.*, 2001) é empregado para ações de reparação dos recursos naturais de forma que seja possível reconstituir a composição e a frequência das espécies originais do espaço. Busca englobar processos de engenharia e hidrologia a fim de conceder à área degradada seu padrão original de qualidade ambiental, o que exige o retorno ao estado original do ambiente, desde topografia a vegetação, fauna, flora, água etc. Essas características tornam sua implementação, de maneira geral, de difícil execução devido às técnicas e custos envolvidos no processo (KOBİYAMA *et al.*, 2001).

A fig. 01 evidencia um exemplo de restauração, onde foi executada intervenção no Rio Saint Charles no Quebec. Durante as décadas de 60 e 70 do século XX as vantagens do rio, relacionadas principalmente à utilização da água como elemento de saneamento e de transporte de mercadorias, atraíram diversas indústrias para o seu entorno. Naquela época o rio recebeu contenções de concreto para regular o seu fluxo. Com a exploração do recurso hídrico por parte das empresas o mesmo passou a estar entre os mais poluídos da região. Esse fenômeno que, em um primeiro momento, aproxima a cidade dos recursos hídricos e depois os distancia através da degradação ambiental, ocorre de forma semelhante em muitas cidades ao redor do mundo. No início da década de 90 um projeto de iniciativa governamental com o apoio da sociedade propôs a restauração do canal que corta a cidade.



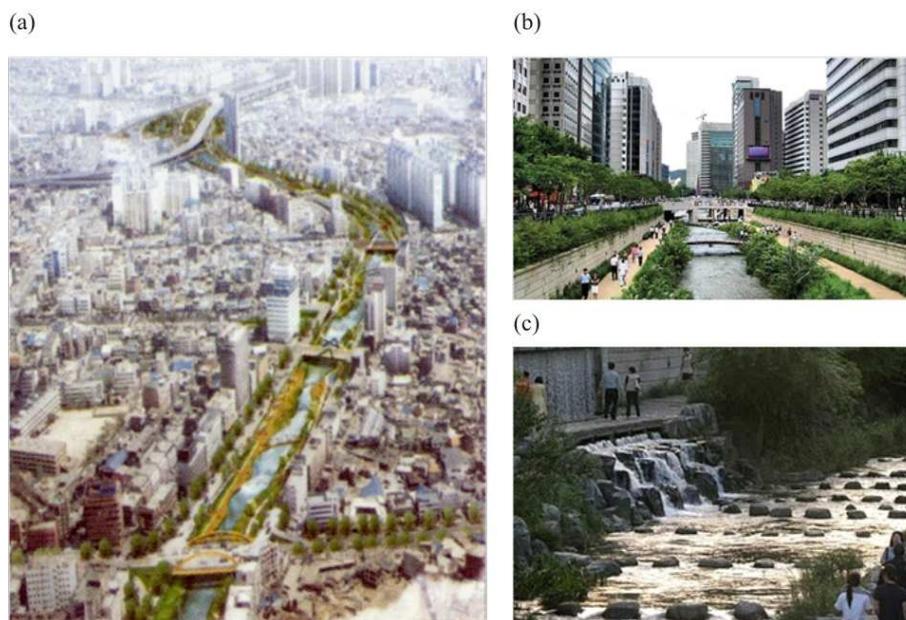
**Figura 01** - Restauração do Rio Saint Charles (a) Área de Intervenção; (b) Demolição do muro de contenção; (c) Imagem do Rio Restaurado. Fonte: (a e b) <<http://forum.skyscraperpage.com>> e (c) <<http://fr.academic.ru/dic.nsf/frwiki/1438429>>.

A reabilitação busca aprimorar a qualidade do ambiente natural sem exigir o retorno ao estado original anterior à degradação, o que possibilita a adequação da intervenção ao contexto urbano, variando de acordo com o grau de degradação ambiental, das peculiaridades físicas do local e das possibilidades financeiras do agente promotor da transformação. Um dos mais conhecidos projetos de reabilitação trata da intervenção no Rio Cheonggyecheon, em Seul, na Coreia do Sul. Até o início do século XXI o Rio Cheonggyecheon encontrava-se altamente poluído e coberto por uma via elevada para circulação de veículos, conforme a fig. 02.



**Figura 02** - Auto-estrada sobre o Rio Cheonggyecheon (a) Construção do viaduto sobre o rio; (b) Autoestrada em funcionamento. Fonte: (a) <<http://www.alestruariodelplata.com.ar/esbozos.html>> e (b) <<http://www.ribeiraoarrudas.blogspot.com/2010/06/o-exemplo-de-seul>>.

A partir desse estado de degradação surgiu a iniciativa governamental de executar um projeto de reabilitação, o qual previa, além da reabilitação do ecossistema natural dentro do ambiente urbano, criar novos espaços de lazer e convívio. Dentre as principais medidas empregadas na reabilitação estão: (1) remoção de vias elevadas sobre o corpo d'água; (2) remodelação do sistema viário; (3) priorização do sistema de transporte público e (4) ações voltadas à implantação de vegetação sobre a encosta.



**Figura 03** - Reabilitação do Rio Cheonggyecheon: (a) Imagem da extensão do Projeto de Reabilitação e (b) Imagens da intervenção executada.

Fonte: (a) <<http://www.alestruariodelplata.com.ar/esbozos.html>> e

(b e c) <<http://www.ribeiraoarrudas.blogspot.com/2010/06/o-exemplo-de-seul>>.

As consequências esperadas com a implantação do projeto de são a melhoria da qualidade da água, a reinserção de vida aquática e a redução das temperaturas médias, além da implantação de um espaço de convívio social, conforme a fig. 03.

Para Kobiyama *et. al* (2001) a renaturalização é um termo especialmente dedicado aos rios, o qual engloba todos os conceitos anteriormente descritos neste estudo. Ou seja, ambos os exemplos apresentados como restauração e reabilitação seriam projetos de renaturalização, uma vez que tratam-se de intervenções voltadas ao aprimoramento ambiental de rios intraurbanos.

A renaturalização de áreas degradadas vem ganhando espaço entre os estudos urbanos e ambientais. Todavia, para que seja possível efetuar a renaturalização de ambientes é

necessário conhecer sua condição natural, daí a importância das regiões preservadas e dos levantamentos históricos das regiões degradadas (KOBAYAMA, 1998).

Uma possibilidade de pré-avaliação do possível impacto da aplicação das técnicas de renaturalização nos processos de planejamento urbano e ambiental corresponde à concepção de cenários e uso de indicadores de desempenho (PERES e MENDIONDO, 2004) para fundamentar os processos de tomada de decisão e identificar os principais pontos de intervenção a nível local e regional.

Esses cenários podem representar diferentes níveis de renaturalização, partindo de uma simulação mais simples de reabilitação até uma opção mais próxima da original, buscando a restauração do espaço, a fim de avaliar a proporção de suas consequências no ecossistema urbano e na estrutura configuracional das cidades (PERES e MENDIONDO, 2004).

Cada ação de planejamento urbano que procure renaturalizar o ambiente deve identificar as influências de suas propostas no âmbito da configuração espacial urbana e da qualidade do ambiente natural de forma integrada, ponderando os dois aspectos com o propósito de elaborar planos mais sustentáveis tanto do ponto de vista ambiental como do ponto de vista do sistema urbano.

Nesse sentido o estudo propõe a paisagem como estruturadora do planejamento para intervenções na forma urbana a fim de contribuir para a concepção de cidades mais sustentáveis. Na definição de Forman (1995, p. 39) *paisagem* é um objeto com limites reconhecidos onde se localizam um ou mais ecossistemas, podendo variar de escala de acordo com a dimensão de observação. No contexto urbano refere-se ao conjunto de elementos urbanos e ambientais. A representação do espaço urbano através de sua paisagem se dá por meio da definição dos elementos e das relações entre os mesmos a fim de identificar os pontos de intervenção dentro da malha urbana.

### **3.3. A abordagem da ecologia da paisagem e suas noções de estrutura da paisagem**

Ao assumir que a urbanização altera o ambiente natural, modificando sua estrutura e fluxos internos, e que atualmente mais de 50% dos seres humanos habitam cidades, como podemos projetar cidades mais integradas com a paisagem natural? A fim de responder essa pergunta, Forman (1995) propõe a utilização de princípios da ecologia da paisagem para

manter e recuperar a natureza intraurbana, aproximando-a do homem e garantindo sua biodiversidade.

Segundo Forman (1995, p. 20), um dos primeiros autores a utilizar o termo *ecologia da paisagem* foi Carl Tool (1939, 1968), o qual o definiu como o estudo das relações complexas de causa e efeito entre as comunidades biológicas e suas condições ambientais. Para Perlman e Milder (2004, p. 94-96), a ecologia da paisagem estuda a distribuição e função dos sistemas dentro da paisagem, além da influência da estrutura espacial sobre a sociedade e ecossistemas, podendo auxiliar no planejamento e gestão dos sistemas urbanos.

Através da ecologia da paisagem é possível a compreensão das características e processos naturais com pouco conhecimento acerca dos dados ecológicos do local, através de generalizações e elaboração de suposições quando não há a possibilidade da coleta de dados aprofundados (*ibid.*). Ainda, possibilita sua aplicação em diferentes paisagens e admite o diálogo entre usuários e planejadores (FORMAN, 2008b, p. 18).

Segundo Forman (1995, p. 4), qualquer cidade vista de cima se parece com um mosaico<sup>11</sup>. Árvores, rochas e casas isoladas parecem pequenos pontos, enquanto matas, campos e bairros são exemplos de manchas no território. Rios, estradas, cercas e linhas de energia representam corredores ou linhas, enquanto pastagens, plantações ou outras grandes extensões de utilização semelhante podem ser consideradas a matriz ou plano de fundo.

Para descrever a paisagem Forman (1995, p. 7) utiliza elementos estruturadores denominados *mancha*, *limite*, *corredor*, *nó* e *características incomuns*, os quais apresentam relação com diversas disciplinas, como a Arquitetura e a Arte, através dos componentes ponto, linha e plano. Ainda, apresentam forte semelhança com os elementos utilizados por Lynch para caracterizar imagem urbana: bairro, borda, caminho, nó e marco.

O modelo mancha-corredor-matriz indicado por Forman (1995) permite representar e simplificar a realidade, possibilitando a identificação de elementos estruturadores da paisagem. Contudo, da mesma forma como os elementos indicados por Lynch, um mesmo objeto pode ter interpretações distintas, de acordo com a escala, ponto de vista ou foco de interesse da análise.

---

<sup>11</sup> Mosaico é um padrão formado por manchas, corredores e matriz, sendo que cada elemento é composto por diversos objetos semelhantes agrupados (FORMAN, 1995, p. 39).

### 3.3.1. Elementos estruturadores da paisagem

Os elementos estruturadores da paisagem buscam, através de terminologias universais de fácil compreensão, descrever e comparar paisagens diferentes a partir de princípios básicos (FORMAN, 2008b, p. 18).

a) **Matrizes** – São considerados os elementos que constituem o ecossistema dominante (em extensão), aquele com maior conectividade ou capaz de exercer maior influência sobre os demais (FORMAN e GODRON, 1986, p. 159-165; FORMAN, 1995, p. 39). Sua delimitação depende do recorte e da escala em análise. Podem ser áreas de plantações, florestas ou mesmo áreas urbanizadas (PERLMAN e MILDER, 2004, p. 97-98). Quanto à forma da matriz, devemos analisar se a mesma é homogênea ou heterogênea, dividida ou unificada, perfurada ou compactada (FORMAN, 2008b, p. 18). De acordo com sua forma e conectividade, a matriz pode atuar como barreira, dividindo os ecossistemas presentes em outros elementos do mosaico, ou como conduto, quando sua conexão se dá por trechos alongados, propiciando a migração em seu sistema interno. Quando engloba completamente um elemento (como quando se localiza ao redor de uma determinada mancha) a matriz pode convertê-lo em uma ilha, isolando seu ecossistema interno.

b) **Manchas** – São áreas relativamente homogêneas, com formas não lineares, as quais possuem características que as diferem de seu entorno (FORMAN, 1995, p. 39). As mesmas podem variar de formato e escala. Perlman e Milder (2004, p. 99-102) indicam as manchas como sendo elementos decorrentes da ação humana, naturalmente criados por delimitações climáticas e desastres naturais, entre outros. Dentro do perímetro urbano estas geralmente são parques e praças, resquícios de ambiente natural preservados, os quais servem como refúgio para fauna silvestre em épocas de migração ou como abrigo de espécies adaptadas ao convívio com os seres humanos (BROCANELI, 2008, p. 226). O tamanho da mancha exerce grande influência sobre a riqueza e abundância das espécies que habitam o local, sendo que as manchas maiores tendem a ter maior resiliência<sup>12</sup> do que as menores (PERLMAN e MILDER, 2004, p. 99-102). Manchas compactas têm menos área de borda e, portanto, menos região de interação com o espaço externo. Dessa forma favorecem a existência de espécies raras ou em extinção. Manchas alongadas tendem a possuir maior heterogeneidade de espécies, o que resulta em maior resistência ao ataque de pragas e doenças (*ibid.*).

---

<sup>12</sup> Característica que define a capacidade de resistir a determinados fenômenos (FERREIRA, 2004, p. 1743), neste caso refere-se à possibilidade de um espaço permanecer com suas principais características ao longo do tempo.

c) **Corredores** – São formas alongadas com características homogêneas as quais diferem de seu entorno. Possuem diversas funções entre as quais citam-se a ligação (condução) e a barreira entre diferentes habitats (FORMAN, 1995, p. 39; PERLMAN e MILDER, 2004, p. 102-110). Podem ser faixas verdes implantadas ao longo dos sistemas hídricos ou componentes antrópicos, como estradas, ferrovias etc. (PERLMAN e MILDER, 2004, p. 102-110). Os corredores atuam como condutores do fluxo de animais, plantas, águas, pessoas, nutrientes etc. Além disso, em alguns casos podem atuar como restrição à comunicação entre as partes circundantes, reduzindo ou até mesmo eliminando as interações entre os diferentes lados dos corredores (*ibid.*). Dessa forma entende-se que um mesmo corredor pode atuar de forma distinta para diferentes espécies, como, por exemplo, um rio pode atuar como barreira, restringindo a comunicação entre os habitantes de bairros distintos localizados em laterais opostas ao rio e, ao mesmo tempo, como facilitador da migração de animais entre diferentes manchas. Quanto à sua forma devemos avaliar se são largos ou estreitos, retos ou curvos, segmentados ou contínuos, homogêneos ou heterogêneos (FORMAN, 2008b, p. 18), sendo que cada uma dessas características também influencia na tipologia e quantidade das espécies que de alguma forma utilizam o espaço (PERLMAN e MILDER, 2004, p. 102-110). Alguns ecologistas defendem que corredores podem eventualmente prejudicar os ecossistemas, como, por exemplo, atraindo animais para habitats onde aumentam os riscos de mortalidade. Contudo, essas suspeitas não possuem comprovações científicas, assim como são limitadas as experiências que comprovam a eficácia dos corredores como promotores dos fluxos entre as manchas (*ibid.*). Os corredores antrópicos (em especial as ruas e rodovias) atuam como limitadores do fluxo de animais, dessa forma planejadores devem pensar na delimitação do menor número possível de interrupções nos sistemas ecológicos e, quando forem essenciais para suprir as funções sociais do espaço, projetar soluções que buscam reduzir o impacto e os possíveis atropelamentos de animais, como pontes e túneis, que buscam dar continuidade ao fluxo, ou cercas retentoras, as quais impedem o deslocamento em determinado sentido (PERLMAN e MILDER, 2004, p. 102-110).

Os demais componentes da estrutura da paisagem, embora não estejam indicados com a mesma importância no modelo mancha-corredor-matriz, representam elementos de interesse ou destaque no mosaico, como (d) *nós*, os quais são manchas de pequenas dimensões espalhadas ou pontos entre corredores; (e) *limites* que separam elementos espaciais e têm grande variação em termos de estrutura; e (f) *características incomuns*, que são tipos de

elementos estruturais raros como um único rio ou duas montanhas com particular significado funcional (FORMAN, 1995, p. 7).

A análise e definição dos elementos constituintes da paisagem não são permanentes, apenas representam um determinado momento no tempo, uma vez que as dinâmicas ambientais transformam as características e influências dos componentes dentro do sistema analisado. Por exemplo, uma floresta pode ser modificada ao longo do tempo, tornando-se áreas de plantação ou área urbana, transformando a matriz em mancha ou, em alguns casos, em corredores (PERLMAN e MILDER, 2004, p. 97-98).

Dessa forma, os elementos da paisagem são simplificações de sua estrutura de acordo com a escala observada, para sistemas naturais ou humanos (FORMAN, 1995, p. 7).

A identificação dos elementos ambientais no espaço permite visualizar a rede ecológica englobada no ambiente urbano. Determinar essa estrutura possibilita trabalhar com modelos de simulação e aplicar medidas de diferenciação espacial similares às análises do espaço urbano. Ainda, permite propor intervenções que fortaleçam essa rede contribuindo para a conservação da biodiversidade e o aprimoramento do valor ecológico dos espaços abertos (COOK, 2002, p. 269-280).

### **3.3.2. Alterações na paisagem e padrões de conservação**

Conforme comentado anteriormente, as alterações da paisagem podem ser resultantes de fenômenos naturais ou artificiais (humanos). As mudanças antrópicas podem ser classificadas em perfuração, dissecação, fragmentação e encolhimento, sendo que cada tipo exerce influência de maneira diferente no comportamento da paisagem (PERLMAN e MILDER, 2004, p. 112). A perfuração ocorre quando são retirados pontos de ambiente natural de pequena proporção em relação à área da matriz. Esse processo reflete em problemas para a população de organismos residente no local, mas não chega a dividir as populações, pois permite deslocamentos internos. Já a dissecação ocorre quando a área é dividida por completo, como quando uma estrada é implantada sobre uma mancha verde, resultando em obstáculos para a locomoção das espécies. A fragmentação e o encolhimento são identificados em elementos descontínuos e produzem alterações significativas no que diz respeito às migrações e até mesmo à extinção de algumas espécies (*ibid.*).

A fim de conservar e proteger os sistemas ambientais, Forman (1995, p. 452) propõe alguns padrões essenciais, dentre os quais cita-se:

a) a manutenção de grandes manchas verdes, a fim de conceder maior resiliência às espécies habitantes do espaço;

- b) a preservação da vegetação ciliar, em defesa de diversas espécies aquáticas;
- c) a implantação ou reabilitação de elementos de conectividade entre as manchas, garantindo os fluxos de diversas espécies;
- d) a proteção de áreas naturais intraurbanas, em especial as remanescentes da matriz original em que está inserida a urbanização, as que atuam na contenção de enchentes e regiões que servem como micro-habitats para determinadas espécies.

### **3.4. Implicações de medidas de intervenção ambiental sobre a estrutura urbana**

Intervenções que buscam conferir ao ambiente natural um estado ‘ótimo’ de renaturalização, de maneira geral, trazem implicações sobre a estrutura espacial das cidades, uma vez que a necessidade de conectividade da rede ecológica implica em descontinuidade na estrutura configuracional dos espaços urbanos. Por exemplo, para que um corredor verde eleve seu valor ecológico, do ponto de vista do espaço em si, é necessário que o mesmo aumente sua conectividade e, para que isso ocorra, as vias que porventura atravessarem o corredor verde terão de ser desconectadas, fazendo com que o sistema de mobilidade urbana seja impactado. A partir disso, conclui-se que, para cada intervenção no ambiente natural, teremos uma consequência no espaço urbano, semelhante ao que ocorre quando atuamos sobre o espaço urbano adjacente ao ambiente natural. Alteramos o ecossistema a cada intervenção no espaço urbano.

As consequências da expansão do espaço urbano sobre o ambiente natural já foram comentadas no item 3.1 (Degradação ambiental e a cidade como ecossistema integrado – natureza e sociedade), contudo ainda não foram apresentadas as influências da renaturalização sobre a estrutura configuracional intraurbana.

Partindo do princípio que a forma espacial da malha urbana contribui na formação de padrões de integração e segregação nas cidades (HILIER *et al.*, 2007, p. 2), é possível inferir que descontinuidades no tecido urbano poderão resultar em alterações nos níveis de integração/segregação espacial da rede. O reconhecimento das influências das ações de planejamento, como os projetos de renaturalização, sobre as dinâmicas do espaço urbano nos leva a questionar o grau de impacto dessas intervenções sobre a configuração espacial urbana e, conseqüentemente, sobre a integração/segregação espacial das cidades.

#### 4. SIMULAÇÕES URBANAS E DO AMBIENTE NATURAL

Os estudos da configuração espacial urbana têm utilizado, de maneira geral, a modelagem para analisar os sistemas urbanos (veja os estudos de HILLIER, 1984, 2007; BATTY, 2001, 2004, 2007; KRAFTA, 1994, 1996, 2000, entre outros). A fim de avaliar o grau de impacto de projetos de renaturalização e a influência de determinados critérios de intervenção sobre a estrutura configuracional da malha urbana, propomos a utilização da modelagem urbana, a qual faz uso de experimentos para compreender os fenômenos urbanos e avaliar as relações entre os componentes do sistema. Trata-se de um estudo exploratório uma vez que parte-se de uma situação real (ou atual) para testar alternativas a partir da transformação da realidade por meio da modificação das variáveis envolvidas no modelo.

Modelos são representações que buscam uma simplificação de características observadas e, assim, possibilitam uma melhor compreensão da realidade (ECHENIQUE, 1975). A representação do espaço deve apresentar os aspectos relevantes do ambiente de maneira que seja possível a compreensão da realidade através desse recurso. Eles permitem a consideração de objetos do presente, passado ou de um futuro possível (*ibid.*). Portanto, a partir de modelos de simulação podemos efetuar comparações entre diferentes cenários, visualizar problemas e antecipar soluções de planejamento urbano. Eles podem ser utilizados para demonstrar as transformações na ambiência a partir da aplicação de códigos urbanos (BATTY, 2007).

Dentre os diversos tipos de modelos, alguns são amplamente utilizados para analisar sistemas urbanos, dentre os quais se destacam aqueles que utilizam a *teoria de grafos* e os que se baseiam em *celular autômato*. Neste estudo optamos pela utilização de modelos baseados em grafos, uma vez que essa teoria relacionada aos estudos de morfologia urbana permite captar a qualidade de conectividade do espaço público (KRAFTA, 1996), sintetizando sua complexidade configuracional através da dimensão linear e possibilitando a compreensão da estrutura global do sistema (POLIDORI e KRAFTA, 2003).

A teoria de grafos, oriunda da topologia e utilizada para representar sistemas espaciais, baseia-se nos estudos das posições e relações entre pontos, linhas e superfícies e pode ser

identificada, no contexto urbano, como um conjunto finito de vértices conectados por arestas (SÁNCHEZ, 1998) ou um conjunto de elementos estruturados de um modo particular (KRUGER, 1979).

Os modelos baseados na teoria de grafos, impulsionados pelos avanços computacionais, vêm apresentando progressos na descrição das propriedades do sistema urbano, permitindo uma melhor compreensão do funcionamento desse sistema complexo. Por outro lado, os estudos baseados em modelos de simulação de redes complexas têm indicado a influência da forma configuracional do sistema sobre as características internas, funcionalidades e dinâmicas globais do mesmo (FARIA, 2010, p. 11), contribuindo para a compreensão das relações entre estrutura configuracional e a dinâmica dos sistemas.

Num grafo um sistema é representado por vértices e arestas, onde os vértices correspondem aos componentes do sistema e as arestas representam as relações entre esses elementos. As diferenças entre os vértices do grafo em termos das características configuracionais indicam que alguns componentes do sistema são mais privilegiados que outros.

Os métodos de análise configuracional do espaço possibilitam avaliar a qualidade do espaço urbano produzido, por diferentes padrões de organização morfológica, através de medidas de diferenciação espacial (ZECHLINSKI, 2008). Essas medidas possibilitam compreender características particulares do sistema como um todo ou avaliar as diferenças entre partes integrantes do sistema.

Assim, o modelo de análise configuracional do espaço permite avaliar o impacto que alterações locais podem acarretar no sistema global da cidade permitindo que diferentes projetos urbanos possam ser avaliados a fim de identificar propostas mais adequadas, dando suporte à tomada de decisões (KRAFTA, 1994, p. 81). Ele é utilizado para analisar simulações de futuro (BATTY, 2004, p. 1) e para avaliar o impacto de alterações de diferentes proporções na estrutura urbana local sobre o contexto global das cidades (KRAFTA, 1994, p. 81). Desse modo, a análise do sistema urbano do ponto de vista da integração e segregação permite avaliar a influência de intervenções locais sobre a estrutura global do sistema (KRAFTA, 1994, p. 76).

Com base na teoria de grafos, diversos *softwares* vêm sendo desenvolvidos especificamente para a análise configuracional do espaço urbano (*Medidas Urbanas*, POLIDORI *et al.* 2001; *Mind Walk*, FIGUEIREDO, 2005; *Tigerman*, DALTON *et al.* 2003, entre outros). Propomos a utilização do *Medidas Urbanas*® (POLIDORI *et al.* 2001) e do

*Morphometrics* (FARIA *et al.* 2009). Os *softwares* a serem utilizados apresentam diversas medidas fundamentadas nos conceitos de centralidade, acessibilidade e conectividade.

Deste modo, este estudo utiliza a modelagem baseada na teoria de grafos para explorar e conhecer as alterações da configuração espacial geradas por projetos de renaturalização e sua relação com os aspectos de segregação/integração do espaço urbano. Assim como para avaliara as características de conectividade do ambiente natural e suas alterações resultantes de projetos de renaturalização.

#### **4.1. Descrição e delimitação do mosaico ambiental urbano**

Com base nas imagens de satélite, disponibilizadas pelo *Google Earth*, elaboramos um mosaico ambiental o qual utiliza os conceitos da ecologia da paisagem. Tendo em vista que o objetivo do trabalho refere-se às alterações da estrutura configuracional urbana propomos a utilização os conceitos da ecologia da paisagem com base para a construção de um mosaico urbano.

O recorte determinado no estudo prioriza a análise da área urbana das cidades, a fim de identificar as relações entre o espaço urbano, as áreas verdes remanescentes dentro da malha urbana e o ambiente natural circundante ao espaço urbano. Para tanto o mesmo foi determinado por um buffer de 600m a partir da área efetivamente urbanizada<sup>13</sup>, a fim de identificar as relações das áreas verdes intraurbanas com o ambiente natural no entorno da área urbanizada.

Foi definido como matriz a área efetivamente urbanizada em função de sua representatividade (maior área em extensão) dentro da área de recorte do estudo e grau de influência sobre os demais sistemas.

Foram consideradas manchas verdes as áreas verdes intraurbanas as quais foram selecionadas visualmente através da identificação de vazios urbanos maiores que 0,5ha e circundadas por vias habitadas por pelo menos 3 lados (ou mais que 50% de seu perímetro).

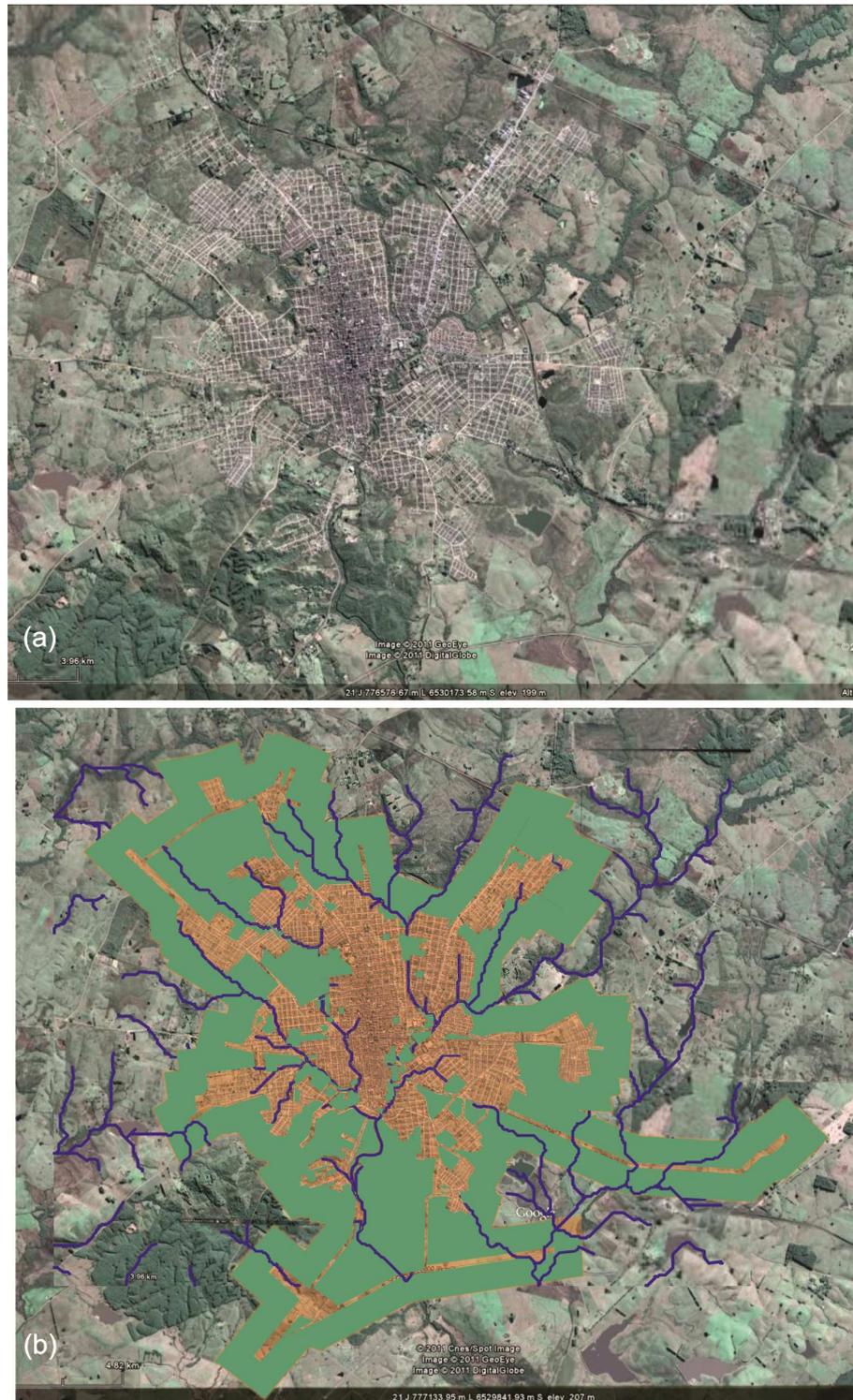
Foram definidos como corredores os arroios com largura superior a 15m e canais urbanos que em função de sua canalização não atingem a mesma largura indicada para os rios. Ainda, foram considerados como corredores as avenidas com canteiro central com dimensão transversal superior a 20m, ou seja, já que seriam capazes de exercer a função de um corredor

---

<sup>13</sup> Para a elaboração do perímetro da área efetivamente urbanizada, no contexto deste estudo, foram utilizadas as vias com presença de edificações adjacentes.

ambiental. Além disso, linhas de drenagem suprimidas no decorrer do desenvolvimento urbano também serão consideradas como possíveis corredores a renaturalizar.

Assim, o mosaico ambiental das cidades em seu estado atual é constituído por manchas, corredores e matriz, conforme fig. 04.



**Figura 04** Imagem de satélite de Porto Velho e sua representação enquanto mosaico.

## 4.2. Critérios de representação da estrutura espacial urbana

Com objetivo de representar o mosaico urbano em um grafo, a mesma precisa ser decomposta em unidades espaciais. Existem várias possibilidades de representar a malha urbana, contudo utilizaremos os mapas axiais. Estes são o menor conjunto de linhas capazes de cobrir todos os espaços do ambiente (Hillier, 2001; Kruger, 1996; Klarqvist, 1993, p. 11), representando toda a complexidade do ambiente através de sua dimensão linear (Sanchés, 1998). Segundo Hillier (2001, p. 02.26) “*um mapa axial maximiza a simplicidade do espaço, como forma de retratar a complexidade local*” já que a linha topológica é capaz de representar o movimento urbano (*ibid.*). Para Sanches (1998) os mapas axiais têm a habilidade de capturar as principais características de conectividade quando aplicadas a morfologia do espaço público.

Assim, propomos a utilização de mapas axiais para a representação da forma urbana e avaliação segundo a teoria de grafos.



**Figura 05** Representação do Espaço Urbano (a) Imagem de Satélite (b) Linhas Axiais e (c) Grafo correspondente.

Em um grafo o espaço urbano é representado por vértices os quais representam os espaços públicos abertos e as arestas indicam as conexões onde há ligações entre os espaços abertos, conforme é possível observar na fig. 05.

Os mapas do espaço urbano, representados por linhas axiais, foram disponibilizados por pesquisadores que trabalham com mapas axiais de acordo com os créditos atribuídos nos mapas de eixos presentes nos anexos. Estes mapas representam um estado de cada cidade em um dado momento no tempo, estes não foram atualizados para o momento atual uma vez que isso não iria exercer influencia nos resultados do estudo.



**Figura 06** Representação do sistema urbano de Bagé por linhas axiais.

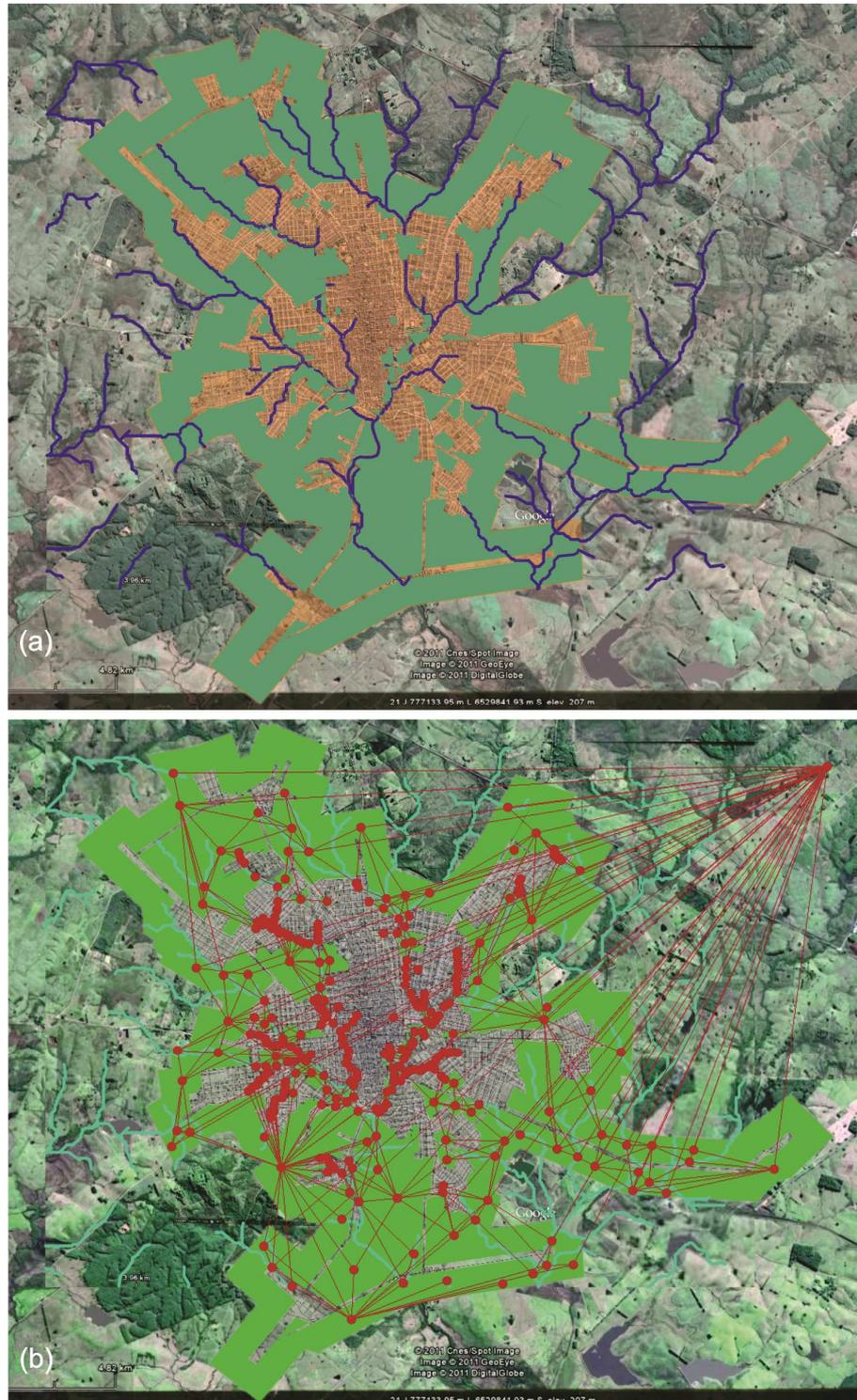
### **4.3. Critérios de representação da estrutura configuracional dos elementos ambientais**

Segundo Forman (1995, p. 285-321), a rede ecológica também pode ser representada por grafos, utilizando como base seus padrões de distribuição espacial e a conexão entre os elementos da natureza. A representação espacial, onde os elementos são representados por pontos e suas ligações por linhas, busca reduzir a complexidade dos sistemas a fim de permitir a comparação entre diferentes paisagens.

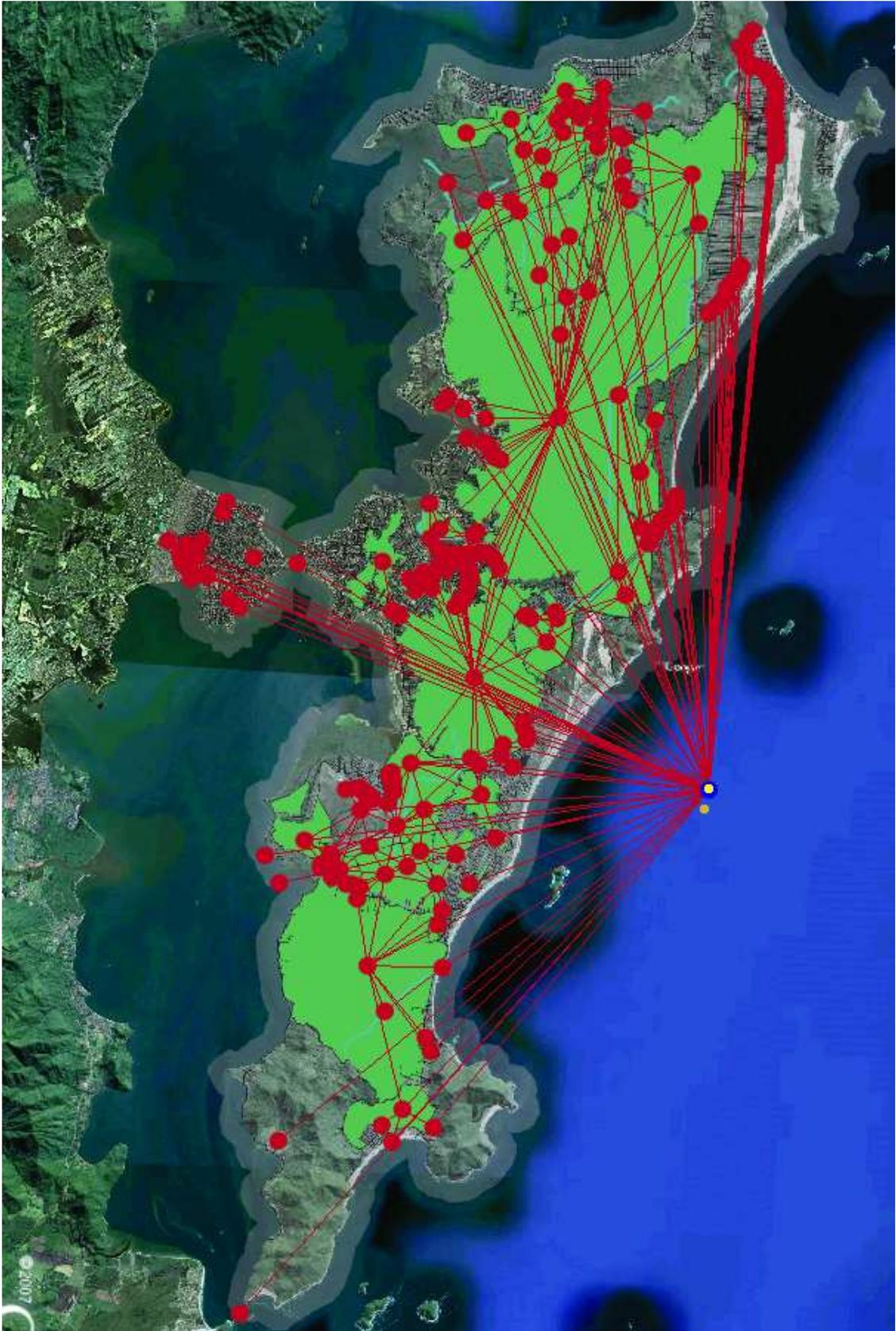
A partir do mosaico ambiental definimos um grafo que representa a estrutura configuracional dos elementos ambientais, onde cada mancha verde, segmento de corredor – gerado pelas interrupções viárias dos corredores – são identificados por um ponto e a presença ou não de relações de conectividade. Foram determinadas pela distância entre os elementos.

Um elemento será considerado conectado a outro sempre que estiver a uma distância geométrica inferior a 300m de seu vizinho.

A fig. 07 ilustra a construção do grafo da rede ecológica a partir do mosaico para a cidade de Bagé.



**Figura 07** Transposição de (a) Mosaico para (b) Grafo.



**Figura 08** Grafo da rede ecológica para a cidade de Florianópolis.

## 4.4. Descrição da estrutura espacial do sistema urbano

A estrutura configuracional do espaço urbano é descrita e avaliada através de medidas de diferenciação espacial. Essas medidas buscam caracterizar o espaço de acordo com suas peculiaridades, vantagens ou desvantagens de localização em relação aos demais espaços do sistema. Dentre as medidas selecionamos a acessibilidade e a centralidade, as quais serão descritas a seguir.

### 4.4.1. Acessibilidade

A palavra *acessibilidade* decorre de *acesso* e *capacidade*, ou seja, significa a capacidade de acessar, ou se aproximar de algo (HANSEN, 1959 *apud* GENEIDY e LEVINSON, 2006 p. 78).

A Acessibilidade de um ponto é o inverso da soma de todas as distâncias geodésicas que o separam dos demais pontos da rede, onde a distância geodésica representa o menor caminho entre dois pontos. Na sua versão baseada na distância topológica, o deslocamento é definido pelo menor número de ligações entre dois pontos de uma rede (FARIA, 2011, p. 25). A Acessibilidade da rede é definida pela média dos valores de Acessibilidade de todos os pontos (FARIA, 2010). Dessa forma a Acessibilidade ( $A$ ) de um vértice  $i$  é o inverso da soma dos caminhos mínimos entre  $i$  e todo  $j$ , sendo  $i \neq j$ , e pode ser expressa pela fórmula

$$A_i = \sum_{\substack{j \in G \\ i \neq j}} \frac{1}{d_{ij}}, \quad (01)$$

onde  $j$  é qualquer vértice da rede diferente de  $i$  e  $d_{ij}$  é a distância geodésica entre  $i$  e  $j$ .

A versão normalizada da medida é calculada com base no valor máximo que um vértice pode possuir em um grafo de mesma ordem.

$$A_{Ri} = \frac{\sum_{\substack{j \in G \\ i \neq j}} \frac{1}{d_{ij}}}{N-1}, \quad (02)$$

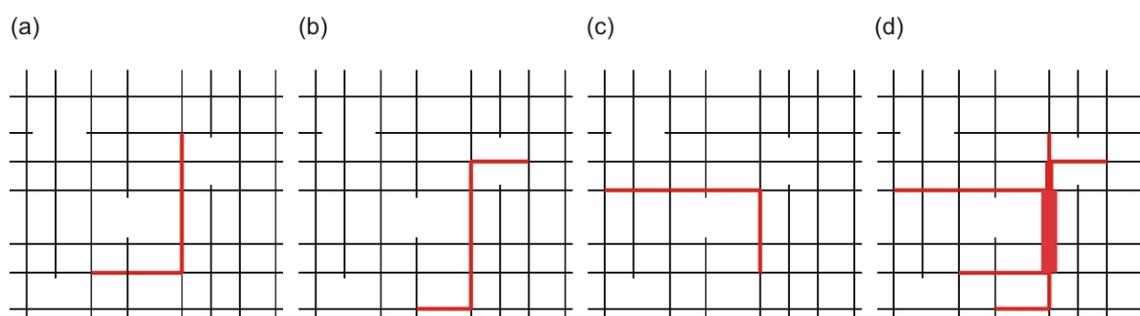
onde  $d_{ij}$  é a distância geodésica entre  $i$  e  $j$  e  $N$  é o número de vértices do grafo.

### 4.4.2. Centralidade

As medidas baseadas nesse conceito buscam descrever a interconectividade indireta entre os elementos, uma vez que as relações entre dois vértices não adjacentes dentro de uma rede são intermediadas por outros vértices e conexões (FREEMAN, 1979). Os elementos localizados nos menores caminhos entre dois pontos quaisquer da rede recebem o atributo de centralidade, no sentido em que estão situados entre os caminhos preferencialmente utilizados

para o deslocamento. Os vértices mais centrais são aqueles localizados mais vezes nas ligações entre pares do sistema. Dessa forma, as unidades mais centrais poderiam facilitar ou dificultar a comunicação entre os demais, intervindo nas relações de poder, prestígio etc. (FREEMAN, 1991; FARIA, 2010, p. 120).

É possível compreender a estrutura configuracional dos elementos do sistema através da avaliação da importância de cada vértice como intermediador das relações indiretas dentro da rede (FARIA, 2010, p. 119).



**Figura 09** - Ilustração do conceito de centralidade. (a) Caminho 1; (b) Caminho 2; (c) Caminho 3 (d).  
Diferenciação dos trechos de acordo com a centralidade.

A fig. 09 busca exemplificar de forma simplificada que sempre haverá um (ou mais) caminho mínimo entre dois espaços do sistema, onde o comprimento de um percurso é o número de arestas que ele contém e um caminho geodésico é qualquer caminho mais curto entre dois pontos (FREEMAN, 1991 pág. 142).

A sobreposição dos diferentes caminhos mínimos resulta em trechos mais utilizados que outros, ou seja, mais centrais, pois fazem parte de diversos caminhos mínimos. Os pontos que participam mais intensamente das rotas de ligação entre os espaços possuem maior centralidade, considerando-se a diversidade possível de caminhos (KRAFTA, 1996). O somatório de todas as interações possíveis do sistema resulta na definição de graus de centralidade, onde cada trecho terá um valor de centralidade relacionado à maneira como se conecta com o sistema como um todo.

#### ***Centralidade Freeman-Krafta***

A medida de Centralidade Espacial desenvolvido por Krafta (1994) partiu da adaptação de estudos realizados por Freeman (1977 e 1979) relacionados à comunicação e à sociologia e utilizou como elementos básicos as formas construídas e os espaços públicos abertos. O conceito baseia-se na conexão de uma edificação até todas as outras do sistema através de espaços públicos ou ainda pode ser definida como “uma propriedade dos espaços

públicos que consiste na capacidade de fazer parte dos menores caminhos entre todos os pares de forma construída em um sistema urbano” (KRAFTA, 1994, p. 70).

As formas construídas podem ser residências unifamiliares, plurifamiliares ou mesmo prédios comerciais de grande porte, enquanto os espaços públicos são espaços que permitem os fluxos entre as edificações, como as ruas e parques. As interações possíveis entre as edificações podem gerar tensões variadas de acordo com as características dos elementos, como o tipo de atividade e a escala, indicadas através de pesos definidos para cada elemento. Esses diversos atributos relacionados às edificações e à sua distribuição espacial atribuem aos espaços públicos diferentes papéis dentro do sistema, indicando que alguns espaços possuem maior centralidade que outros (SABOYA, 2001).

No caso da centralidade Freeman-Krafta o valor depende do número de tensões que atuam sobre o vértice, o número de caminhos mínimos que conectam os pontos e a distância entre os vértices que produzem as tensões.

$$It_{jk} = \frac{T_{jk}}{d_{jk}+1}, \quad (03)$$

onde  $T_{jk}$  é a tensão entre o par de vértices  $j$  e  $k$ , sendo  $j \neq k$  e  $d_{jk}$  é a distância geodésica entre  $j$  e  $k$ .

O cálculo da participação do vértice nos caminhos mínimos entre o par de vértices é descrita abaixo:

$$pc_{jk} = \frac{1}{n_c} * (It_{jk} * n_c(i)), \quad (04)$$

onde  $It_{jk}$  é a intensidade entre  $j$  e  $k$ ,  $n_c$  é o número de caminhos mínimos possíveis entre  $j$  e  $k$ ,  $n_c(i)$  é o número de caminhos mínimos entre  $j$  e  $k$  que compreende o vértice  $i$ , sendo  $j \neq k \neq i$ .

Assim, a definição da Centralidade Freeman-Krafta do vértice  $i$  é o somatório de todas as participações nos caminhos mínimos que passam pelo vértice  $i$ .

$$C_{FK_i} = \sum_{\substack{j,k \in G \\ j \neq k \neq i}} pc_{jk}(i) \quad (05)$$

onde  $pc_{jk}(i)$  é a participação de  $i$  nos caminhos mínimos entre  $j$  e  $k$ , sendo  $j \neq k \neq i$ .

A versão normalizada da  $C_{FK_i}$  é representada pela razão entre o valor do vértice e o valor máximo para um vértice em um grafo de mesma ordem, conforme equação a seguir.

$$C_{FK}^n = \sum_{\substack{j,i \in G \\ j \neq i}} \frac{P_i * P_j}{2} + \sum_{\substack{h,k \in G \\ h \neq k \neq i}} \frac{P_h * P_k}{3} \quad (06)$$

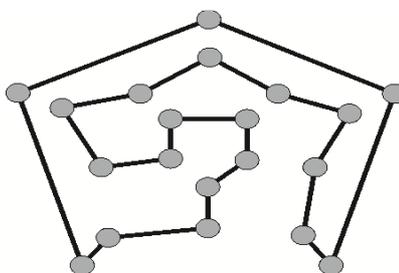
## 4.5. Descrição da estrutura espacial da rede ecológica

A rede ecológica será descrita através de sua configuração espacial a fim de identificar padrões e alterações em sua conectividade. Para tanto foram adotadas duas medidas de diferenciação espacial: o número de ciclos da rede e a acessibilidade da mancha.

### 4.5.1. Número de ciclos

Entre as diversas medidas propostas por pesquisadores da área da ecologia da paisagem, Cook (2002) indica o número de ciclos como parâmetro utilizado para medir a articulação entre os elementos da rede. Essa abordagem espacial do ambiente natural se adapta aos objetivos do presente objeto de estudo, uma vez que permite avaliar se as alterações do ambiente natural estão contribuindo positivamente para a conectividade da rede ecológica e auxiliando nas rotas de migração dos organismos do sistema ecológico (COOK, 2002). Além disso, através da análise do número de ciclos com comprimentos diferentes é possível identificar prováveis estrangulamentos na rede, o que pode resultar em redução da conectividade da rede global (FARIA, 2010, p. 116).

O ciclo ou caminho Hamiltoniano é o caminho em um grafo não-direcionado onde cada vértice participa uma única vez do percurso, o qual termina no mesmo vértice de partida.



**Figura 10** – Ciclo Hamiltoniano

O número de ciclos da rede é calculado através de um algoritmo de busca em profundidade, identificando e medindo as distâncias topológicas percorridas para cada vértice do sistema. Essa medida tem grande relevância, pois indica rotas alternativas para a migração dos organismos ou para refúgio de alguma espécie ameaçada por predadores ou outra perturbação.

#### **4.5.2. Acessibilidade da mancha**

No livro *Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions*, Forman sugere a medida *Acessibilidade da Mancha* como um indicador espacial que avalia a relação de uma determinada mancha a todas as demais manchas selecionadas no contexto indicado (LOWE e MORYADAS, 1975; FORMAN e GORDON, 1986 *apud*. FORMAN, 1995, p. 320). Neste estudo utilizaremos a mesma fórmula da acessibilidade espacial apresentada anteriormente no item 4.1.1. (Acessibilidade).

Através dessa medida podemos avaliar as conexões entre os elementos da rede ecológica, indicando se uma rede possui maior ou menor acessibilidade através dos dados da média e desvio padrão, por exemplo. Além disso, é possível perceber se existe ganho em acessibilidade espacial e qual o seu percentual quando simulados cenários voltados à renaturalização.

## 5. ESTUDO DE CASO

A fim de entender o impacto ocasionado por projetos de intervenção urbana voltados para a renaturalização sob o ponto de vista da estrutura configuracional propomos a utilização da modelagem para simular diferentes cenários e avaliar as relações entre as mudanças nas características de segregação espacial do sistema urbano e conectividade do ambiente natural resultantes da utilização de determinados critérios de intervenção empregados na renaturalização.

O estudo busca a compreensão das relações e influências de intervenções urbanas em busca da qualidade ambiental sobre a configuração espacial urbana e suas consequências sobre a sociedade, no que se refere às características de segregação espacial. A pesquisa delimita como foco principal a estrutura configuracional urbana e avalia a rede ecológica sob o ponto de vista de sua qualidade em termos de conectividade, não sendo tratadas questões referentes à qualidade ecológica do projeto, no que se refere especialmente à diversidade dos ecossistemas envolvidos. Este aspecto poderia ser desenvolvido em paralelo através de projetos específicos envolvendo biólogos, ecólogos, agrônomos, entre outros profissionais com elevada capacidade em avaliar e projetar espaços adequados a condições e especificidades locais do ponto de vista ambiental.

Para identificar as alterações do sistema e compreender alterações internas da rede, fazemos uso de medidas de diferenciação espacial, as quais descrevem as características configuracionais do sistema urbano. A partir destas é possível comparar o comportamento observado quando utilizados determinados critérios de renaturalização, o que permite a avaliação do impacto de diferentes projetos de intervenção urbana sobre a segregação e integração espacial nas cidades. Ao mesmo tempo, através das medidas de diferenciação espacial realizamos a análise dos sistemas ambientais a partir da concepção de rede ecológica, a fim de avaliar os ganhos de conectividade e integração dos sistemas ambientais, características que são consideradas fundamentais para o desempenho dos sistemas ambientais.

Dessa forma propomos que as intervenções sejam avaliadas concomitantemente pelos dois aspectos, ambiental e social, de modo que possamos avaliar as relações entre estes aspectos do ponto de vista da integração urbana e da preservação ambiental.

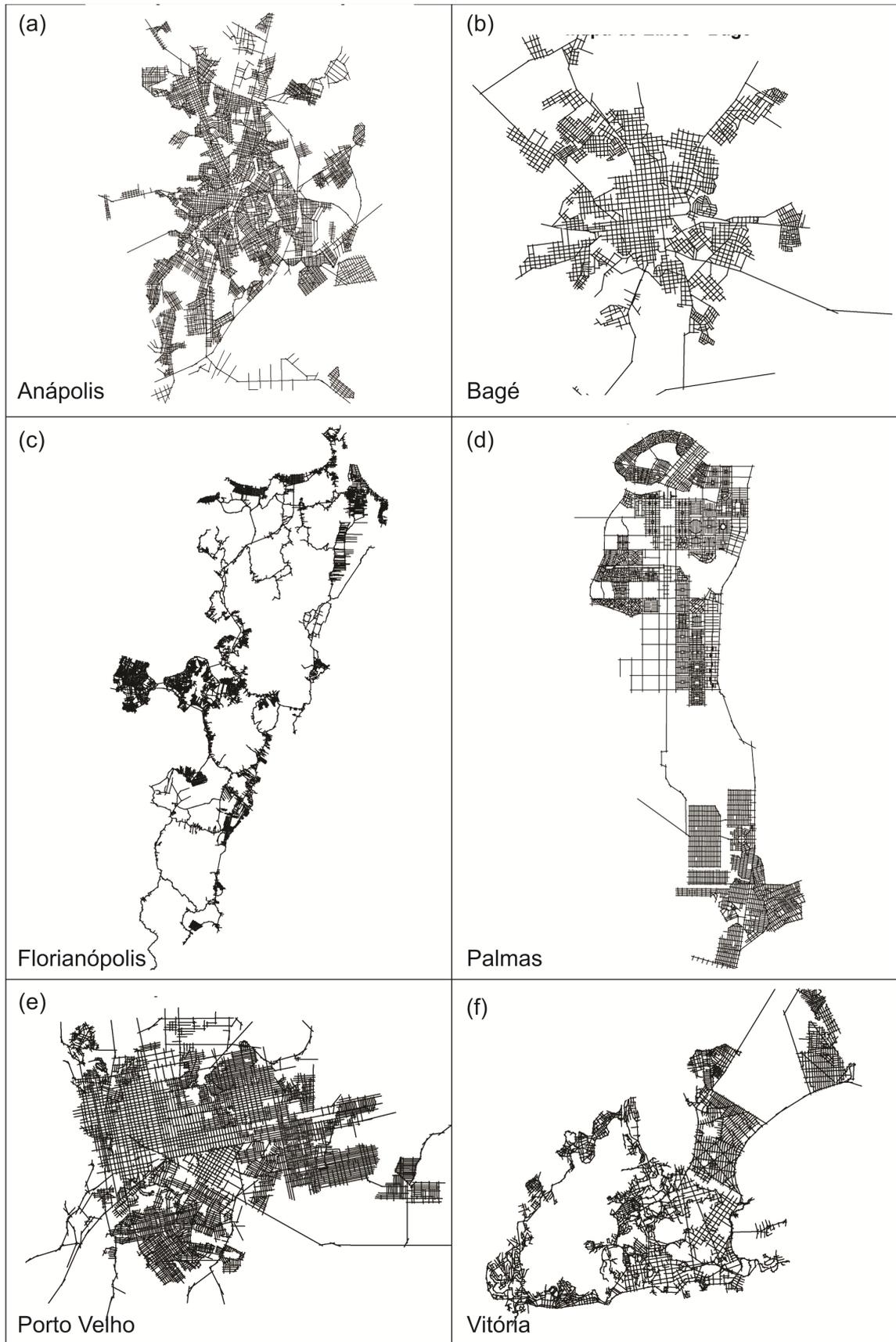
## **5.1. A amostra**

### **5.1.1. Caracterização da amostra**

Com o objetivo de compreender e avaliar o impacto resultante de projetos de renaturalização sobre a configuração espacial urbana utilizamos um conjunto de 07 cidades: Anápolis-GO, Bagé-RS, Florianópolis-SC, Palmas-TO, Pelotas-RS, Porto Velho-RO e Vitória-ES. As cidades foram definidas em função do tamanho de sua população, sua morfologia e da identificação de recursos naturais no contexto urbano através de imagens de satélite. As características da forma urbana, como a compactidade e o traçado foram determinadas a fim de construir um panorama onde sejam relacionados os impactos das intervenções voltadas à renaturalização e a forma de distribuição espacial da malha urbana.

Optamos por selecionar cidades com número de habitantes entre 100 mil e 300 mil, em função da possibilidade de avaliar o impacto em cidades de médio porte onde a urbanização provavelmente já gerou impacto significativo sobre o ambiente natural, uma vez que cidades de pequeno porte tendem a apresentar uma relação menos conflitante com o ambiente natural.

Com relação à forma urbana, optamos por cidades com distintas configurações espaciais, a fim de identificar semelhanças e diferenças de comportamento configuracional geradas por renaturalizações em cidades com morfologia diferenciadas. Esta escolha se justifica a fim de avaliar se os impactos das intervenções geradas independem da configuração espacial original da cidade.



**Figura 11** Mapa das cidades de (a) Anápolis, (b) Bagé, (c) Florianópolis, (d) Palmas, (e) Porto Velho e (f) Vitória representadas por linhas axiais. Fontes indicadas no Anexo.

Caracterizamos a forma urbana através do índice de compacidade da matriz urbana e do nível de irregularidade do traçado da rede de espaços urbanos.

Definimos o índice de compacidade da matriz urbana pela divisão entre o comprimento do perímetro e a área da matriz urbana. A área da matriz urbana foi calculada a partir da área efetivamente urbanizada, da qual foram subtraídas as áreas verdes internas de grandes dimensões capazes de desestruturar a rede urbana. Ou seja, foram retirados da área da matriz urbana aqueles vazios internos que são tangentes a vias que conectam pontos fragmentados do sistema. O perímetro destes vazios internos foi somado ao perímetro da mancha urbana, de forma que a presença de um grande número de vazios resulta em reduzir o índice de dispersão urbana. Assim, quanto menor o valor encontrado mais compacta será a forma urbana.

Para o traçado da rede de espaços urbanos, propomos a determinação do nível de irregularidade a fim de avaliar o tipo de traçado urbano. Grafos altamente irregulares têm no máximo  $n(n+2)/8$  ligações, onde  $n$  é o número de pontos. Com base neste valor máximo de conexões para grafos altamente irregulares, calculamos a subtração entre o máximo de ligações possível e o número de ligações existente no sistema. Após foi calculado o percentual desta razão em função do número máximo de ligações em um grafo altamente irregular para um grafo com o mesmo número de componentes a fim de relativizar o valor em função do tamanho da rede. Dessa forma, quanto maior o percentual encontrado mais irregular será o sistema.

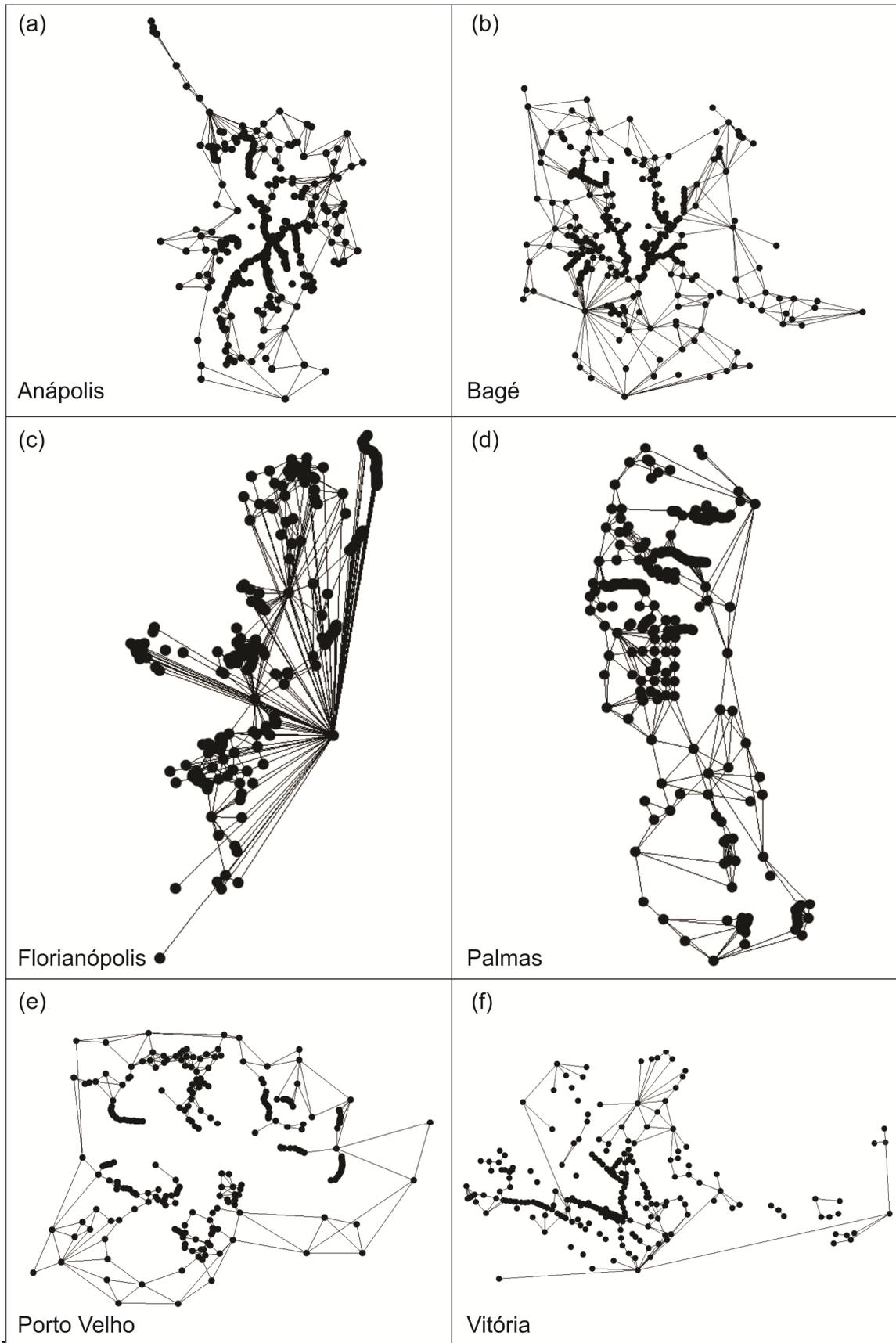
Cidades	Caracterização da forma urbana			
	Área(ha)	Borda (m)	Índice de Compacidade	Nível de Irregularidade
Bagé	7.337,19	134.631,29	18,3492	96,33%
Porto Velho	18.371,99	262.640,00	14,2957	98,16%
Anápolis	16.446,44	211.031,83	12,8315	98,54%
Palmas	15.976,64	202.656,00	12,6845	98,81%
Vitória	5.825,87	101.128,00	17,3585	99,02%
Pelotas	18.371,99	262.640,00	14,2957	99,27%
Florianópolis	34.528,09	807.765,64	23,3944	99,65%

**Tabela 01** Caracterização da forma urbana.

A partir do critério de compacidade urbana elaboramos um gradiente onde Porto Velho (valor de compacidade = 12,30m/ha) apresentou maior compacidade e Florianópolis (valor de compacidade = 23,39m/ha) a cidade com maior dispersão urbana. Para a avaliação

do traçado da rede Bagé (índice = 96,33%) foi a cidade com traçado mais regular, apresentando predominância do traçado reticulado e poucos casos de alteração do tipo de traçado, o que vem ao encontro dos dados obtidos através do percentual de diferença entre o máximo de conexões existente na rede e o máximo possível para um sistema com o mesmo número de componentes. Já Florianópolis (índice = 99,65%) foi a cidade com traçado mais irregular, onde foram encontrados diversos tipos de traçado em sua malha urbana.

No que se refere à identificação dos elementos naturais no ambiente urbano, as cidades da amostra apresentam características distintas quanto a conectividade. Algumas cidades apresentam áreas com maior conectividade da rede ecológica nas áreas internas do espaço urbano, como Florianópolis e Vitória. Cabe destacar que Florianópolis trata-se de um caso peculiar dentre as cidades estudadas, pois esta é uma ilha e tem o mar como maior conector com os elementos ambientais intraurbanos. Já outras como Bagé e Porto Velho apresentam maior conectividade com as áreas verdes externas à malha urbana.



**Figura 12** Mapa da rede ecológica das cidades de (a) Anápolis, (b) Bagé, (c) Florianópolis, (d) Palmas, (e) Porto Velho e (f) Pelotas representadas por pont

### 5.1.2. Considerações sobre a influência das características morfológicas no comportamento da rede urbana

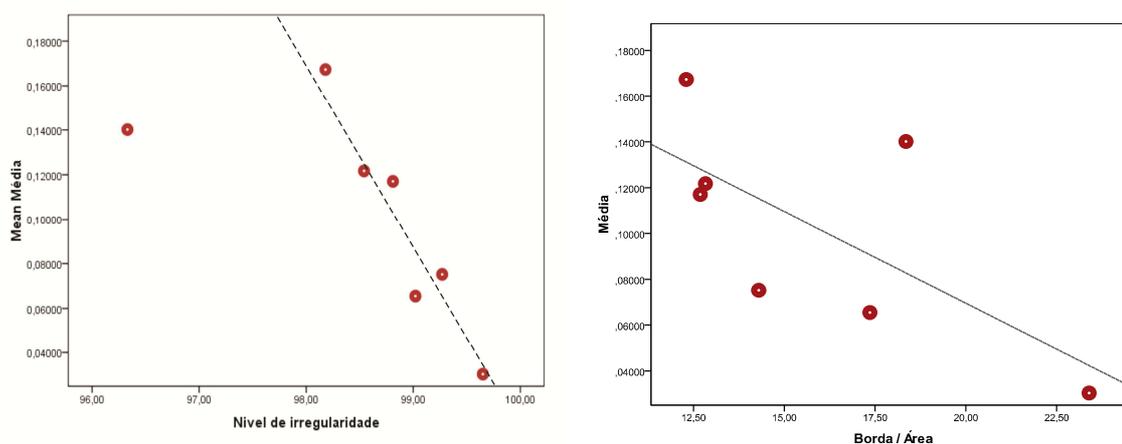
A fim de avaliar as relações entre a forma urbana e as consequências para o comportamento da rede mediante as intervenções voltadas à renaturalização urbana, foi elaborada uma tabela onde são indicadas as variáveis analisadas quanto à caracterização da forma urbana e os dados relacionados à medida de acessibilidade urbana para cidades representadas espacialmente por linhas axiais. Para caracterizar a forma das cidades as mesmas foram descritas de acordo com sua (a) divisão entre borda e área urbana e (b) a irregularidade do traçado. Para descrever a medida de acessibilidade normalizada foram selecionadas a (a) média, (b) o desvio padrão, os valores (c) máximo e (d) mínimo.

Cidades	Caracterização da forma urbana		Comportamento da rede urbana para acessibilidade			
	Índice de compacidade	Nível de Irregularidade	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
Florianópolis	23,3944	99,65	0,0304	0,0094	0,0548	0,0080
Pelotas	14,2957	99,27	0,0752	0,0189	0,1386	0,0234
Vitória	17,3585	99,02	0,0655	0,0199	0,1312	0,0290
Palmas	12,6845	98,81	0,1171	0,0256	0,2305	0,0600
Anápolis	12,8315	98,54	0,1217	0,0252	0,2098	0,0571
Porto Velho	12,3007	98,18	0,1673	0,0426	0,2991	0,0541
Bagé	18,3492	96,33	0,1402	0,0293	0,2437	0,0765

**Tabela 02** – Caracterização da forma urbana e o comportamento da acessibilidade espacial da rede urbana para as cidades da amostra.

A partir destes dados foi efetuada a comparação entre as características que descrevem a forma urbana e as medidas de acessibilidade através do coeficiente de correlação Spearman.

A análise entre o nível de irregularidade do traçado e média de acessibilidade resultou em uma correlação de - 0,927 ao nível de significância  $p < 0,01$ , estes dados indicam uma correlação alta entre as características do traçado urbano e a média de acessibilidade observada na rede. Dessa forma, entende-se que quanto mais próximo do traçado irregular menor a tendência de valores maiores de acessibilidade média da rede urbana, conforme é possível observar na fig. 13 (a). A cidade de Bagé constitui uma exceção ao padrão observado.



**Figura 13** (a) Relação entre a média de acessibilidade da rede urbana e as características de irregularidade do traçado urbano; (b) relação entre média da acessibilidade da rede urbana e a o índice de compacidade da matriz urbana.

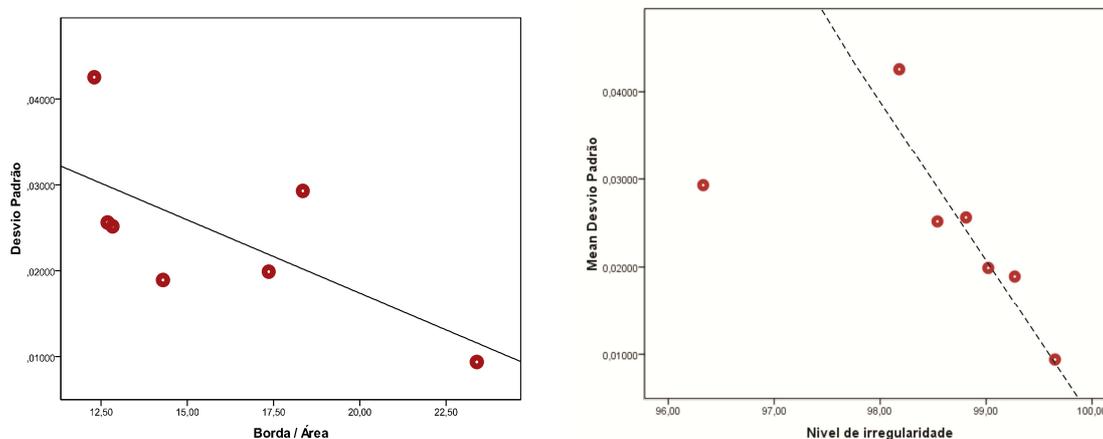
Também foi analisada a relação entre o índice de compacidade da matriz urbana e a média da acessibilidade da rede, conforme a fig. 13 (b). Contudo os testes resultaram em valores os quais não atingiram os quesitos de significância estatística para validar a correlação. Isto pode ser relacionado com o número reduzido da amostra, ou seja, um número maior de cidades poderia validar a correlação.

Além das relações entre a forma urbana e a média de acessibilidade, foram relacionadas as características da forma urbana com os valores do desvio padrão da acessibilidade a fim de identificar correlações entre os padrões de distribuição da acessibilidade na rede e a morfologia das cidades. De posse dos dados de acessibilidade é possível perceber se as características da forma urbana selecionadas no estudo interferem no grau de equidade interna da rede, ou seja, se a regularidade do traçado ou o grau de compacidade podem exercer influência sobre a distribuição dos valores de acessibilidade dentro da malha urbana, resultando distribuições mais ou menos desiguais.

Para a relação entre desvio padrão e compacidade o teste de correlação não apresentou resultados que atendam aos quesitos de significância estatística, contudo os dados sugerem certa tendência de que quanto mais dispersa a cidade menor o desvio padrão observado, ou seja, maiores as diferenças internas de distribuição de acessibilidade e, portanto, menor a equidade espacial.

A análise da correlação entre desvio padrão e o nível de irregularidade do tecido urbano também não apresentou resultados que atendam aos quesitos de significância estatística, contudo os dados sugerem que quanto mais irregular o traçado urbano, menor o

desvio padrão, conforme é possível observar na fig. 14 (b). Ou seja, cidades com traçado mais irregular tendem a apresentar menos desigualdade espacial no que se refere à acessibilidade.



**Figura 14** (a) Relação entre o desvio padrão de acessibilidade da rede urbana e o índice de compacidade da matriz urbana; (b) relação entre o desvio padrão de acessibilidade e o nível de irregularidade do traçado urbano.

A partir desta análise das relações entre a forma urbana e o comportamento da rede urbana é possível observar que, dentre as características estudadas, o traçado urbano é a característica morfológica que exerce maior influência sobre a distribuição de acessibilidade ainda que o índice de compacidade também interfira nos valores de acessibilidade. Dessa forma, entende-se que a conformação do espaço urbano, definida pelas características morfológicas da rede, interfere no comportamento da rede, em especial no que se refere à medida de acessibilidade. Estas observações vão ao encontro das indicações dos Estudos de Medeiros (2006), confirmando que cidades com traçado mais regular e com maior compacidade tendem a apresentar maior integração dentro da rede urbana. Da mesma forma, validam a definição da amostra do presente estudo, uma vez que a mesma engloba cidades com características morfológicas distintas, ainda que com população semelhante.

### **5.1.3. Considerações sobre a influência das características morfológicas urbanas no comportamento da rede ecológica**

Ao mesmo tempo em que propomos avaliar o espaço urbano a partir dos impactos negativos de intervenções voltadas a renaturalização se faz necessária a identificação das consequências positivas sobre a rede ecológica. Para tanto, inicialmente analisamos a acessibilidade geral do ambiente natural, a partir dos valores da (a) média, (b) o desvio padrão, os valores (c) máximos e (d) mínimos de cada cidade da amostra a partir de seu

cenário atual. Estes dados de acessibilidade foram relacionados às características da forma espacial urbana a partir de sua (a) divisão entre borda e área urbana e (b) regularidade do traçado.

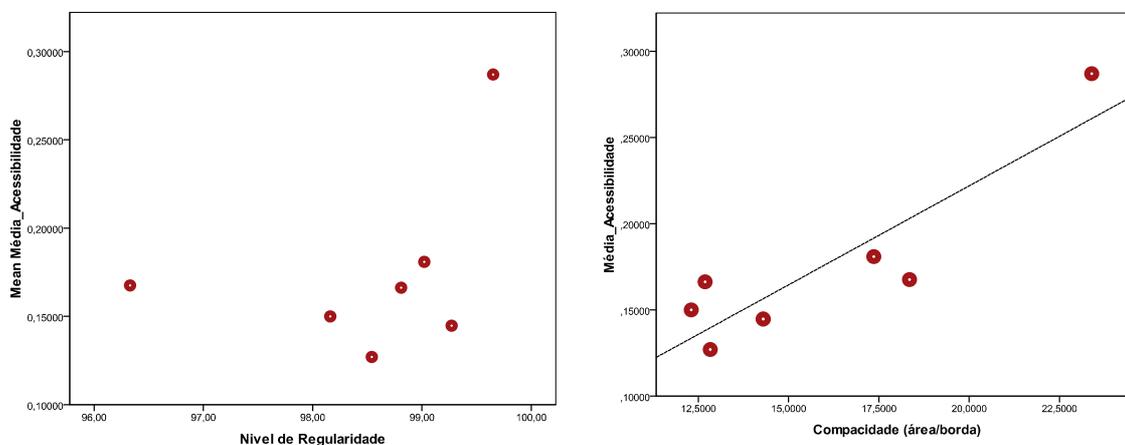
A partir dos dados dos cenários atuais da amostra foi efetuada a comparação entre as medidas que descrevem a forma urbana e as medidas de acessibilidade espacial da rede ecológica através do coeficiente de correlação Spearman.

Cidades	Caracterização da forma urbana		Comportamento da rede ecológica acessibilidade			
	Índice de Compacidade	Nível de Irregularidade	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
Florianópolis	23,3944	99,65	0,2869	0,07872	0,5966	0
Pelotas	14,2957	99,27	0,1447	0,05847	0,317	0
Vitória	17,3585	99,02	0,1809	0,04502	0,3277	0,0833
Palmas	12,6845	98,81	0,1663	0,03625	0,2428	0,0797
Anápolis	12,8315	98,54	0,1270	0,03338	0,2259	0
Porto Velho	12,3007	98,18	0,1676	0,02909	0,2861	0,1054
Bagé	18,3492	96,33	0,1270	0,0334	0,2260	0

**Tabela 03** – Caracterização da forma urbana e o comportamento da acessibilidade da rede ecológica para as cidades da amostra.

A análise entre o nível de irregularidade do traçado urbano e a média de acessibilidade resultou em valores a partir dos quais não é possível identificar correlação entre estas variáveis.

A análise da correlação entre o índice de compacidade, definido pela divisão da borda pela área da mancha urbana, e média de acessibilidade não atingiu resultados que atendam aos quesitos de significância estatística, contudo os dados indicam que quanto menos compacta a forma urbana maior a tendência de aumento da acessibilidade média da rede ecológica, conforme é possível observar na fig. 15 (b).



**Figura 15** (a) Relação entre a média de acessibilidade da rede urbana e o nível de irregularidade do traçado urbano; (b) relação entre média de acessibilidade da rede urbana e a o índice de compacidade da matriz urbana.

Isto vem ao encontro da idéia de que cidades mais dispersas tendem a se relacionar de forma menos conflitante com o ambiente natural. A existência de um número significativo de áreas verdes intraurbanas, áreas de grandes proporções ou de boa conectividade com as demais áreas ambientais possibilitam o aumento da acessibilidade da rede ecológica.

Não foi identificada correlação entre o número total de ciclos com comprimentos de 3 a 9 e as características da forma urbana indicadas no estudo, tanto para o nível de irregularidade do traçado quanto para o grau de dispersão da malha urbana. Com base nos dados obtidos não é possível indicar se cidades mais dispersas ou com traçado mais irregular tendem ou não a possuir um valor mais elevado do número de ciclos, o que se reflete em uma maior conectividade entre as partes da rede.

## 5.2. Caracterização do estado atual

### 5.2.1. Espaço urbano

Para comparar os diferentes cenários foi elaborado um panorama atual das cidades através de dados estatísticos calculados a partir dos valores de acessibilidade e centralidade, conforme indicado nas tab. 04 e tab. 05.

A medida de acessibilidade apresenta uma distribuição que se adapta a normal, o que permite uma análise através dos dados da média, desvio padrão, máximos e mínimos.

Cidades	Comportamento da rede para acessibilidade			
	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
Porto Velho	0,1673	0,0426	0,2991	0,0541
Bagé	0,1402	0,0293	0,2437	0,0765
Pelotas	0,0752	0,0189	0,1386	0,0234
Anápolis	0,1217	0,0252	0,2098	0,0571
Palmas	0,1171	0,0256	0,2305	0,0600
Florianópolis	0,0304	0,0094	0,0548	0,0080
Vitória	0,0655	0,0199	0,1312	0,0290

**Tabela 04** – Comportamento da acessibilidade da rede urbana para as cidades da amostra.

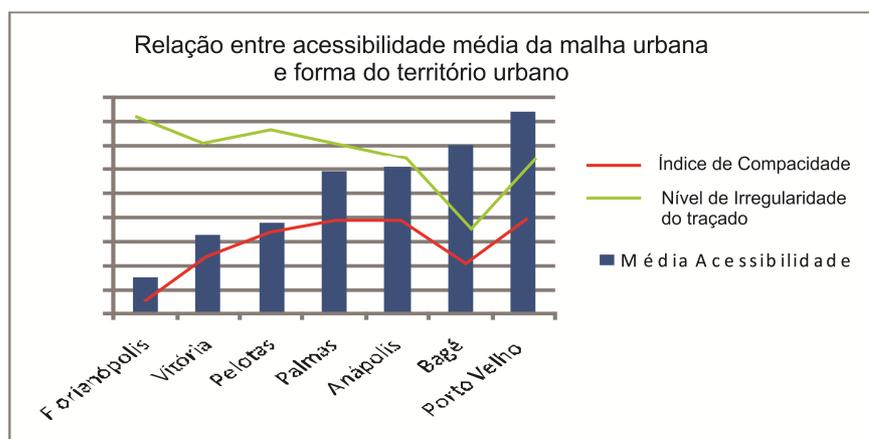
A análise estatística da medida de centralidade permite perceber que a distribuição das probabilidades de ocorrência dos valores de centralidade obedece à lei da potência. A

expressão que a curva de distribuição das probabilidades é descrita pela equação  $y = a(1+x)^b$ , onde os valores de  $a$  e  $b$  são constantes as quais são determinadas através das análises dos dados de centralidade e frequência. Estes valores,  $a$  e  $b$ , interferem na cauda de probabilidade dos valores de centralidade, a se reflete na forma de distribuição, mais ou menos desigual, da centralidade no espaço urbano. Dessa forma, os valores analisados serão, os mínimos, 1º quartil, mediana, 3º quartil, máximos e as constantes  $a$  e  $b$ .

Cidades	Comportamento da rede para centralidade						
	Mínimo	1 quartil	Mediana	3 quartil	Máximo	$a$	$b$
Porto Velho	8,1E-5	2,1E-5	2,1E-5	4,1E-4	6,1E-4	4,1E-4	-943,639
Bagé	4,1E-04	6,8E-04	9,7E-04	2,1E-4	7,1E-4	0,3766	-196,37
Pelotas	6,7E-06	2,5E-05	4,4E-05	1,1E-4	2,1E-4	0,1771	-609,46
Anápolis	1,2E-04	2,1E-04	2,9E-04	6,1E-4	1,1E-4	0,1677	-355,0
Palmas	1,0E-06	1,7E-04	5,8E-04	2,1E-4	3,1E-4	532,0	-0,80177
Florianópolis	1,4E-04	3,8E-04	4,7E-04	8,1E-4	9,1E-4	0,4383	-581,82
Vitória	5,7E-05	1,3E-04	2,1E-04	5,1E-4	4,1E-4	0,1715	-231,38

**Tabela 05** – Comportamento da centralidade da rede urbana para as cidades da amostra.

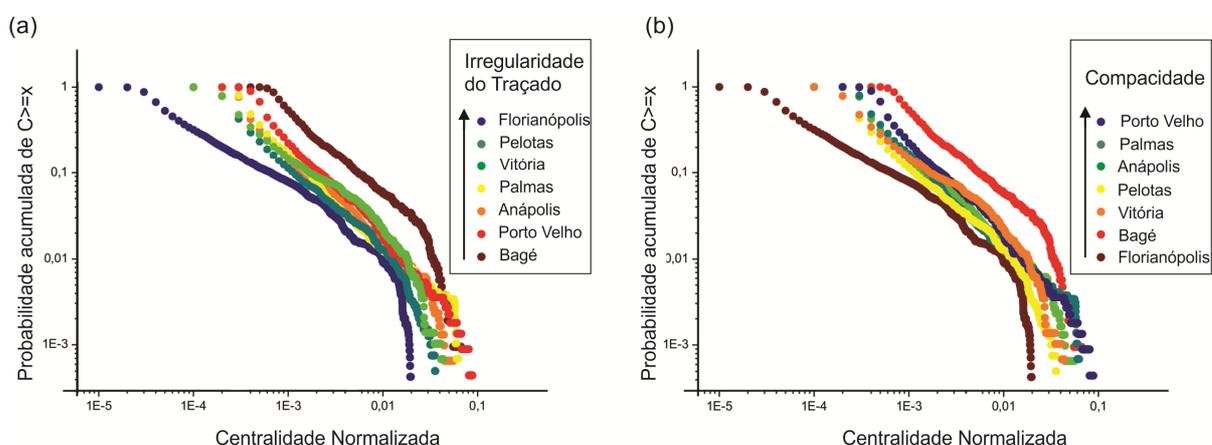
As cidades que apresentaram maior média para acessibilidade foram Porto Velho e Bagé, as quais apresentam o tipo de traçado mais regular e os maiores valores do índice de compacidade entre as cidades analisadas. Já as cidades que apresentaram menor média de acessibilidade foram Florianópolis, Vitória e Pelotas, as quais têm os tipos de traçado mais irregulares e com menor índice de compacidade.



**Figura 16** Gráfico de valores médios de acessibilidade, relacionados ao índice de compacidade e o nível de irregularidade do traçado para as cidades da amostra.

A fig. 16 ilustra graficamente a correlação de  $-0,927$  e  $p < 0,01$  entre a acessibilidade média e o nível de irregularidade do traçado urbano.

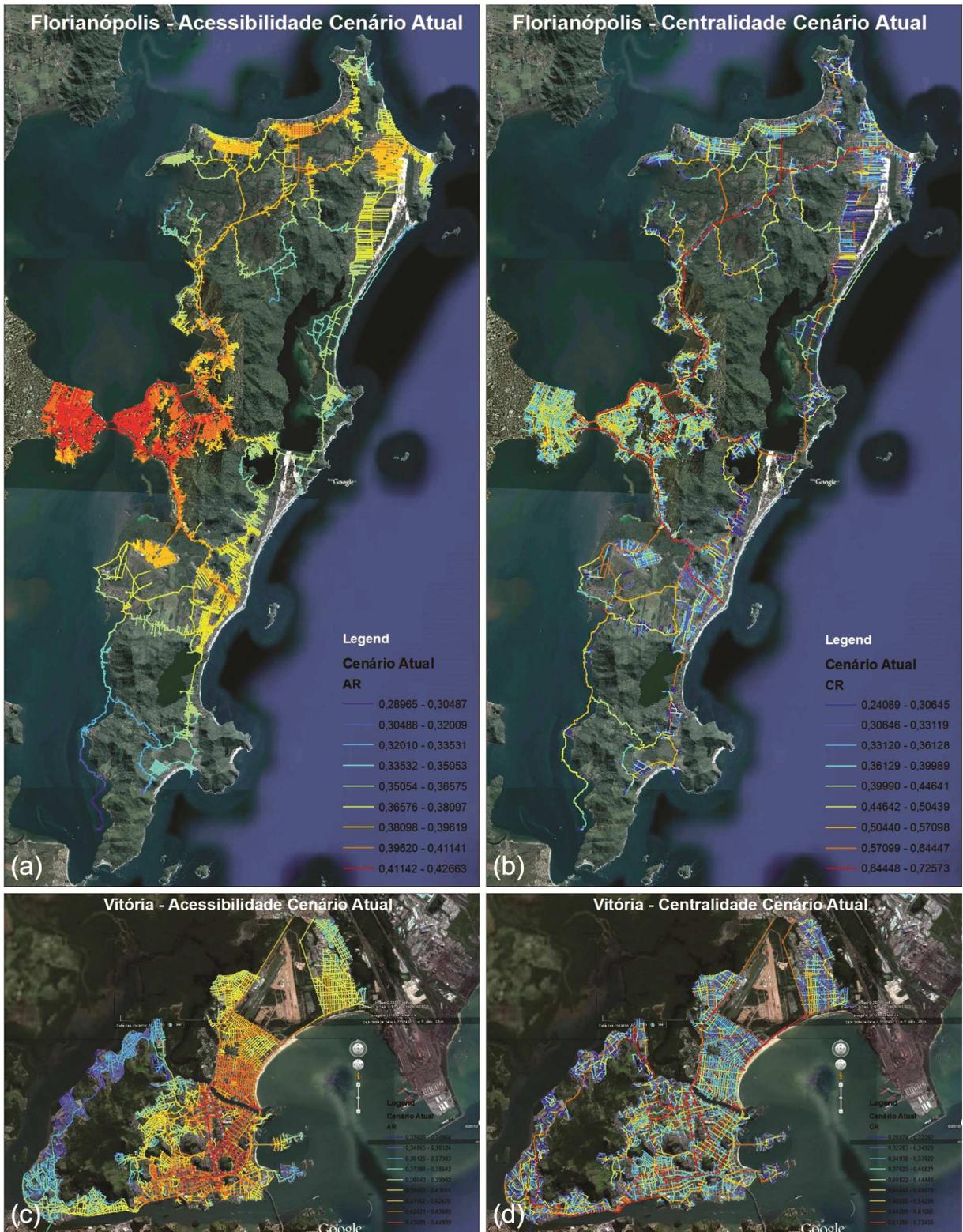
Com relação à centralidade espacial, a fig. 17 representa graficamente a probabilidade de frequência dos valores de centralidade para todas as cidades da amostra. A partir do ordenamento cromático relacionado ao nível de irregularidade do traçado, é possível perceber que quanto maior a irregularidade do traçado, maior a tendência a ter um sistema mais hierarquizado para a centralidade, como é o caso das cidades de Pelotas, Vitória e Palmas. Florianópolis apresenta um caso particular, onde a distribuição apresenta um caimento mais acentuado para os maiores valores de centralidade.



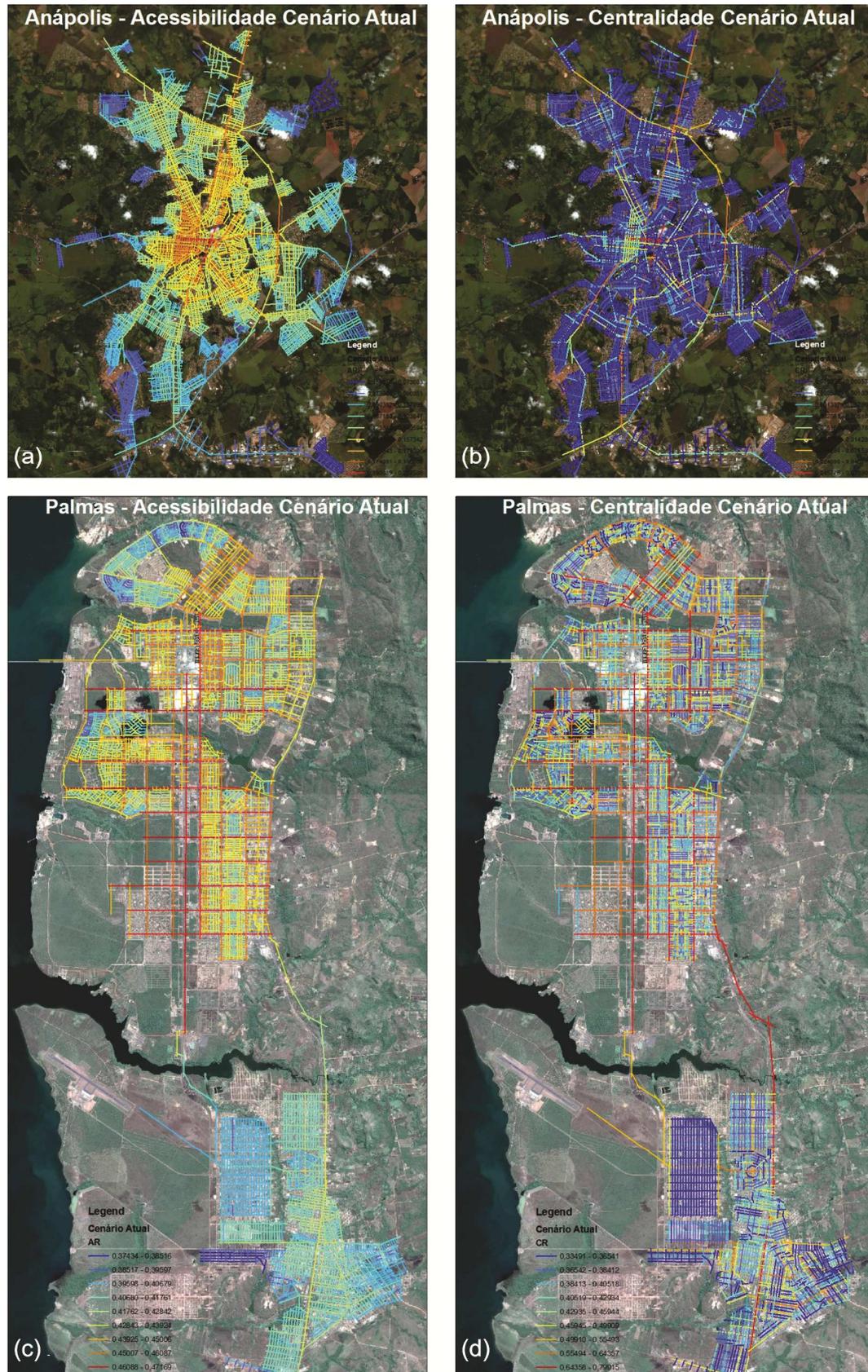
**Figura 17** Gráfico de probabilidade acumulada de  $C \geq x$  para as cidades da amostra relacionadas ao (a) nível de irregularidade do traçado e ao (b) nível de compacidade da área urbana.

Conforme comentado anteriormente, a dispersão/compactação da conformação territorial da mancha urbana aparentemente não tem relação com a hierarquização do sistema em termos de centralidade.

A distribuição espacial de acessibilidade e centralidade para o cenário atual das cidades de Florianópolis e Vitória está representada na fig. 18.

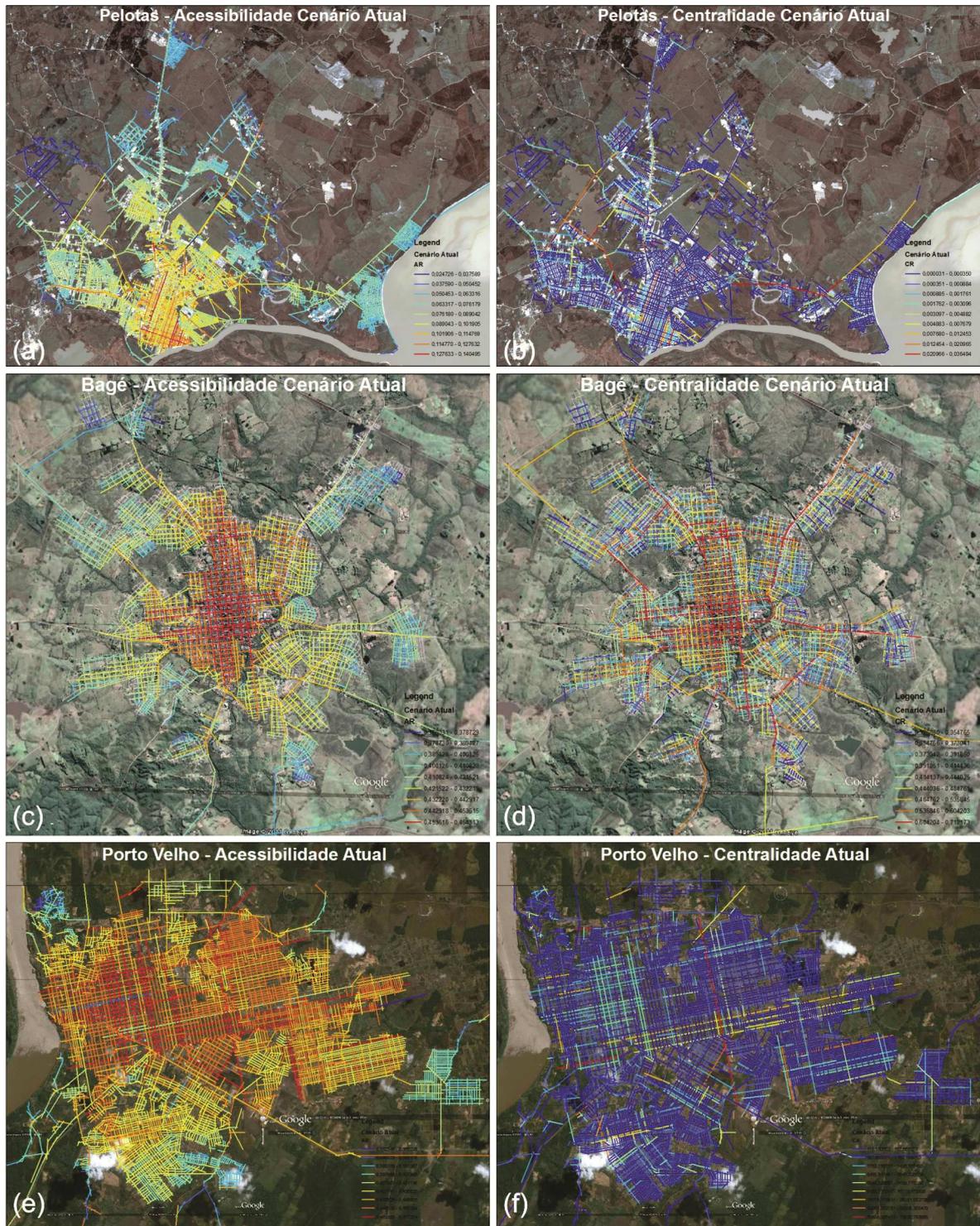


**Figura 18** Representação da distribuição espacial para Florianópolis (a) acessibilidade e (b) centralidade e Vitória (a) acessibilidade e (b) centralidade.



**Figura 19** Representação da distribuição espacial de acessibilidade e centralidade para (a/b) Anápolis e (c/d) Palmas, respectivamente.

A distribuição espacial de acessibilidade e centralidade para o cenário atual das cidades de Pelotas, Bagé e Porto Velho conforme fig. 20.



**Figura 20** Representação da distribuição espacial de acessibilidade e centralidade, respectivamente, para as cidades de (a/b) Pelotas, (b/c) Bagé e (d/e) Porto Velho.

Através das figuras da distribuição espacial de centralidade é possível perceber que cidades com traçado mais regular apresentam os valores mais altos de centralidade mais concentrados na malha urbana, enquanto cidades com traçado mais irregular e formas alongadas apresentam os valores mais elevados dispersos na rede, formando corredores lineares que atravessam o sistema.

Já a distribuição espacial da acessibilidade apresenta um núcleo de valores mais elevados próximo do centro geométrico das cidades, interferindo de forma menos visível o tipo de traçado e compactidade da malha urbana.

Portanto, é provável que a descontinuidade do traçado resultante de projetos de renaturalização urbana resulte em impacto mais significativo sobre a medida de centralidade do que sobre a medida de acessibilidade com relação a distribuição espacial.

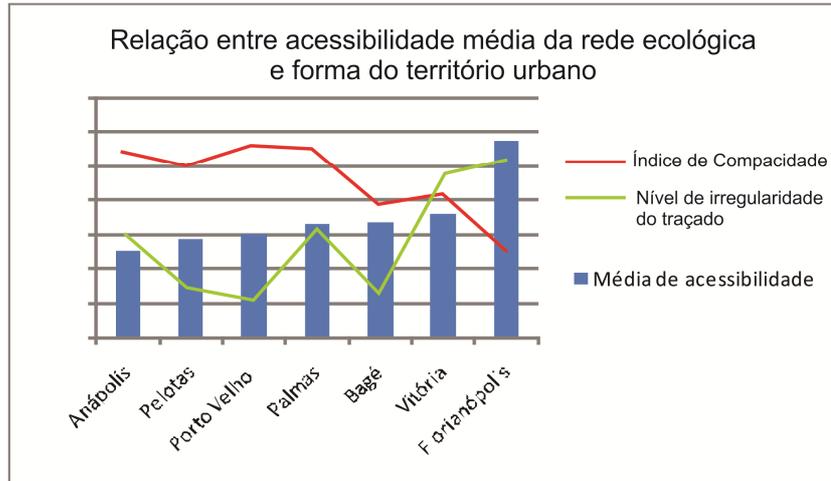
### 5.2.2. Ambiente natural

Da mesma forma que elaboramos o panorama do estado atual do espaço urbano das cidades da amostra, caracterizamos a acessibilidade da rede ecológica a fim de construir uma base que servirá de parâmetro para avaliação dos ganhos do ambiente natural, conforme demonstrado na tab. 06.

Cidades	Caracterização da forma urbana		Comportamento da rede ecológica para acessibilidade			
	Borda/área	Nível de Irregularidade	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
Florianópolis	23,3944	99,65	0,2869	0,07872	0,5966	0,0000
Pelotas	14,2957	99,27	0,1447	0,05847	0,3170	0,0000
Vitória	17,3585	99,02	0,1809	0,04502	0,3277	0,0833
Palmas	12,6845	98,81	0,1663	0,03625	0,2428	0,0797
Anápolis	12,8315	98,54	0,1270	0,03338	0,2259	0,0000
Porto Velho	12,3007	98,18	0,1500	0,05164	0,3218	0,0526
Bagé	18,3492	96,33	0,1676	0,02909	0,2861	0,1054

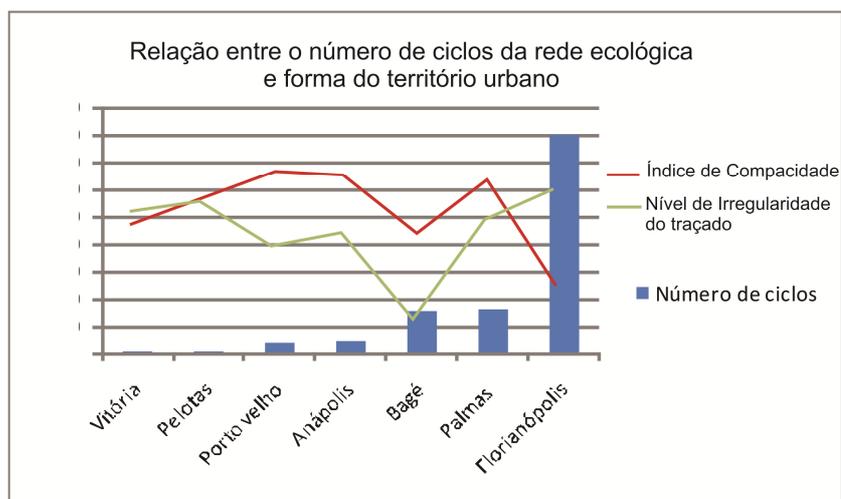
**Tabela 06** – Caracterização da forma urbana e o comportamento da acessibilidade da rede ecológica para as cidades da amostra.

As cidades que apresentaram maior média para acessibilidade para a rede ecológica foram Florianópolis e Vitória, as quais apresentam os maiores valores de dispersão do território e o tipo de traçado mais irregular entre as cidades analisadas.



**Figura 21** Gráfico de valores médios de acessibilidade da rede ecológica, relacionados ao índice de compacidade e o nível de regularidade do traçado para as cidades da amostra.

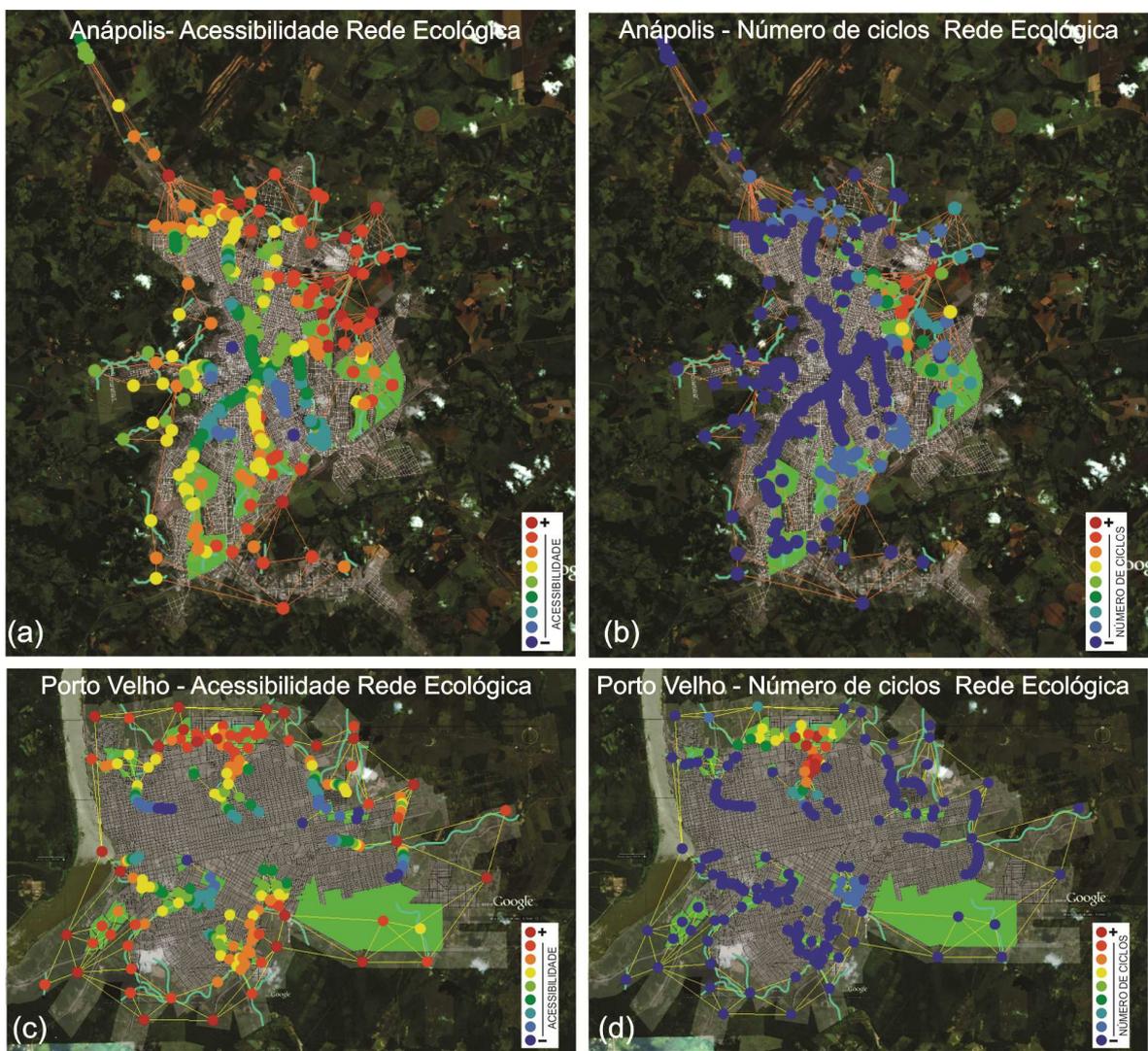
A fig. 21 permite observar que as cidades com maior acessibilidade média da rede ecológica, Florianópolis e Vitória tendem a apresentar maior grau de dispersão do território, enquanto Anápolis apresenta o menor valor de acessibilidade média da rede ecológica e um dos menores valores de dispersão do território. Contudo, conforme comentado anteriormente não foi comprovada a correlação em função dos resultados não atingirem os quesitos de significância estatística o que pode estar relacionado ao tamanho reduzido da amostra. O grau de irregularidade do traçado não apresenta relação com os valores de acessibilidade média da rede ecológica, conforme comentado anteriormente.



**Figura 22** Gráfico do número total de ciclos com comprimento de 3 a 9 da rede ecológica, relacionados ao índice de compacidade do território e o nível de irregularidade do traçado para as cidades da amostra.

Através da fig. 22 é possível observar Florianópolis apresenta um elevado valor para o número de ciclos e os valores mais elevados de irregularidade do traçado e menor valor para o índice de compacidade. Contudo, esta relação não se confirma para as demais cidades, como Bagé e Palmas, que estão entre as cidades com valor mais elevado para o número de ciclos, mas variam entre as cidades com menor irregularidade do traçado e umas das com maior índice de compacidade do território, respectivamente.

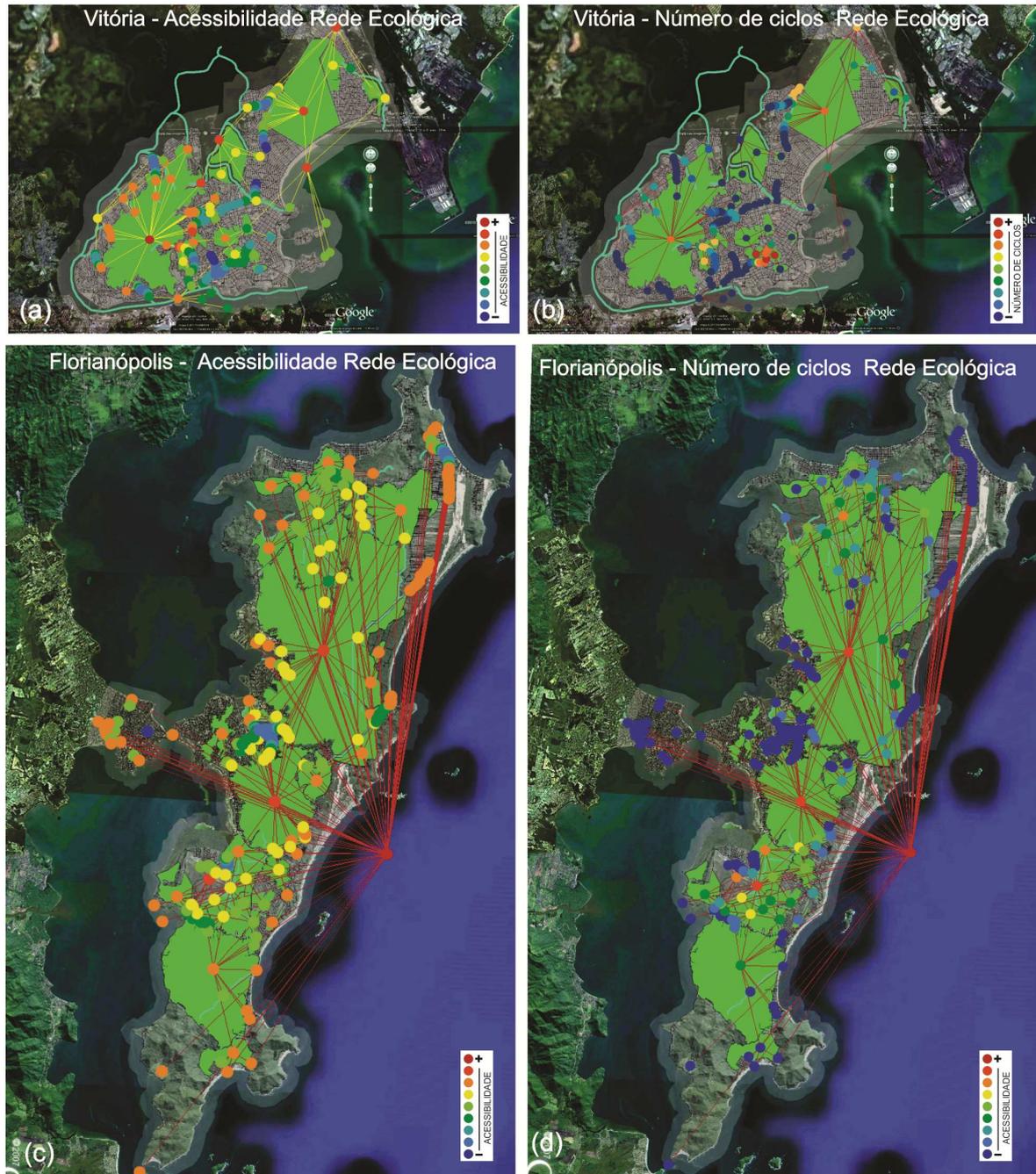
A distribuição espacial de acessibilidade e número total de ciclos com comprimento de 3 a 9 para o cenário atual das cidades de (a) Anápolis e (b) Porto Velho está representada na fig. 23.



**Figura 23** Representação da distribuição espacial de acessibilidade e número total de ciclos com comprimento de 3 a 9 da rede ecológica para as cidades de (a/b) Anápolis e (c/d) Porto Velho.

A distribuição espacial de acessibilidade e número de total de ciclos para o cenário atual das cidades de (a) Vitória e (b) Florianópolis está representada na fig. 24.

A partir da distribuição espacial da acessibilidade da rede ecológica é possível perceber que cidades mais compactas, como Anápolis e Porto Velho, apresentam os valores mais elevados de acessibilidade nas bordas, o que pode ser relacionado às conexões com as áreas naturais circundantes ao traçado urbano. Já cidades mais dispersas, como Vitória e Florianópolis, apresentam alguns núcleos internos com maior acessibilidade média da rede ecológica, indicando a presença de áreas verdes dentro da malha urbana.



**Figura 24** Representação da distribuição espacial de acessibilidade e número total de ciclos com comprimento de 3 a 9 da rede ecológica para as cidades de (a/b) Vitória e (c/d) Florianópolis.

Com relação à distribuição espacial do número total de ciclos com comprimento de 3 a 9, cidades mais compactas apresentam os núcleos de valores mais elevados próximos das bordas, enquanto em cidades mais dispersas os pontos de maior valor para o número de ciclos encontram-se localizados dispersos no interior da rede urbana.

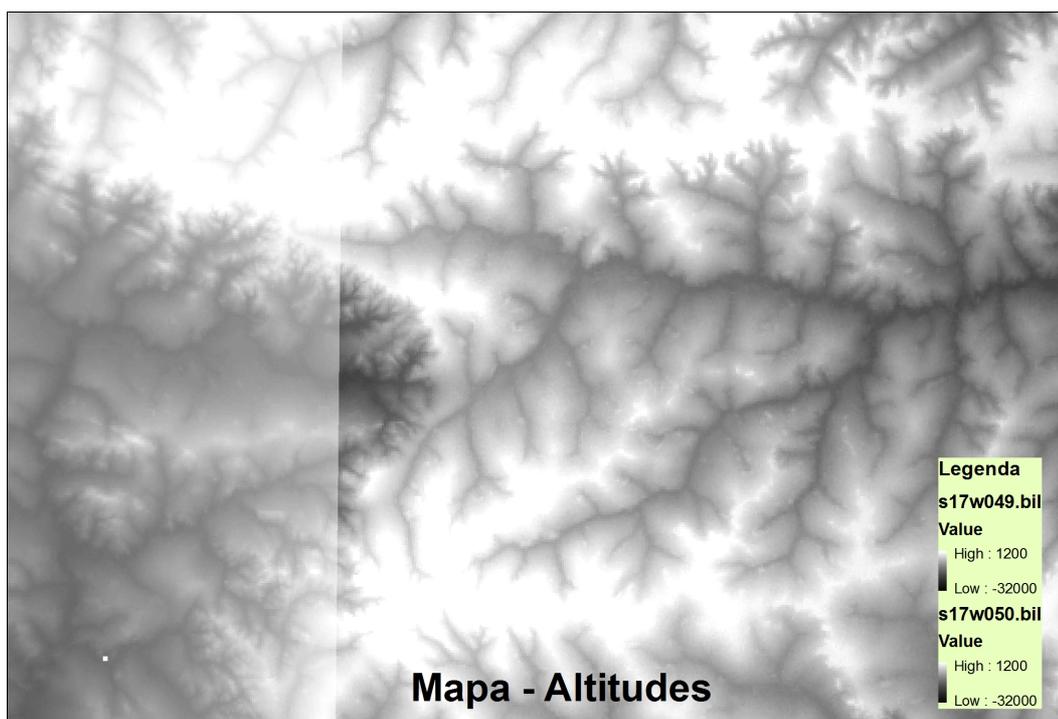
## 6. SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE FUTURO

### 6.1. Critérios de renaturalização

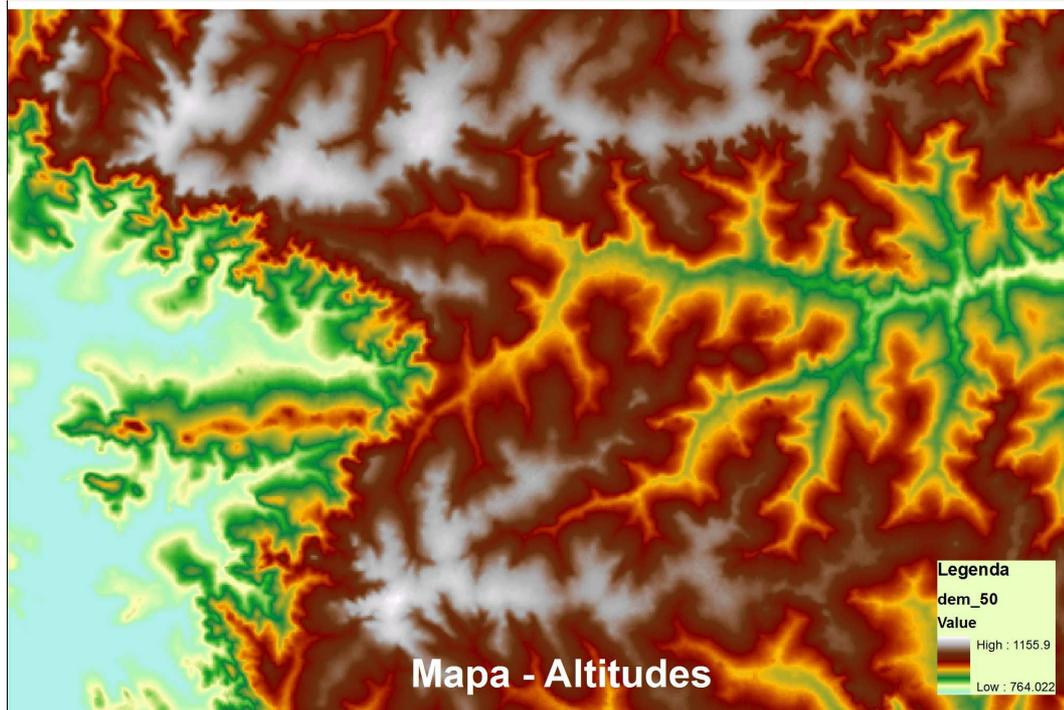
Para construir os cenários de renaturalização urbana utilizamos como critérios a manutenção e renaturalização de cursos de água, como rios e canais urbanos, a reinserção de linhas de drenagem e o melhoramento de corredores verdes, como avenidas com canteiro central de dimensão superior a 20m.

Identificamos o sistema de drenagem do território agregando ao mosaico natural componentes do sistema de drenagem que possam ter sido desconsiderados ou negligenciados durante o processo de urbanização do espaço. Para tanto, elaboramos em SIG – Sistema de Informações Geográficas – os mapas de linhas de drenagem das cidades.

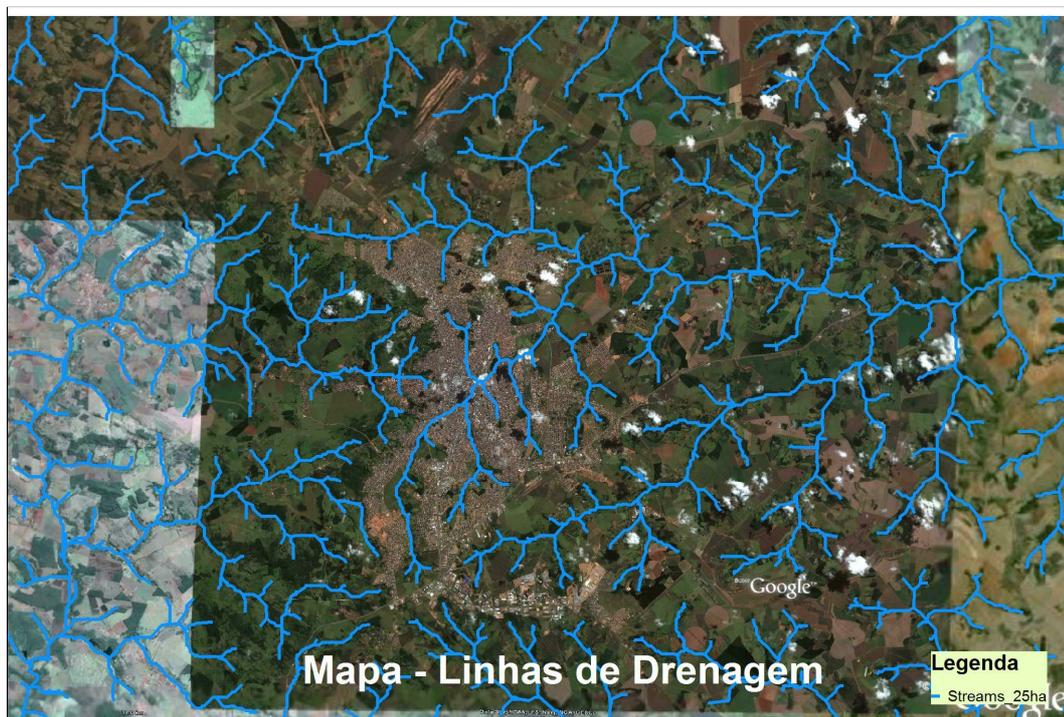
Para a elaboração dos mapas dos sistemas de drenagem foi instituído um processo onde a primeira etapa foi coletar dados de cotas da área urbana, disponíveis no banco de dados U. S. Geological Survey – USGS, conforme fig. 25. A partir destes dados foram elaborados os mapas de altitudes (ver fig. 26).



**Figura 25** Imagem de dados de altitudes disponibilizada pelo USGS para a cidade de Anápolis.



**Figura 26** Mapas de Altitudes elaborado com base nos dados do USGS para Anápolis.

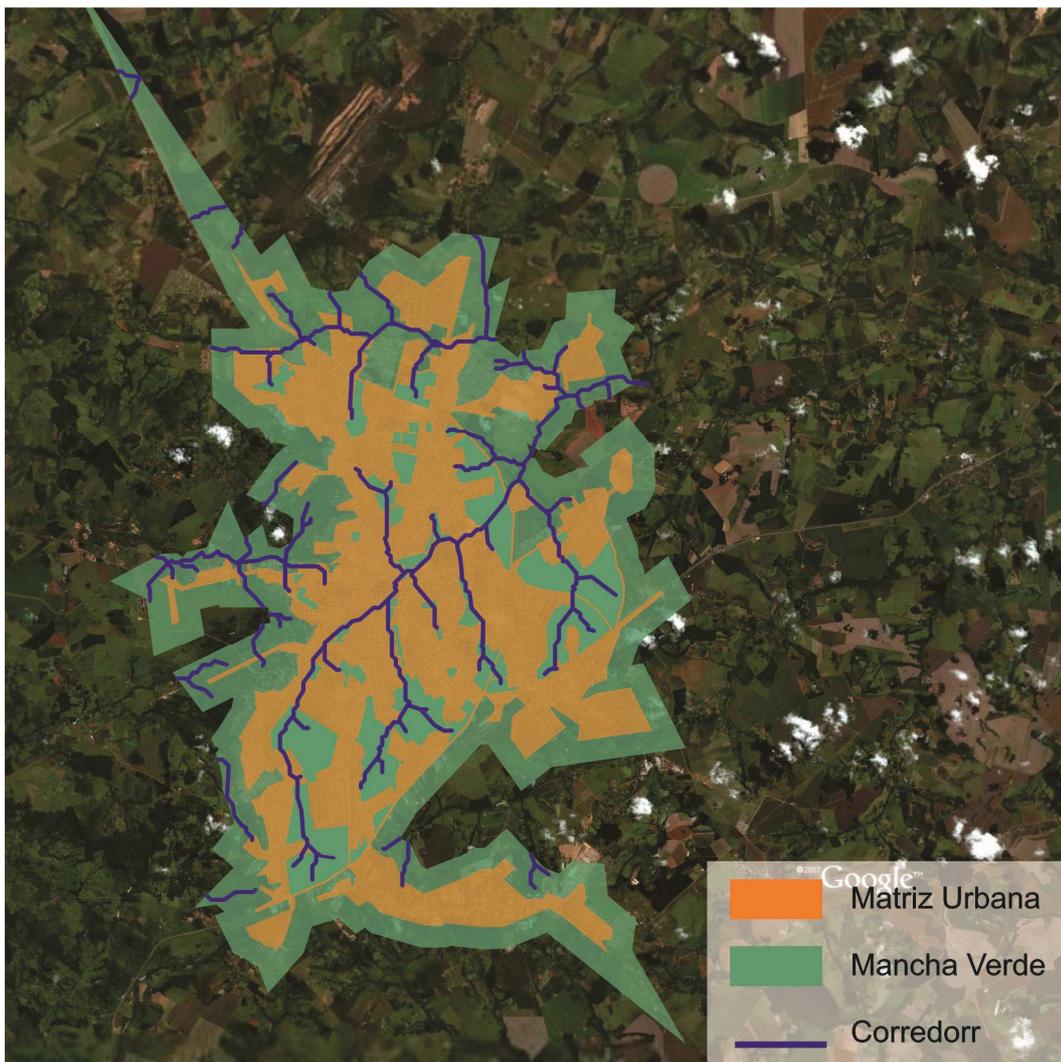


**Figura 27** Mapas de linhas de drenagem para cidade de Anápolis.

A partir das altitudes foram identificadas as linhas de drenagem, como está representado na fig. 27. A renaturalização de linhas de drenagem possibilita aprimorar o

escoamento das águas pluviais dentro das cidades, auxiliando na redução dos possíveis desastres naturais ligados a inundações.

Posteriormente as linhas de drenagem foram sobrepostas ao mosaico ambiental da cidade atual resultando em um mapa de base o qual servirá de parâmetro para definir intervenções de renaturalização urbana. O mosaico elaborado para a cidade de Anápolis está representado na fig. 28.



**Figura 28** Exemplo de cenário atual mais a inserção das linhas de drenagem onde serão efetuadas as renaturalizações para a cidade de Anápolis, GO.

A junção do mosaico ambiental representando a situação atual do ambiente urbano com os novos corredores criados com base na identificação das bacias de drenagem urbana é que definem a base do novo mosaico ambiental para as simulações de futuro, e os graus de descontinuidade/fragmentação permitidos nesse mosaico assim como os critérios utilizados nessa fragmentação é que caracterizam cada cenário criado, conforme descrito a seguir.

## 6.2. Critérios de intervenção na malha urbana

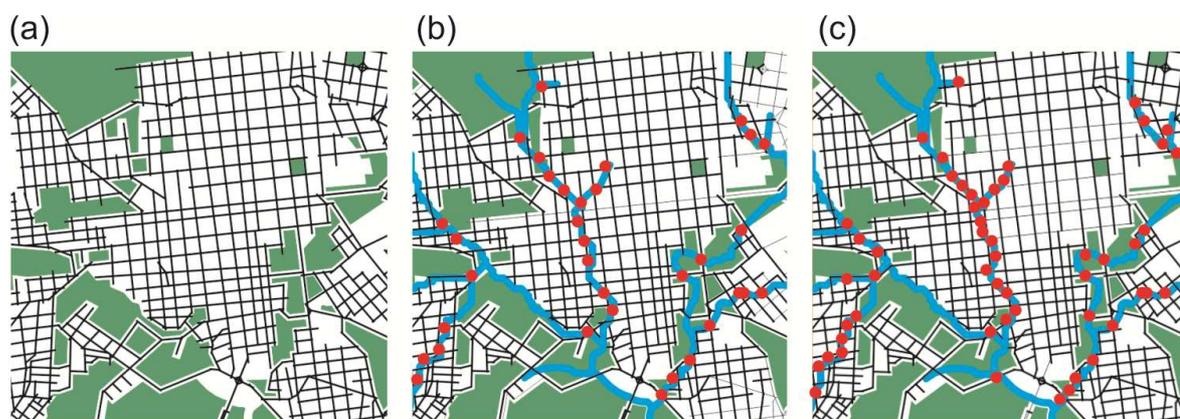
Com base nos princípios de renaturalização urbana foram simuladas alterações na estrutura urbana, mais precisamente, nas linhas axiais que representam o sistema urbano, onde há sobreposição entre corredores do mosaico ambiental e rede urbana existente. Estas transformações podem apresentar maiores ou menores restrições conforme a utilização de diretrizes que podem considerar como prioritária a integração urbana ou a conectividade do ambiente natural. Dessa forma, serão elaborados 4 cenários, onde:

**Cenário 1:** Procurar priorizar a eficiência dos fluxos urbanos, por meio da manutenção das conexões sobre os corredores do mosaico urbano a cada 600m aproximadamente, privilegiando a mobilidade urbana.

**Cenário 2:** Buscar o aprimoramento da conectividade ambiental, através da redução da interrupção feita pelos eixos viários sobre os corredores do mosaico elaborado, mantendo conexões a cada 1200m aproximadamente.

**Cenário 3:** Procurar a integração entre os dois primeiros critérios, ou seja, priorizar a eficiência dos fluxos urbanos e aprimorar a conectividade ambiental, mantendo conexões viárias a cada 1200m sobre os corredores do mosaico elaborado, contudo utilizando como critério de não descontinuidade das linhas axiais o grau de acessibilidade, ou seja, serão mantidos os eixos que apresentarem maior grau de acessibilidade da malha.

**Cenário 4:** Buscar a integração entre sistema ambiental e urbano com conexões viárias a cada 1200m sobre os corredores do mosaico elaborado, porém o critério utilizado para a não descontinuidade dos eixos será o grau de centralidade do eixo, ou seja, serão mantidos os que apresentarem maior grau de centralidade dentro do sistema urbano.



**Figura 29** – Representação de parte dos cenários simulados para Bagé-RS com ênfase em alguns pontos de intervenção. (a) Atual (b) Cenário 1 e (c) Cenário 2.

No Anexo III encontram-se os mapas com os pontos de intervenção de cada cenário para as cidades simuladas. Com estes mapas é possível avaliar o grau de intervenção dos diferentes cenários, assim como avaliar como a topografia de cada cidade pode interferir no grau de intervenção.

### 6.3. Resultados

#### 6.3.1. O impacto dos diferentes cenários sobre as características de acessibilidade da malha urbana

A fim de identificar os cenários que apresentaram menor impacto negativo ao espaço urbano modificado por ações voltadas à renaturalização optamos por analisar as medidas de acessibilidade média na rede e as desigualdades na distribuição da acessibilidade no sistema. Para descrever estas desigualdades internas da rede propomos avaliar a diferença entre os valores máximos e mínimos da rede urbana.

Observando os dados calculados a partir das intervenções urbanas voltadas para renaturalização para os quatro cenários simulados é possível perceber que, de maneira geral, todas as cidades apresentaram impactos negativos no que se refere à medida de acessibilidade.

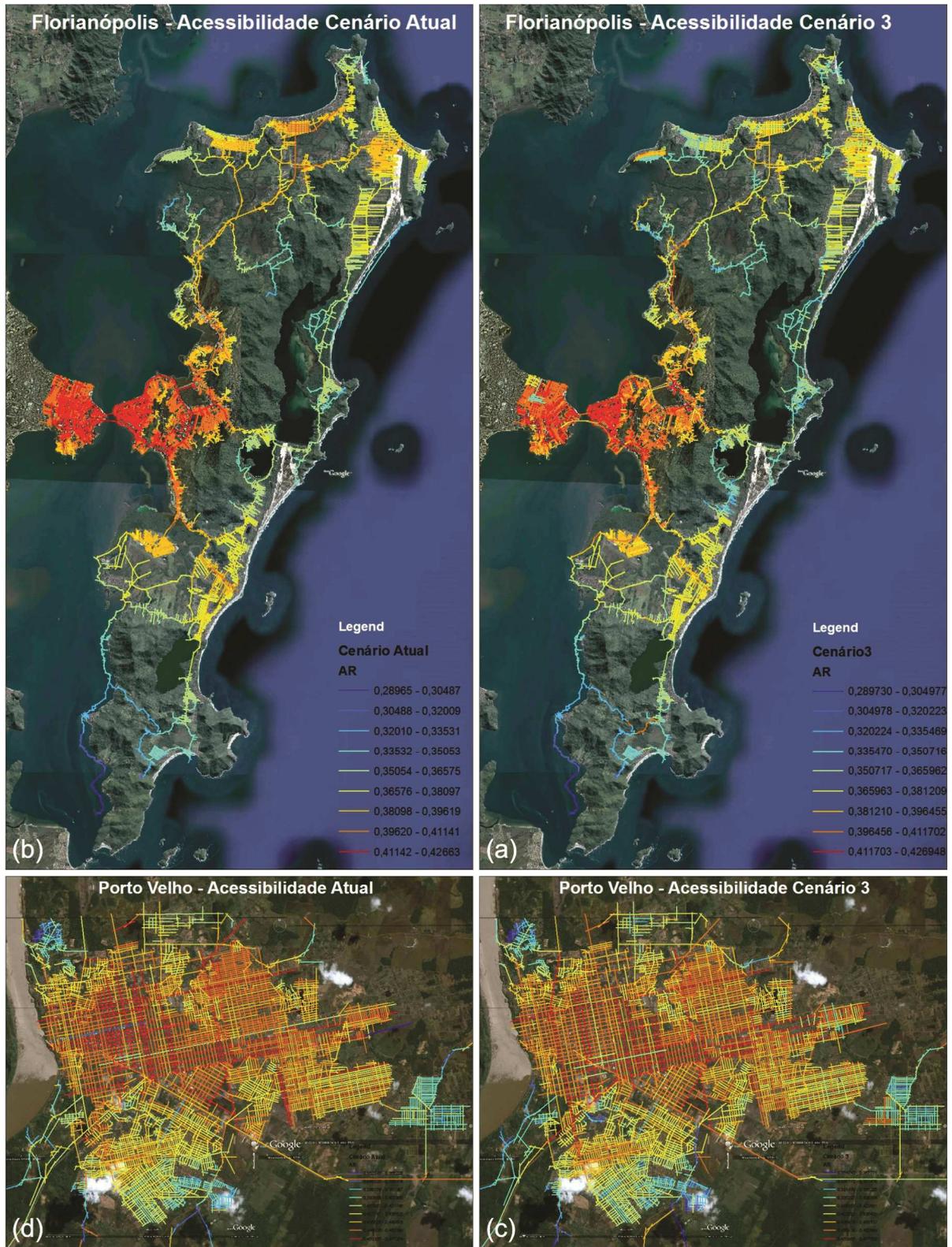
A partir dos valores da média para os quatro cenários simulados é possível observar que os cenários 3 e 4 apresentaram menor impacto negativo com relação ao nível de acessibilidade geral da rede, conforme tab. 07.

Cidades		Acessibilidade da rede urbana				
		Situação atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
		Média	Média	Média	Média	Média
Porto Velho	Valor	0,16730	0,15667	0,14986	0,15801	0,15132
	%		-6,35%	-10,42%	-5,55%	-9,55%
Bagé	Valor	0,14016	0,11279	0,10333	0,10436	0,11689
	%		-19,53%	-26,28%	-25,54%	-16,60%
Pelotas	Valor	0,07518	0,07147	0,06784	0,07129	0,07231
	%		-4,93%	-9,76%	-5,17%	-3,82%
Anápolis	Valor	0,12173	0,10685	0,10498	0,11145	0,11181
	%		-12,22%	-13,76%	-8,44%	-8,15%
Palmas	Valor	0,11705	0,10745	0,10144	0,11403	0,11379
	%		-8,20%	-13,34%	-2,58%	-2,79%
Florianópolis	Valor	0,03035	0,02792	0,0274	0,02907	0,02902
	%		-8,01%	-9,72%	-4,22%	-4,38%
Vitória	Valor	0,06551	0,05318	0,05589	0,05922	0,06086
	%		-18,82%	-14,68%	-9,60%	-7,10%

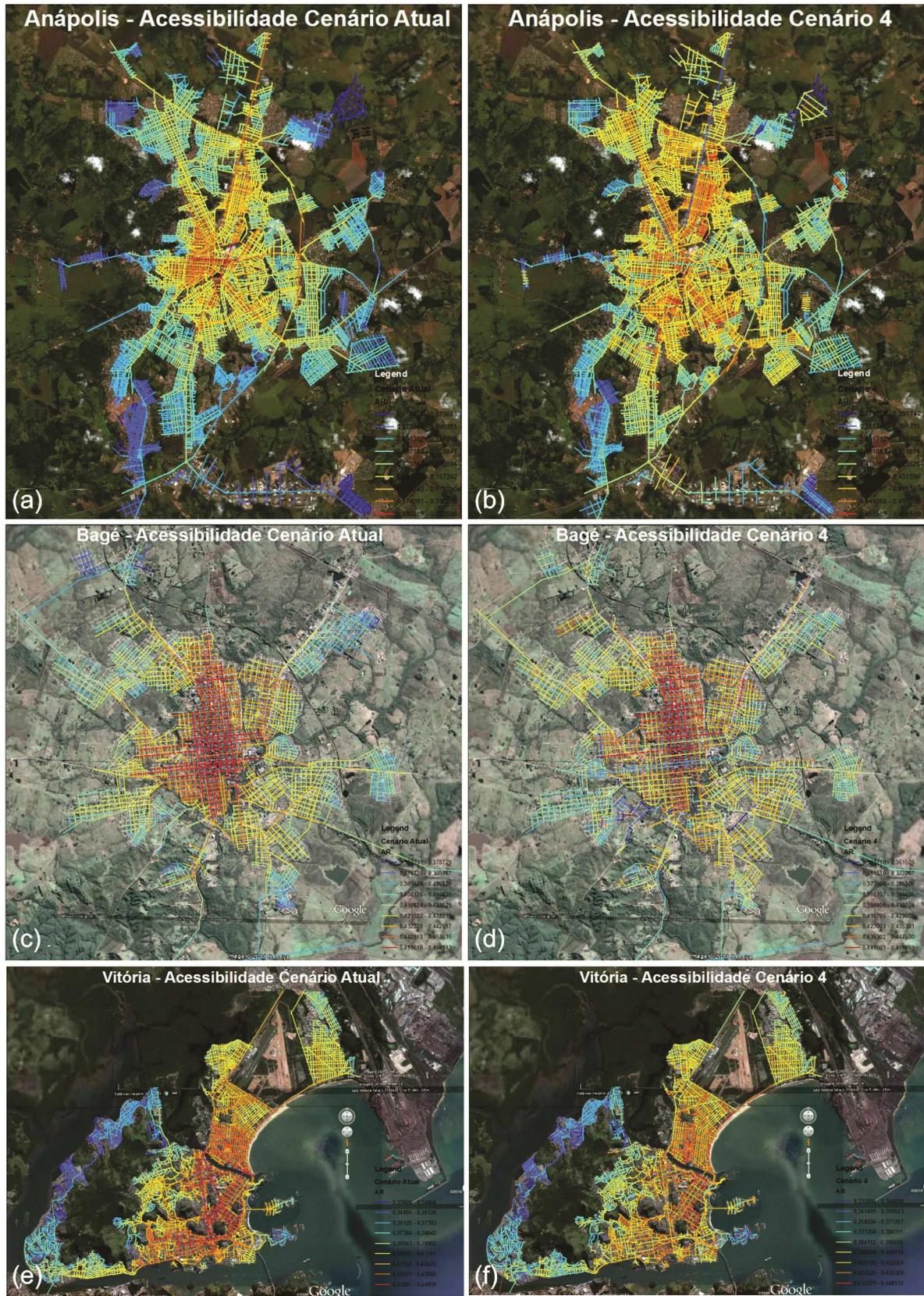
**Tabela 07** – Valores da média e percentuais de perda de acessibilidade para os 4 cenários simulados, onde o valor destacado em vermelho refere-se ao cenário de maior impacto negativo e o azul o de menor impacto.

O menor impacto destacado nos cenários 3 e 4 indica que a utilização de critérios de intervenção baseados nas medidas de acessibilidade e centralidade urbana podem reduzir os efeitos negativos da renaturalização sobre a estrutura configuracional das cidades.

A fig. 30 apresenta as cidades que tiveram o cenário 3 como o de menor impacto entre os cenários simulados, são elas Florianópolis, Palmas e Porto Velho. A representação da distribuição espacial da acessibilidade traz o cenário atual em paralelo com o cenário de menor impacto a fim de possibilitar a visualização das diferenças internas na distribuição espacial.



**Figura 30** Distribuição espacial da acessibilidade normalizada para o cenário atual e cenário 3 como o de menor impacto para as cidades de (a/b) Florianópolis e (c/d) Porto Velho.

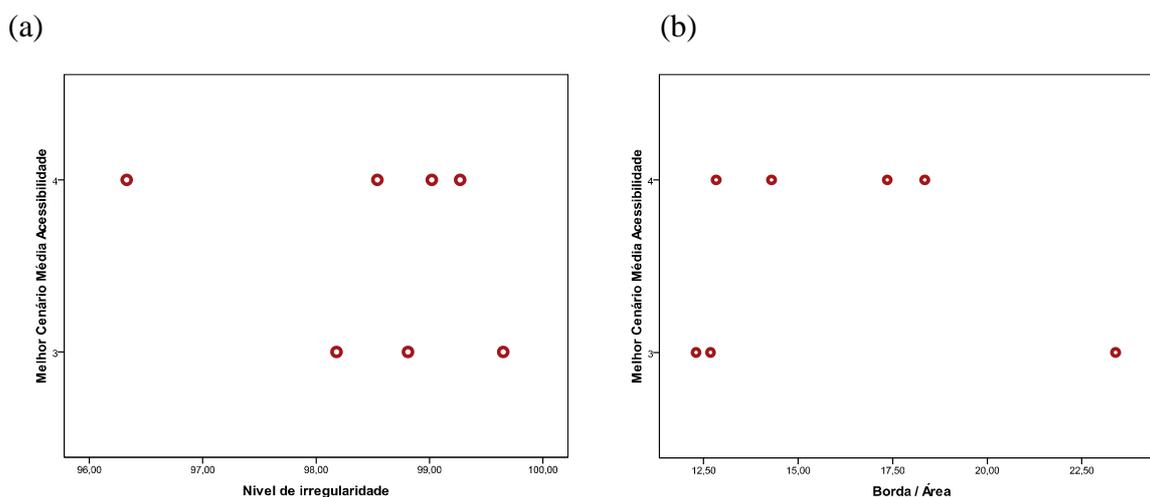


**Figura 31** Apresenta a distribuição espacial da acessibilidade normalizada para o cenário atual e cenário 4 como o de menor impacto para as cidades de (a/b) Anápolis, (c/d) Bagé e (e/f) Vitória.

A partir das imagens de distribuição de acessibilidade é possível perceber que de maneira geral as cidades apresentam redução dos valores no núcleo de maior acessibilidade das cidades.

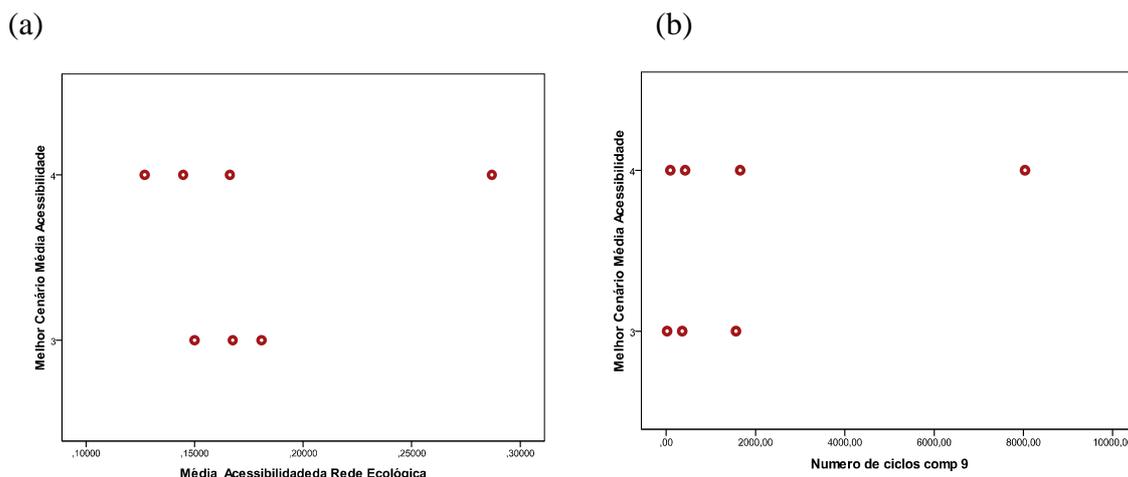
As maiores perdas na média de acessibilidade da rede foram observadas no cenário 2 para a maioria das cidades, sendo que apenas a cidade de Vitória apresentou perda maior no cenário 1 (ver tab. 07). As perdas do cenário 2 podem ser atribuídas às interrupções efetuadas de forma aleatória na rede urbana, seguindo apenas o critério de distâncias aproximadas de 1200m entre segmentos.

Não é possível observar uma correlação entre o cenário de menor impacto e as características da forma urbana, tanto com relação à irregularidade do traçado quanto à compacidade urbana. A partir destes dados é possível supor que a definição do melhor critério de intervenção na malha urbana não é influenciada pelas características da forma urbana.



**Figura 32** (a) Relação entre o nível de irregularidade do traçado da rede urbana e os cenários de menor impacto com relação à acessibilidade média do espaço urbano; (b) Relação entre o nível de compacidade da matriz urbana e os cenários de menor impacto com relação à acessibilidade média do espaço urbano.

Não foi identificada relação entre os cenários de menor impacto e as medidas analisadas para a rede ecológica, tanto a acessibilidade espacial quanto o número de ciclos das cidades da amostra, conforme é possível observar na fig. 32. Isto indica que a configuração da rede ecológica também não interfere na definição do cenário de menor impacto na malha urbana.



**Figura 33** (a) Relação entre a média de acessibilidade da rede ecológica e os cenários de menor impacto com relação à acessibilidade urbana; (b) Relação entre o número total de ciclos com comprimento de 3 a 9 da rede ecológica e os cenários de menor impacto com relação à acessibilidade urbana.

Cidades		Situação atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
		Máximo – Mínimo	Máximo – Mínimo	Máximo – Mínimo	Máximo – Mínimo	Máximo – Mínimo
Porto Velho	Valor	0,245	0,12621	0,22504	0,23802	0,22779
	%		-48,49%	-8,15%	-2,85%	-7,02%
Palmas	Valor	0,17055	0,13968	0,13253	0,17009	0,16957
	%	0	-18,10%	-22,29%	-0,27%	-0,57%
Anápolis	Valor	0,15267	0,12599	0,11934	0,13734	0,13942
	%	0	-17,48%	-21,83%	-10,04%	-8,68%
Pelotas	Valor	0,11518	0,1003	0,09091	0,11009	0,1115
	%		-12,92%	-21,07%	-4,42%	-3,19%
Bagé	Valor	0,16717	0,1346	0,13604	0,13747	0,15555
	%	0	-19,48%	-18,62%	-17,77%	-6,95%
Vitória	Valor	0,10224	0,07005	0,07937	0,09341	0,09758
	%	0	-31,48%	-22,37%	-8,64%	-4,56%
Florianópolis	Valor	0,0468	0,04521	0,0451	0,04614	0,04608
	%		-3,40%	-3,63%	-1,41%	-1,54%

**Tabela 08** – Valores da diferença entre valores máximos e mínimos e percentuais de alteração da diferença de acessibilidade para os 4 cenários simulados, onde o valor destacado em vermelho refere-se ao cenário de maior impacto negativo e o azul o de menor impacto.

Com relação às desigualdades na distribuição da acessibilidade, os dados foram analisados a partir do desvio padrão e da diferença entre os valores máximos e mínimos (amplitude). Neste sentido a análise da diferença entre os valores máximos e mínimos permite

observar que todos os cenários simulados apresentaram redução, sendo que os cenários 1 e 2 apresentaram maior redução na diferença entre os valores máximos e mínimos de acessibilidade da rede. Esta redução representa uma distribuição menos desigual para os valores de acessibilidade dentro da malha urbana.

Os cenários 3 e 4 apresentaram menor redução nos valores da diferença entre os mínimos e máximos da rede. Estes resultados indicam que os cenários 1 e 2, os quais apresentam maior redução da acessibilidade média da rede como um todo, apresentam um contraponto positivo que é a redução das desigualdades internas no que se refere a distribuição de acessibilidade espacial. Contudo, isto está relacionado principalmente à redução dos valores máximos de acessibilidade na rede, já que nestes cenários não foi utilizado como critério a manutenção de eixos com maior acessibilidade dentro da malha urbana. Ou seja, a redução das desigualdades internas da rede está mais relacionada às perdas nos valores de acessibilidade máxima da malha do que ao aumento dos valores de acessibilidade interna da rede global.

Através do teste Spearman foi constatada que não há correlação entre os valores percentuais de perda de acessibilidade no cenário de menor impacto e a compacidade da malha urbana. O mesmo teste foi efetuado para a correlação entre o percentual de perda nos valores da média de acessibilidade e o nível de irregularidade do traçado, onde não foram observados resultados que atendam aos quesitos de significância estatística. Contudo, os dados sugerem que quanto mais irregular o traçado menor a tendência de perda de acessibilidade média da rede quando submetida a projetos de renaturalização urbana.

Elaborando um panorama geral da análise da medida de acessibilidade é possível observar que o cenário 2 apresentou maior redução nos valores médios de acessibilidade, o que pode ser relacionado a maior segmentação dos eixos tendo em vista que as vias sobre os corredores verdes tem eixos mantidos apenas a cada 1200. Já a análise do cenário 2 em comparação aos cenários 3 e 4 permite perceber que os cenários que utilizam como critérios as medidas de diferenciação espacial para a manutenção dos eixos, ainda que mantenha a distância entre os eixos (a cada 1200m), apresenta redução do impacto na medida de acessibilidade no que se refere ao valor da média. Esta análise indica que a utilização de critérios voltados à integração urbana pode minimizar os impactos da renaturalização urbana no que se refere à segregação espacial.

Além disso, observou-se que entre as características da forma urbana analisadas, o nível de irregularidade do traçado interfere positivamente de forma mais significativa no grau de impacto sobre a acessibilidade urbana resultante de projetos de renaturalização do que a

compacidade urbana. Portanto, sob o ponto de vista de intervenções voltadas para a renaturalização, podemos supor que as características do traçado urbano são mais significativas do que o nível de dispersão/compactação para a definição da melhor adaptabilidade da cidade a intervenções deste tipo.

### **6.3.2. O impacto de diferentes cenários sobre as características de centralidade da malha urbana**

Com o objetivo de compreender as alterações na medida de centralidade espacial e identificar se a utilização de determinados critérios pode auxiliar na redução do impacto de projetos de renaturalização urbana, propomos avaliar a medida de centralidade espacial da rede através dos dados mínimos, 1º quartil, média, 3º quartil, máximos, constantes  $a$  e  $b$ . A partir desses dados é possível comparar o comportamento dos cenários simulados em relação ao cenário atual. Esta delimitação deve-se ao fato de que a distribuição da frequência da centralidade não obedece à distribuição normal, a qual permitiria avaliar corretamente a distribuição estatística através da média, desvio padrão valores máximos e mínimos.

A maioria das cidades da amostra apresentou redução nos valores mínimos de centralidade, com exceção da cidade de Pelotas. Os cenários 3 e 4 foram os que apresentaram menor redução nos valores mínimos de centralidade para a maioria das cidades da amostra, indicando que a utilização dos critérios baseados na integração urbana de fato podem auxiliar na redução do impacto sobre a estrutura configuracional das cidades. O cenário 2 foi o que apresentou maior redução nos valores mínimos de centralidade espacial, o que pode ser relacionado ao aumento da segmentação dos eixos viários em comparação com o cenário 1 (o dobro da distância entre eixos) e com a não utilização de critérios baseados na integração urbana em comparação com os cenários 3 e 4.

A menor redução no 1º quartil também foi observada nos cenários 3 e 4, enquanto a maior perda de centralidade foi identificada nos cenários 1 e 2, o que vai ao encontro dos resultados encontrados para os valores mínimos. Perda de centralidade nos valores mínimos significa aumentar a segregação espacial de uma determinada área. Isto pode ser negativo na maioria dos casos, uma vez que reduz a probabilidade de fluxos urbanos por determinadas áreas. Contudo, pode ser positivo em casos específicos, como nos condomínios fechados de alta renda, os quais podem usufruir da segregação espacial voluntária.

Cidades		Situação atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
		Mediana	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana
Anápolis	Valor	2,04E-04	2,26E-04	2,19E-04	2,30E-04	2,29E-04
	%		10,80%	7,37%	12,76%	12,27%
Bagé	Valor	9,71E-04	7,26E-04	6,53E-04	6,63E-04	7,25E-04
	%		-25,23%	-32,75%	-31,72%	-25,33%
Florianópolis	Valor	4,43E-05	4,03E-05	3,88E-05	4,09E-05	4,11E-05
	%		-9,03%	-12,42%	-7,67%	-7,22%
Palmas	Valor	2,91E-04	2,65E-04	2,51E-04	2,76E-04	2,77E-04
	%		-8,93%	-13,75%	-5,15%	-4,81%
Pelotas	Valor	1,71E-04	1,65E-04	1,58E-04	1,65E-04	1,67E-04
	%		-3,34%	-7,44%	-3,34%	-2,17%
Porto Velho	Valor	4,66E-04	4,32E-04	4,21E-04	4,32E-04	4,23E-04
	%		-7,30%	-9,66%	-7,30%	-9,23%
Vitória	Valor	2,12E-04	1,74E-04	1,81E-04	1,83E-04	1,89E-04
	%		-17,92%	-14,62%	-13,68%	-10,85%

**Tabela 09** – Valores de mediana de centralidade para os 4 cenários simulados, onde o valor destacado em vermelho refere-se ao cenário de maior impacto negativo e o azul o de menor impacto.

Para os valores da mediana a maioria das cidades apresentou redução nos valores de centralidade. Apenas Anápolis apresentou aumento na mediana de centralidade. O cenário 4 foi o que apresentou melhor desempenho no que se refere ao impacto sobre os valores da mediana de centralidade, enquanto o cenário 2 foi o com maior impacto. Confirmando que a utilização de critérios baseados na integração urbana pode reduzir os efeitos negativos da renaturalização sobre a estrutura configuracional urbana.

Dentre as simulações propostas os cenários 1 e 4 foram os que apresentaram menor perda de centralidade no 3º quartil. O cenário 2 foi o que apresentou maior perda de centralidade, o que pode ser relacionado a maior segmentação dos eixos sem a utilização de critérios baseados na integração urbana.

Cidades		Situação atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
		Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo
Anápolis	Valor	0,07647	0,08255	0,05645	0,09139	0,10805
	%		7,95%	-26,18%	19,51%	41,30%
Bagé	Valor	0,06679	0,07881	0,09012	0,07912	0,11314
	%		18,00%	34,93%	18,46%	69,40%
Florianópolis	Valor	0,02163	0,02186	0,02198	0,02111	0,02112
	%		1,06%	1,62%	-2,40%	-2,36%
Palmas	Valor	0,14104	0,12079	0,10937	0,18286	0,17646
	%		-14,36%	-22,45%	29,65%	25,11%
Pelotas	Valor	0,05252	0,05767	0,0575	0,05947	0,04936
	%		9,81%	9,48%	13,23%	-6,02%
Porto Velho	Valor	0,08837	0,08993	0,12216	0,10825	0,12019
	%		1,77%	38,24%	22,50%	36,01%
Vitória	Valor	0,0449	0,03534	0,03949	0,04413	0,05754
	%		-21,29%	-12,05%	-1,71%	28,15%

**Tabela 10** – Valores máximos de centralidade para os 4 cenários simulados, onde o valor destacado em vermelho refere-se ao cenário de maior impacto negativo e o azul o de menor impacto.

Todas as cidades apresentaram aumento nos valores máximos de centralidade da rede em algum dos cenários simulados, sendo que as cidades de Florianópolis e Porto Velho apresentaram maior aumento nos valores para o cenário 2 e as cidades de Anápolis, Bagé e Vitória apresentaram maior acréscimo no cenário 4. O primeiro cenário foi o que apresentou maiores perdas nos valores máximos para 3 das 7 cidades estudadas. A partir desses dados entende-se que a utilização da centralidade como critério para manutenção de eixos em áreas renaturalizadas permite um aumento significativo nos valores máximos de centralidade na rede.

A maior hierarquização da rede pode ser positiva ou negativa, dependendo do local onde estão sendo elevados os valores de centralidade máxima. Quando elevamos a centralidade de um espaço público, com características comerciais ou de prestação serviço isso pode ser benéfico para a área. Contudo se esta área já se encontra sobrecarregada de fluxos, como os centros urbanos em cidades de médio e grande porte, isto pode direcionar ainda mais os deslocamentos para essa área, prejudicando os fluxos dentro da cidade. Ao mesmo tempo, quando diminuimos os valores máximos de centralidade e os distribuimos para as demais vias da rede podemos reduzir os efeitos de congestionamentos e reduzimos os fluxos nas vias principais da cidade, contudo isso reduz a probabilidade e vitalidade da formação de locais comerciais e de prestação de serviço ao longo de vias arteriais.

Cidades		Situação atual		Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Anápolis	Valor	0,17	-314,75	0,17	-827,31	0,17	-311,43	0,19	11,15	0,20	13,08
	%			2,0%	-162,8%	-1%	1%	7%	104%	14%	104%
Bagé	Valor	0,38	-196,37	0,29	-158,10	0,45	-272,78	0,49	-312,38	0,66	-446,45
	%			-24%	19%	19%	-39%	31%	-59%	75%	-127%
Florianópolis	Valor	0,18	-609,46	0,16	-509,88	0,16	-543,20	0,16	-526,48	0,16	-528,92
	%			-10%	16%	-11%	11%	-11%	14%	-11%	13%
Palmas	Valor	0,17	-355,03	0,15	-325,79	0,14	-295,31	0,16	-346,65	0,16	-358,21
	%			-13%	8%	-15%	17%	-7%	2%	-3%	-1%
Pelotas	Valor	0,28	-708,66	0,24	-576,82	0,25	-578,29	0,27	-665,84	0,26	-636,59
	%			-13%	19%	-13%	18%	-5%	6%	-8%	10%
Porto Velho	Valor	0,44	-581,82	0,43	-597,29	0,10	-537,40	0,43	-600,37	0,41	-600,33
	%			-3%	-3%	-77%	8%	-3%	-3%	-6%	-3%
Vitória	Valor	0,17	-231,38	0,15	-200,04	0,17	-227,62	0,16	-214,83	0,17	-241,05
	%			-10%	14%	0%	2%	-7%	7%	-2%	-4%

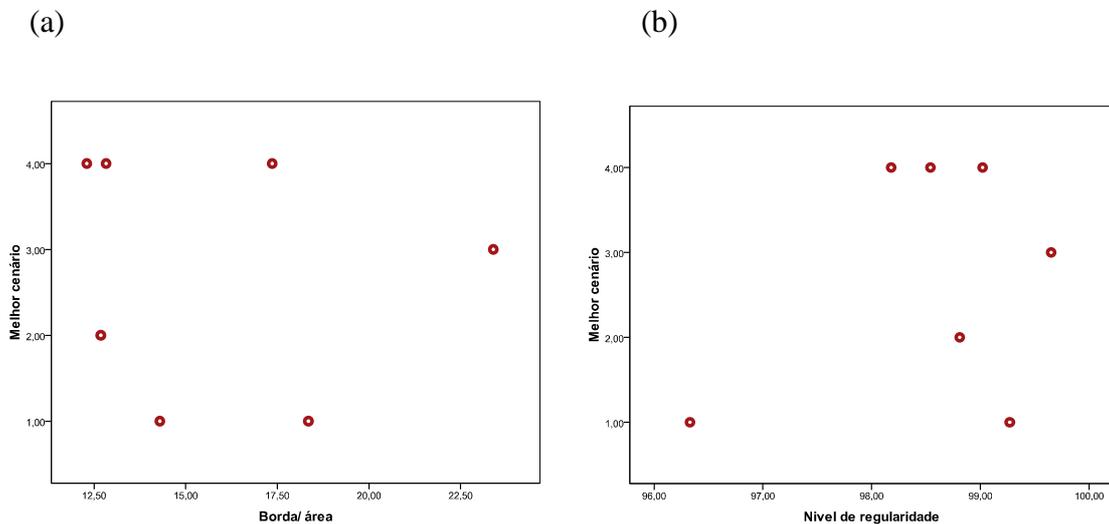
**Tabela 11** – Constante *a* e expoente *b* para a distribuição das probabilidades de frequência da centralidade espacial para os 4 cenários simulados, onde o valor destacado em vermelho refere-se ao cenário de maior impacto negativo e o azul o de menor impacto.

Quanto maior a constante *a* menos desigual a distribuição de probabilidades de valores de centralidade, ou seja, quanto maior o *a*, maior a probabilidade de ocorrência de valores mais elevados de centralidade e menor a probabilidade de ocorrência de valores mais baixos, reduzindo as diferenças internas da rede. Para a análise da constante *a* o cenário 4 foi o que apresentou os resultados que reduziram mais a hierarquização da rede, enquanto o cenário 2 apresentou a maior redução nos valores de *a*, o que reflete maior desigualdade espacial na distribuição da centralidade.

Para o expoente *b*, quanto menor o valor menos desigual a distribuição de probabilidades de centralidade. A partir destes dados o cenário 4 também apresentou os resultados que mais diminuem a hierarquia da rede e o cenário 1 apresentou os resultados que menos diminuem a hierarquia da rede, onde a é observada a distribuição mais desigual dos valores de centralidade.

Os resultados observados para a constante *a* e o expoente *b* permitem observar que o cenário 4 apresenta maior redução das desigualdade de distribuição nos valores de centralidade das redes analisadas, influenciando na medida de centralidade espacial nos sistemas urbanos selecionados para amostra.

Não foi possível relacionar os cenários de menor impacto da centralidade com as características da forma urbana, nível de regularidade do traçado e compacidade urbana, conforme fig. 35.

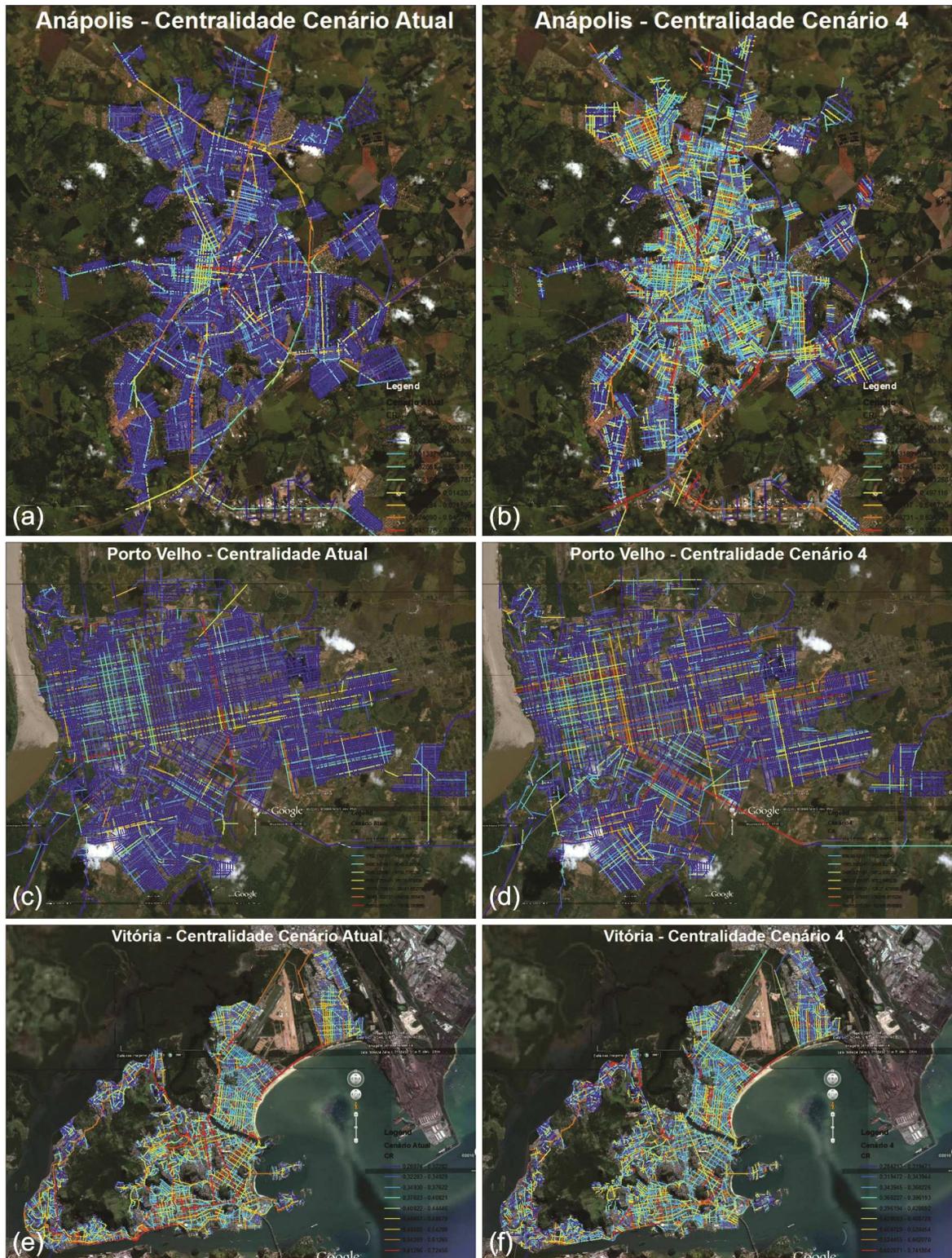


**Figura 34** (a) Relação entre o nível de compacidade e os cenários de menor impacto da centralidade; (b) Relação entre o nível de irregularidade traçado e os cenários de menor impacto da centralidade.

A partir dos dados da amostra foram avaliados os cenários de menor impacto, referente aos dados mínimos, 1º quartil, mediana, 3º quartil, máximos, e de menor hierarquização da rede, constantes  $a$  e  $b$ . Esta análise permite observar que o cenário 4 foi o que apresentou menor impacto decorrente das intervenções voltadas à renaturalização ao mesmo tempo que foi o cenário que mais contribuiu para uma distribuição mesmo desigual de centralidade. Isto pode ser relacionado às diretrizes de intervenção, as quais tinham como princípio manter vias com maior centralidade espacial dentro da malha urbana.

Assumindo que o cenário 4 seja o cenário de menor impacto relativo à medida de centralidade espacial, utilizamos o teste Spearman para analisar a relação entre os percentuais de redução nos valores mínimos de centralidade, do cenário 4 em relação ao atual, com as características da forma urbana. Da mesma forma observada na medida de acessibilidade, não foi identificada relação entre os percentuais de impacto na centralidade e a compacidade. Para a correlação entre o nível de irregularidade do traçado e os percentuais de mudança nos valores mínimos de centralidade os resultados não atenderam aos quesitos de significância estatística, contudo os dados sugerem que quanto mais irregular o traçado menor a perda nos valores mínimos de centralidade. Dessa forma, entende-se que se submetemos cidades com traçado mais regular à projetos de renaturalização, estas poderão ser mais impactadas

negativamente sobre os valores mínimos de centralidade do que cidades com traçado mais irregular.



**Figura 35** Apresenta a distribuição espacial da centralidade para o cenário atual e cenário 4 como o de menor impacto para as cidades de (a) Anápolis, (b) Porto Velho e (c) Vitória.

A representação espacial das cidades da fig. 35 permite visualizar que no caso de cidades mais irregulares após a simulação do cenário 4 a distribuição de centralidade parece menos hierarquizada quando comparada com o cenário atual da cidade, como é o caso das fig. 35 (a) e (c). Enquanto em cidades mais regulares surgiram novos corredores lineares com maior centralidade, além de elevar o destaque dos corredores lineares existentes no cenário atual, conforme fig. 35 (b), tornando-se mais hierarquizada.

Analisando as simulações e seus resultados é possível perceber que o cenário 2 apresentou maior impacto sobre a estrutura urbana quando comparado ao cenário 1, o que pode ser relacionado a maior segmentação do tecido urbano, já que mantém conexões sobre o ambiente natural a cada 1200m, o dobro da distância mantida no cenário 1. Já os cenários 3 e 4 apresentaram redução deste impacto com a adoção de critérios voltados a integração urbana, sem alterar a distância das conexões mantidas sobre os corredores verdes.

A utilização de critérios voltados à integração espacial pode reduzir o impacto de projetos de renaturalização no interior das cidades. Ainda, a utilização da medida de centralidade como parâmetro para manutenção dos eixos sobre os corredores do mosaico urbano é o critério que gerou menor impacto sobre a integração espacial da malha urbana.

Além disso, o nível de regularidade do traçado exerce influência, ainda que fraca, sobre o grau de impacto negativo sobre a centralidade espacial, enquanto a compacidade urbana não pode ser relacionada com o grau de impacto sobre a estrutura urbana. Portanto, sob o ponto de vista de intervenções voltadas para a renaturalização, a cidade dispersa não está mais apta a responder de forma melhor às intervenções do que a cidade compacta. A adaptabilidade está mais vinculada às características do traçado do que ao padrão de distribuição geográfica da mancha urbana.

### **6.3.3. O impacto dos diferentes cenários sobre as características de acessibilidade da rede ecológica**

Buscamos identificar os ganhos ambientais sob o ponto de vista espacial da rede ecológica, avaliamos a acessibilidade do ambiente natural a partir dos valores da média da acessibilidade da rede ecológica.

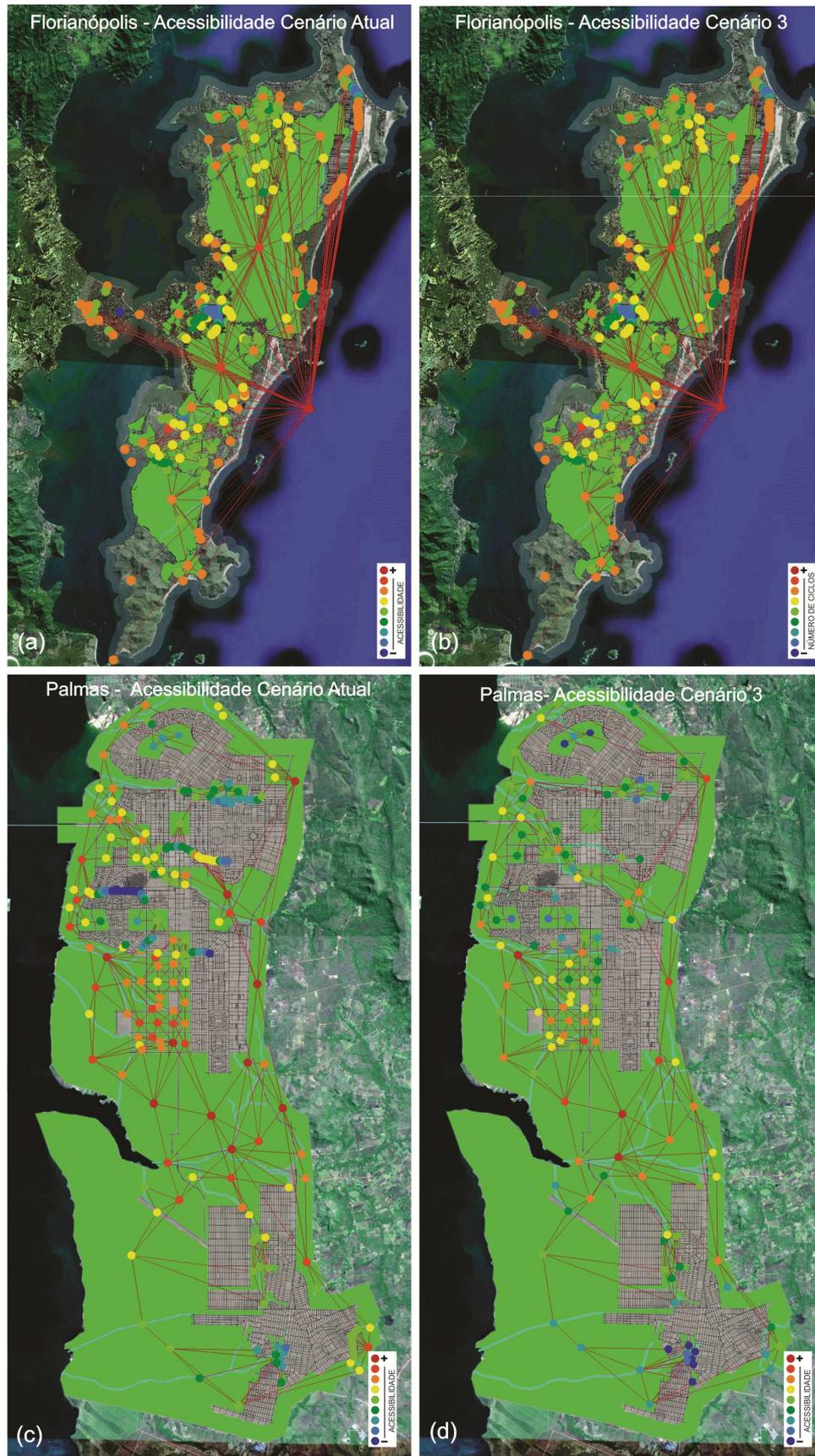
Para tanto, simulamos cenários de futuro para o ambiente natural baseados nas intervenções de renaturalização propostas para o espaço urbano. Estes cenários foram analisados de forma comparativa entre si e como o cenário atual da rede ecológica.

A partir dos dados para os quatro cenários simulados é possível observar que os cenários 3 e 4 apresentaram melhores resultados com relação a acessibilidade média da rede ecológica, sendo que o cenário 4 apresentou maiores ganhos na acessibilidade média para 5 das 7 cidades da amostra, conforme é possível observar na tab. 12.

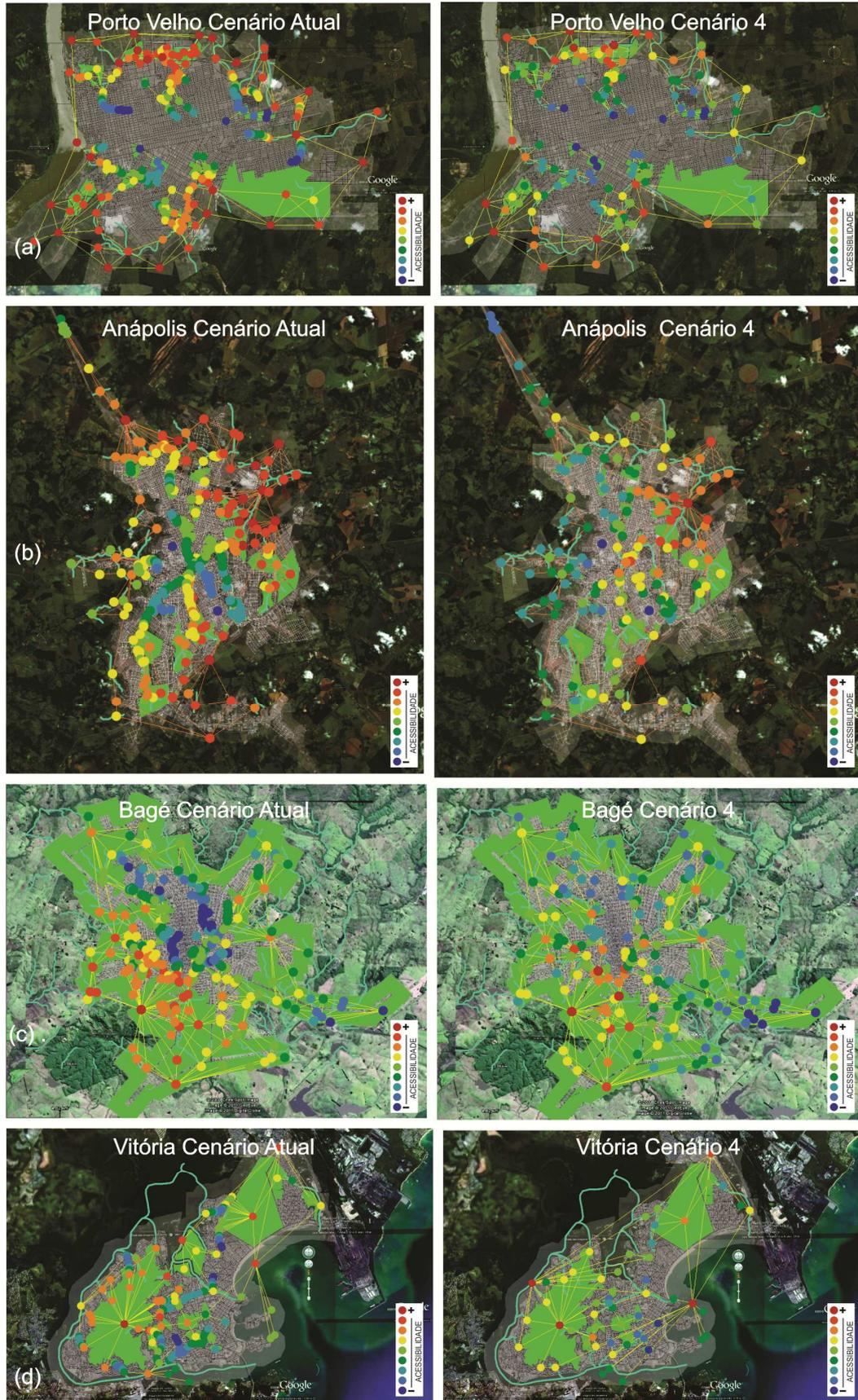
Cidades		Acessibilidade da rede ecológica				
		Situação atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
		Média	Média	Média	Média	Média
Porto Velho	Valor	0,15002	0,22482	0,25105	0,25105	0,25325
	%		49,86%	67,34%	67,34%	68,81%
Bagé	Valor	0,16758	0,2119	0,23941	0,23875	0,24186
	%		26,45%	42,86%	42,47%	44,33%
Pelotas	Valor	0,14474	0,18457	0,20304	0,20253	0,20365
	%		27,52%	40,28%	39,93%	40,70%
Anápolis	Valor	0,12702	0,1637	0,18569	0,19486	0,19491
	%		28,88%	46,19%	53,41%	53,45%
Palmas	Valor	0,16625	0,2107	0,22873	0,23261	0,2297
	%		26,74%	37,58%	39,92%	38,17%
Florianópolis	Valor	0,18086	0,32878	0,34178	0,35501	0,34897
	%		81,79%	88,97%	96,29%	92,95%
Vitória	Valor	0,28693	0,34516	0,36369	0,36628	0,36759
	%		20,29%	26,75%	27,65%	28,11%

**Tabela 12** – Valores da média e percentuais de aumento de acessibilidade para os 4 cenários simulados, onde o valor destacado em vermelho refere-se ao cenário de menor ganho e o azul o de maior ganho na acessibilidade da rede ecológica.

Apenas as cidade de Palmas e Florianópolis apresentaram o cenário 3 como o de maior aumento da acessibilidade média da rede ecológica. Estas cidades apresentaram no melhor cenário uma maior concentração nos valores mais elevados de acessibilidade da rede ecológica, conforme é possível observar na fig. 36.



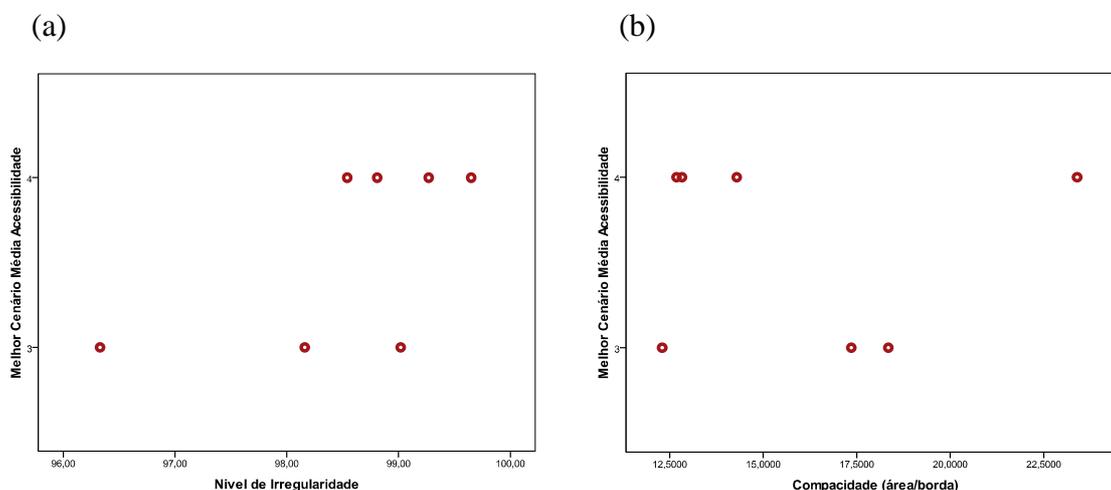
**Figura 36** Apresenta a distribuição espacial da acessibilidade normalizada para o cenário atual e cenário 3 como o de resultado mais positivo para as cidades de (a) Florianópolis e (b) Palmas.



**Figura 37** Distribuição espacial da acessibilidade normalizada para o cenário atual e cenário 4 como o de resultado mais positivo para as cidades de (a) Porto Velho, (b) Anápolis, (c) Bagé e (d) Vitória.

Já o cenário 1 foi o que apresentou menor aumento nos valores médios de acessibilidade para todas as cidades, isto pode ser relacionado com o menor grau de intervenção da rede urbana, uma vez que no cenário 1 foram mantidas conexões a cada 600m na malha urbana, o que resulta em maior descontinuidade da rede ecológica.

Não é possível observar uma relação entre o cenário de maior ganho em acessibilidade da rede ecológica e o traçado urbano, embora o cenário 4 apresente leve tendência em cidades com traçados mais irregulares, como pode ser observada na fig. 38 (a). Da mesma forma, não foi identificada relação entre a compacidade e o cenário de maior impacto positivo para a medida de acessibilidade da rede.



**Figura 38** (a) Relação entre a irregularidade do traçado e os cenários de maior ganho de acessibilidade da rede ecológica; (b) Relação entre o índice de compacidade da matriz urbana e os cenários de maior ganho de acessibilidade da rede ecológica.

Observando os dados calculados a partir das intervenções urbanas voltadas para renaturalização para os quatro cenários simulados é possível perceber que, de maneira geral, todas as cidades apresentaram ganhos no que se refere à medida de acessibilidade da rede ecológica. Os maiores ganhos na média de acessibilidade da rede ecológica foram observadas nos cenários 3 e 4 para todas as cidades da amostra, o que indica que a adoção dos critérios de acessibilidade e centralidade não só reduzem os impactos negativos na malha urbana resultantes de ações de renaturalização como também contribui para os ganhos de qualidade da rede ecológica quanto a acessibilidade. Cabe destacar que os ganhos de acessibilidade da rede ecológica para os cenários 2, 3 e 4 são muito semelhantes, uma vez que a distância entre os elementos da rede se mantém para os três cenários. Dessa forma o maior acréscimo de

acessibilidade da rede ecológica observado nos cenários 3 e 4 para todas as cidades pode estar ligado a posição dos elementos dentro da rede.

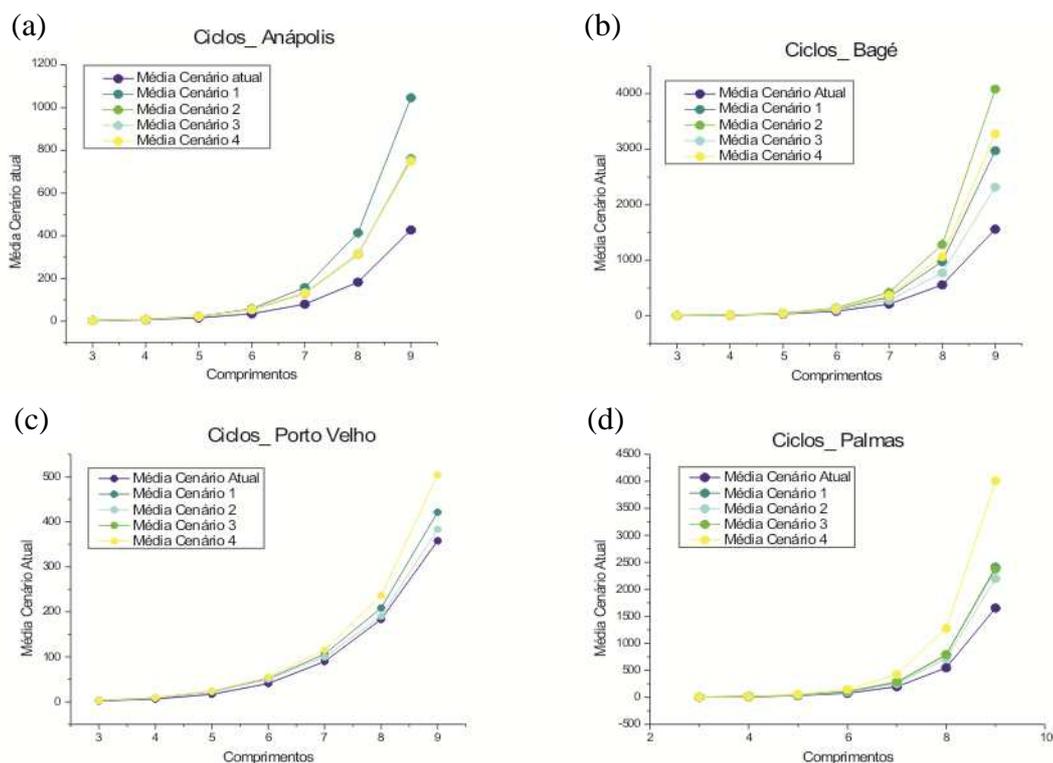
Os resultados de menor ganho para a acessibilidade média observados no cenário 1 são atribuídos as descontinuidades da rede ecológica em busca de um menor grau de intervenção na malha urbana, privilegiando a mobilidade urbana em relação ao ambiente natural.

Não foi identificada relação entre os percentuais de aumento da acessibilidade média da rede ecológica e as características da forma urbana, tanto para o nível de irregularidade do traçado quanto ao grau de dispersão do território das cidades.

#### ***6.3.4. O impacto de diferentes cenários sobre as características dos ciclos na rede ecológica***

Com o objetivo de avaliar o comportamento da rede ecológica como um todo, determinamos o número de ciclos do sistema, definida pela razão entre soma do número de ciclos de todos os vértices e o número total de vértices do sistema. Para cada cenário foi calculado o número total de ciclos da rede para comprimentos de 3 a 9, a fim de identificar possíveis estrangulamentos no sistema, os quais poderiam dificultar a conectividade entre os pontos da rede (FARIA, 2010, p.116).

Na fig. 39 são exemplificadas as relações a média do número de ciclos totais para comprimento até 9 e o número total de ciclos com comprimentos de percursos de 3 a 9 para 4 das 7 cidades analisadas para todos os cenários. A partir dos gráficos com diferentes comprimentos é possível observar que não existem estrangulamentos na rede ecológica, o que poderia resultar em redução da conectividade interna do ambiente natural.



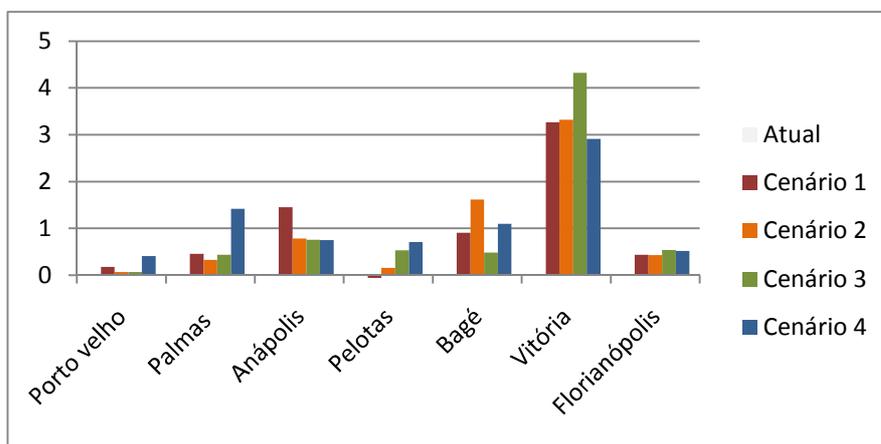
**Figura 39** Representação da média do número de ciclos da rede em relação ao número total de ciclos com comprimento de 3 a 9 para as cidades de (a) Anápolis, (b) Bagé, (c) Porto Velho e (d) Palmas.

Ainda, a medida do número de ciclos possibilita avaliar se as intervenções no espaço urbano voltadas à renaturalização estão de fato contribuindo positivamente para a melhoria do ambiente natural no que se refere à conectividade múltipla da rede ecológica, uma vez que a alteração no número de ciclos se reflete nas rotas de migração de organismos envolvidos no sistema ecológico (COOK, 2002).

Cidades	Número total de ciclos da rede com comprimento de 3 a 9				
	Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Porto velho	358,004	421,068	383,220	383,220	504,481
Palmas	1655,770	2411,064	2198,957	2377,452	4006,892
Anápolis	426,928	1046,354	761,721	751,285	747,303
Pelotas	93,051	54,138	107,453	142,507	158,993
Bagé	1560,803	2972,511	4080,867	2316,500	3275,189
Vitória	18,104	77,265	78,237	96,286	70,807
Florianópolis	8033,196	11514,286	11494,033	12371,966	12210,596

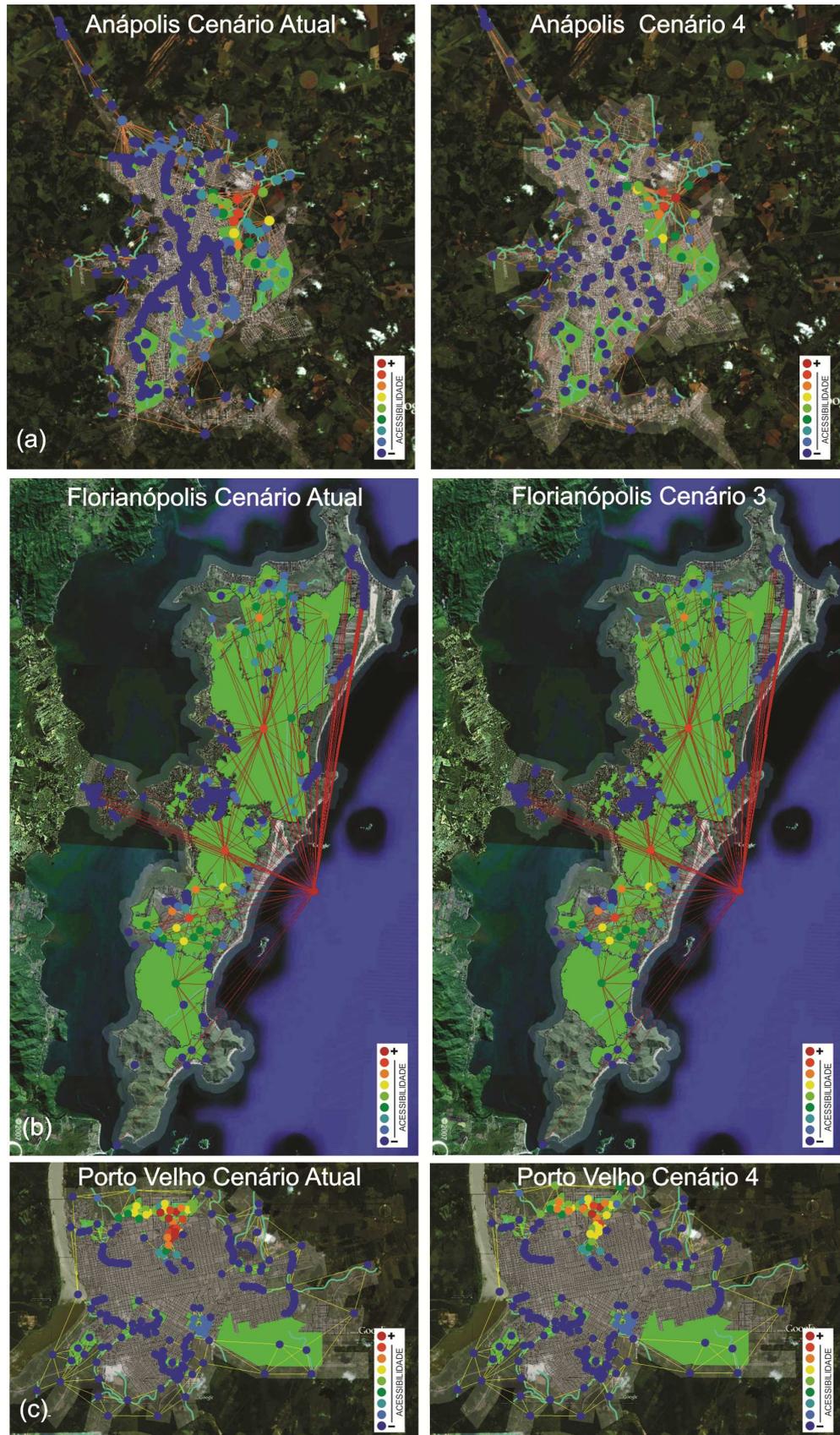
**Tabela 13** Número total de ciclos da rede com comprimento de 3 a 9 para as cidades da amostra, onde o valor destacado em vermelho refere-se ao cenário de menor ganho e o azul o de maior ganho do número de ciclos da rede ecológica.

A partir da fig. 40 é possível observar que de maneira geral todas as cidades apresentaram ganhos nos valores do número total de ciclos da rede com comprimento de 3 a 9 em todos dos cenários simulados.



**Figura 40** Representação dos ganhos no número total de ciclos da rede ecológica com comprimento de 3 a 9 para os quatro cenários simulados em todas as cidades da amostra.

A partir da visualização da distribuição espacial do número de ciclos da rede com comprimento de 3 a 9 é possível perceber que para cidades mais dispersas os núcleos com valor mais elevado dentro da rede não sofrem grandes alterações, mantendo os locais de número de ciclos mais elevados (fig. 41 (a) e (b)). Já para cidades mais compactas, como Porto Velho (fig. 41 (c)), quando comparamos o cenário atual com o de maior ganho quanto ao número de ciclos é possível observar uma maior diferenciação entre os elementos da rede ecológica. O que indica que alguns pontos da rede têm um maior número de ciclos em relação aos demais.



**Figura 41** Distribuição espacial do número total de ciclos com comprimento de 3 a 9 da rede ecológica atual e para o cenário com maior aumento no número de ciclos da rede para as cidades de (a) Anápolis, (b) Florianópolis e (c) Porto Velho.

Quando comparamos os cenários simulados com o cenário atual, os dados do número total de ciclos da rede ecológica com comprimento de 3 a 9 indicam que as cidades apresentaram aumento nos valores, conforme a tab. 14. Nesta tabela estão listados os percentuais de acréscimo na média para cada cenário simulado quando comparado com o cenário atual da rede ecológica.

Cidades	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Porto velho	18%	7%	7%	41%
Palmas	46%	33%	44%	142%
Anápolis	145%	78%	76%	75%
Pelotas	-42%	15%	53%	71%
Bagé	90%	161%	48%	110%
Vitória	327%	332%	432%	291%
Florianópolis	43%	43%	54%	52%

**Tabela 14** – Percentual de aumento no número total de ciclos com comprimento de 3 a 9 com relação ao cenário atual das cidades da amostra onde está destacado o cenário de melhor resultado.

O fato das simulações efetuadas resultarem em aumento do número de ciclos indica que as intervenções efetuadas em busca da renaturalização urbana estão contribuindo positivamente para aprimorar a qualidade da rede ecológica das cidades estudadas.

A análise das implicações de intervenções voltadas a renaturalização urbana sob a ótica da rede ecológica permite observar que a intervenção sobre a malha urbana de fato contribui para o aumento do ambiente natural. Além disso, a utilização de critérios de intervenção baseados na acessibilidade e centralidade espacial do espaço urbano reduz o impacto sobre a integração da malha urbana sem interferir negativamente na rede ecológica.

Não foi possível identificar relação entre as características da morfologia urbana descritas neste estudo (compacidade e irregularidade do traçado urbano) e o acréscimo no número total de ciclos para as cidades da amostra. Portanto, para intervenções voltadas para a renaturalização, as melhorias nas características de interconectividade da rede ecológica independem do tipo de traçado ou da conformação da mancha urbana no território.

O capítulo *simulação de cenários de futuro* permitiu verificar a eficácia da metodologia utilizada no estudo exploratório. Através da análise das simulações com intervenções hipotéticas foi possível observar que os cenários com critérios baseados nas medidas de acessibilidade e centralidade resultaram em menor impacto sobre a integração do espaço urbano, ao mesmo tempo em que não prejudicaram a conectividade da rede ecológica. Também foi possível observar que cidades com traçado mais regular tendem a sofrer maior impacto negativo sobre a integração urbana, com relação à medida de acessibilidade espacial. Com relação à medida de centralidade espacial, os resultados indicam que quanto mais irregular o traçado das cidades maior a tendência de um sistema mais hierarquizado.

A utilização da centralidade como critério de intervenção para manutenção dos eixos no cenário 4 contribuiu na redução das desigualdades tanto para a distribuição da acessibilidade quanto da centralidade, ainda que para a medida de acessibilidade os cenários sem adoção de critérios baseados nas medidas de diferenciação espacial tenham revelado maior redução das diferenças entre valores máximos e mínimos, o que reflete maior redução das desigualdades internas na distribuição espacial das cidades. O cenário 1, com interrupções nos eixos a cada 600m e sem juízo de valores relacionado às medidas de diferenciação espacial, foi o que apresentou maior impacto negativo sobre o espaço urbano quando comparado a todos os demais cenários simulados, o que pode ser relacionado à maior interrupção das vias que cortam os corredores naturais do espaço urbano.

O aprimoramento da conectividade da rede ecológica foi comprovado através da análise de impacto sobre o ambiente natural por meio do número de ciclos e acessibilidade da mancha, uma vez que todas as simulações efetuadas resultaram em aumento na acessibilidade média e no número de ciclos da rede ecológica para as cidades da amostra. Não foi possível relacionar tanto os percentuais de aumento da acessibilidade média da rede ecológica quanto os ganhos do número de ciclos com as características da forma urbana, nível de irregularidade do traçado e grau de dispersão urbana. Isto indica que projetos de renaturalização não favorecem mais um tipo de forma urbana em relação a outro.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compreensão da cidade como um ecossistema urbano híbrido, o qual associa a sociedade e o ambiente, amplia a visão de planejamento e faz com que as questões de preservação e recuperação ambiental estejam entre as prioridades para a concepção de cidades mais sustentáveis. A renaturalização de áreas urbanas ambientalmente degradadas representa uma alternativa inovadora em projetos de intervenção urbana, possibilitando aprimorar a conectividade espacial do ambiente natural intraurbano.

Ao mesmo tempo em que as intervenções sobre o espaço urbano procuram aprimorar a conectividade do ambiente natural em busca de maior qualidade para o ecossistema, podem acabar produzindo alterações na estrutura configuracional urbana, as quais tendem a reduzir a integração dos espaços, elevando a segregação espacial. Estas consequências negativas decorrentes de intervenções de renaturalização foram analisadas no presente estudo, através da comparação entre o cenário atual e diferentes cenários simulados, confirmando o pressuposto inicial de que a estrutura espacial urbana é impactada por projetos de renaturalização.

### **7.1. A metodologia adotada e o alcance dos objetivos propostos**

A metodologia adotada foi considerada adequada, pois permitiu a análise do ambiente natural e do espaço urbano concomitantemente, procurando identificar a influência de um sobre o outro e vice-versa. Contudo, não foi possível identificar um software que permitisse a representação e avaliação integrada em um único processo, o que possibilitaria a percepção mútua de intervenções tanto no espaço urbano quanto no ambiente natural.

Os critérios e medidas de análise baseados na integração/segregação espacial utilizados foram determinados com o objetivo de avaliar o impacto das intervenções voltadas à renaturalização na configuração espacial urbana. Esta abordagem une duas das principais preocupações da cidade atual: a segregação espacial e a preservação ambiental. É importante destacar que os resultados obtidos estão ligados à forma de representação do espaço urbano,

por linhas axiais, e que a utilização de outra forma de simplificação do espaço poderá gerar diferentes resultados.

Algumas dificuldades foram encontradas no decorrer do estudo, como a representação e visualização das alterações efetuadas no sistema urbano e a necessidade de utilização de diversos programas para a elaboração dos mapas e alterações no tecido urbano. O aprimoramento desta ferramenta de simulação poderia facilitar a agilidade do processo e melhorar compreensão das intervenções simuladas. Além disso, o tamanho reduzido da amostra, determinada em função do tempo do estudo, não permite conclusões definitivas a cerca dos resultados obtidos, impossibilitando a confirmação de algumas correlações identificadas.

Como ponto positivo da metodologia utilizada é possível destacar a facilidade na coleta de dados para elaboração dos mapas do sistema urbano e da rede ecológica, em especial as imagens de satélite disponíveis no Google Earth e dados de cotas de nível fornecidas pelo USGS. Ainda como vantagem está a agilidade no cálculo e avaliação dos resultados, o que representa maior rapidez na análise das propostas e na tomada de decisão durante o processo de planejamento.

## **7.2. A forma urbana e o comportamento da rede urbana e ecológica**

De acordo com os resultados observados no estudo, é possível supor que a forma urbana – descrita a partir da irregularidade de seu traçado e nível de compacidade da matriz urbana – exerce influência sobre a integração espacial urbana, como foi demonstrado através das análises de relações entre a forma urbana e o comportamento da rede urbana, por meio das medidas de acessibilidade e da centralidade espacial. Entre as características da forma urbana estudadas, o nível de regularidade do traçado das cidades é a que apresentou maior influência sobre a integração do espaço urbano quando relacionado às medidas de acessibilidade e centralidade espacial. Foi observado que quanto mais regular o traçado urbano, maior a tendência de aumento nos valores da média de acessibilidade, ou seja, cidades com traçado mais regular apresentariam um sistema urbano com maior acessibilidade quando comparadas às cidades com traçado mais irregular. Ao mesmo tempo, quanto mais regular o traçado menor a hierarquização da centralidade do sistema urbano, ou seja, cidades com traçado mais irregular apresentariam uma distribuição mais hierarquizada da centralidade dentro do espaço urbano. Com relação ao índice de compacidade da forma urbana, não foi identificada uma relação estatisticamente significativa entre esta característica e o comportamento do sistema urbano, sob o ponto de vista da acessibilidade espacial. Contudo,

foi identificada uma linha de tendência a qual indica que menores índices de compacidade urbana estão associados a maiores médias de acessibilidade, sendo possível supor que o tamanho reduzido da amostra analisada impede uma análise estatística mais adequada.

A análise da acessibilidade da mancha do cenário atual da rede ecológica das cidades em relação às características da forma do espaço urbano não apontou correlação entre as variáveis, contudo permitiu perceber que existe uma tendência de associação entre a acessibilidade da rede ecológica e o índice de compacidade da malha urbana. De forma que quanto mais compacta a forma da cidade, maior a tendência de valores mais baixos para a acessibilidade média dos espaços naturais intraurbanos. Já com relação à regularidade do traçado urbano não foi constatada nenhuma relação de influência entre seu nível de regularidade e a média de acessibilidade da rede ecológica. Também não foi identificada relação entre a forma urbana e o número de ciclos, o que indica que a qualificação dos espaços da rede ecológica, no que diz respeito a sua articulação e conectividade, não está diretamente relacionada com o índice de compacidade ou com o nível de regularidade da malha urbana.

### ***7.3. A forma urbana e o impacto da renaturalização na integração espacial e conectividade ambiental***

A relação entre a forma urbana, descrita por suas características de índice de compacidade e nível de irregularidade do traçado, e o grau de impacto dos projetos de renaturalização indica que quanto mais regular o tecido urbano, maior a possibilidade de impacto negativo sobre o sistema urbano, sob o ponto de vista das medidas de acessibilidade e centralidade espacial. Ou seja, cidades com traçados mais irregulares sofreriam menos impacto resultante de projetos de renaturalização quando comparadas as cidades com traçado mais regular.

Não foi confirmada a segunda hipótese de que cidades com forma mais compacta apresentam maior impacto sobre sua estrutura configuracional quando submetidas a projetos de renaturalização, uma vez que não foram encontradas relações entre o percentual do impacto negativo observado nas simulações e o índice de compacidade da malha urbana. Portanto, aparentemente, o grau de impacto observado no nível de segregação espacial está mais associado ao tipo de traçado urbano do que ao índice de compactação da matriz urbana.

A fim de identificar a possível relação entre os ganhos observados na conectividade do ambiente natural e as características da forma urbana, foram relacionados as variáveis irregularidade do traçado e compacidade da forma urbana com os percentuais de aumentos

nos valores de acessibilidade e o número de ciclos da rede ecológica. Contudo, não foi identificada correlação entre estes ganhos da rede ecológica e as características da forma urbana. Dessa forma não foi possível constatar se a forma urbana interfere no grau de aprimoramento da rede ecológica, quando submetida à projetos de renaturalização, ou seja, não é possível afirmar se algum tipo de forma urbana pode ser mais beneficiado por projetos de renaturalização em relação à outras conformações diferentes do território.

#### **7.4. A redução do impacto da renaturalização sobre a rede urbana**

Através dos testes efetuados neste estudo é possível perceber que as alterações advindas dos projetos de renaturalização sobre a estrutura urbana representam pequenos percentuais de perdas para a configuração espacial da cidade na escala global.

Com relação aos cenários elaborados para o espaço urbano, as simulações que utilizaram como critérios as medidas de diferenciação espacial acessibilidade e centralidade para a manutenção dos eixos nas intervenções na malha urbana (cenários 3 e 4, respectivamente) apresentaram resultados que indicam menores impactos na integração espacial. Isto vai ao encontro da primeira hipótese do estudo, onde propomos que é possível a redução dos efeitos negativos através da adoção de critérios de intervenção baseados na configuração espacial urbana. Esta observação indica que seria possível efetuar intervenções urbanas as quais busquem a conectividade ambiental sem elevar significativamente as perdas na integração espacial da malha urbana.

Não foi possível identificar relação entre o critério utilizado para redução do impacto sobre o espaço urbano e as características da forma, tanto com relação ao índice de compacidade quanto ao nível de irregularidade do traçado urbano. Isto nos leva a observar que não é possível identificar qual o melhor critério de intervenção, a acessibilidade ou centralidade, levando em consideração apenas a forma urbana.

A análise do impacto sobre as desigualdades na distribuição espacial de acessibilidade permitiu perceber que todos os cenários apresentaram diminuição nas diferenças entre os valores extremos. As maiores reduções nas diferenças foram observadas nos cenários com manutenção de eixos a cada 600m e 1200m sem adoção de critérios relacionados a integração urbana. Nestes cenários as perdas nos valores de acessibilidade ocorreram de forma mais significativa nos pontos de maior acessibilidade da rede, enquanto os pontos com valores mais baixos sofreram pequenos percentuais de alteração, o que se reflete na redução das diferenças entre os valores máximos e mínimos dentro da malha urbana. Os cenários que utilizaram como critérios a manutenção dos eixos com valores mais elevados de acessibilidade e

centralidade, a fim de reduzir o impacto negativo de perda nos valores médios, apresentaram resultados que indicam menor redução da amplitude entre os valores máximos e mínimos, uma vez que não houve perdas significativas nos valores mais elevados, ao contrário do que ocorreu com os dois cenários onde não foram utilizados critérios para manutenção dos eixos.

### **7.5. O aumento dos ganhos da rede ecológica resultante da renaturalização**

A avaliação da configuração espacial da rede ecológica demonstrou os ganhos de conectividade da mesma em todos os cenários simulados, evidenciando que as intervenções voltadas a renaturalização espacial de fato contribuem para o aprimoramento da conectividade ambiental do espaço natural intraurbano, elevando a qualidade da rede ecológica.

Tanto do ponto de vista da acessibilidade da mancha quanto ao número de ciclos, os cenários com critérios baseados na acessibilidade e centralidade espacial apresentaram um bom desempenho quando comparados ao cenário atual e aos demais cenários simulados, indicando melhorias na acessibilidade e conectividade da rede ecológica. Este resultado indica que não é diretamente proporcional a relação entre perdas do sistema urbano e ganhos no ambiente natural, uma vez que os cenários nos quais foram utilizadas as medidas de acessibilidade e centralidade como critérios para manutenção dos eixos na malha urbana apresentaram menor impacto no espaço urbano e melhores ganhos no ambiente natural.

Portanto, é possível supor que quando submetemos a malha urbana a projetos de renaturalização a rede ecológica apresentará ganhos de qualidade no que se refere à conectividade do ambiente natural. Além disso, a utilização de critérios de intervenção urbana baseados em medidas de diferenciação espacial, neste caso acessibilidade e centralidade, voltados a reduzir o impacto sobre a configuração espacial da malha urbana, pode não resultar em perdas de qualidade da rede ecológica no que se refere à acessibilidade e o número de ciclos.

### **7.6. Desenvolvimento e continuidades**

Com base nas limitações observadas no desenvolvimento do estudo e nas possibilidades não abordadas podem ser destacados alguns caminhos para o desenvolvimento e continuidade da pesquisa:

a) Tamanho da amostra: a expansão do estudo para um número maior de cidades, variando o tamanho e/ou abrangendo regiões metropolitanas. Através da ampliação no tamanho da amostra e da inclusão de cidades de diferentes portes poderia possibilitar a

identificação de correlações não observadas e/ou a comprovação das suposições levantadas neste estudo, algumas das quais não atingiram os níveis de significância estatística.

b) Avanço no desenvolvimento de softwares que integrem o espaço urbano e ambiente natural: o desenvolvimento e evolução de softwares baseados em grafos, com o objetivo de integrar em uma única representação o espaço urbano e o ambiente natural, parece ser uma perspectiva interessante para um trabalho futuro, pois permitiria representar e avaliar de forma integrada a configuração espacial do espaço urbano e da rede ecológica, determinando em único modelo os dois aspectos e permitindo que alterações no espaço urbano fossem automaticamente refletidas no ambiente natural, e vice-versa.

c) Aperfeiçoamento na representação e visualização das transformações: o aprimoramento dos softwares utilizados poderia abranger, também, o melhoramento dos recursos voltados à visualização dos mapas e das intervenções propostas, para que seja possível compreender de forma mais simples e didática as transformações do espaço resultante das simulações propostas.

d) Avanços nas análises do grau de intervenção: desenvolver os estudos que relacionam grau de intervenção voltada a renaturalização urbana e a forma urbana, como, por exemplo, a variação do número de pontos de descontinuidade na malha urbana resultante da simulação em cidades com conformações espaciais distintas. Esta análise poderia permitir avaliar se intervenções que utilizem o mesmo critério de simulação exigiriam um maior ou menor número de pontos de intervenção em cidades com traçados mais regulares quando comparadas as cidades com traçados mais irregulares.

e) Avanços na análise do ambiente natural: avaliar a correlação entre a proporção das áreas verdes internas, em relação à área da matriz urbana, e a conectividade do ambiente natural das cidades. Ou seja, avaliar se cidades com uma maior proporção de áreas verdes internas em relação à sua área total possuem maior ou menor grau de conectividade da rede ecológica quando comparadas às cidades com menor proporção de áreas verdes internas.

Ainda que não apresente conclusões definitivas acerca das simulações elaboradas, o estudo apresenta um avanço na utilização de ferramentas eficientes para a análise dos sistemas urbanos e naturais concomitantemente, permitindo avaliar as influências mútuas entre os dois sistemas. Esta abordagem representa a possibilidade de englobar dois dos principais problemas da sociedade atual, a preocupação com a redução da degradação ambiental, refletida pela renaturalização urbana, e da segregação espacial, avaliada pelas medidas de diferenciação espacial.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERT, R.; BARABÁSI, A. Statistical mechanics of complex networks. **Reviews of Modern Physics**, Vol. 74, jan. 2002.
- ALBERTI, Marina. **Advances in Urban Ecology: Integrating Humans and Ecological Processes in Urban Ecosystems**. Washington, USA. Ed: Springer, 2008.
- ALBERTI, Marina; WADDELL, Paul. An integrated urban development and ecological simulation model. **Integrated Assessment 1**, p.215–227, 2000.
- BAFNA, Sonit. Space Syntax: A Brief Introduction to Its Logic and Analytical Techniques. **Environment and Behavior**, Vol. 35 No. 1, p.17-29, jan. 2003.
- BARROS, Mirian V. F.; SCOMPARIM, Akacia; KISHI, Celso S.; CAVIGLIONE, João H.; ARANTES, Márcia R. L.; NAKASHIMA, Sandra Y.; REIS, Teresinha E. S. Identificação das Ocupações Irregulares nos Fundos de Vale da Cidade de Londrina/PR por meio de Imagem Landsat 7. **Revista RA'E GA**, Curitiba, n. 7, p.47-54, 2003.
- BATTY, Michael. Distance in Space Syntax. **Centre for Advanced Spatial Analysis, University College, Working Papers Series**, Paper 80. Torrington Place, London, p.1-19, abr. 2004.
- BATTY, Michael. Model Cities. **Centre for Advanced Spatial Analysis, University College, Working Papers Series**, Paper 113, p.01-38, fev. 2007.
- BATTY, Michael. The New Theory of Space Syntax. **Centre for Advanced Spatial Analysis, University College, Working Papers Series**, Paper 75, p.01-36, mar. 2004.
- BATTY, Michael. The size, scale and shape of cities. **Science** Vol. 319, p.769- 771, fev. 2008.
- BATTY, Michael; TORRENS, Paul M. Modeling Complexity: the limits to prediction. **Centre for Advanced Spatial Analysis, University College, Working Papers Series**, Paper 36, p.01-37, out. 2001.
- BEATLEY, Timothy. Green Urbanism and the Lessons of European Cities. In: \_\_\_\_\_. **Green Urbanism: Learning from European Cities**. Washington, Island Press, p.3-42, 2000.
- BIERWAGEN, Britta G. Predicting ecological connectivity in urbanizing landscapes. **Environment and Planning B: Planning and Design**, vol. 32, p.763-776, 2005.

BROCANELI, Pérola Felipette. **O ressurgimento das águas na paisagem paulistana: fator fundamental para a cidade sustentável.** 2007 323 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BROCANELI, Pérola Felipette e STUERMER, Monica Machado. Renaturalização de rios e córregos no município de São Paulo. **Exacta**, São Paulo, v. 6, n. 1, p.147-156, jan./jun. 2008. Disponível em: <[http://portal.uninove.br/marketing/cope/pdfs\\_revistas/exacta/exactav6n1/exactav6n1\\_3n67.pdf](http://portal.uninove.br/marketing/cope/pdfs_revistas/exacta/exactav6n1/exactav6n1_3n67.pdf)> Acesso em: 22 set. 2010.

BURGESS, Rod. The Compact City Debate: A Global Perspective. In: JENKS, Mike; BURGESS, Rod. **Compact Cities: Sustainable Urban Forms for Developing Countries.** Taylor & Francis e-Library, p.9-24, 2000.

BUZAI, Gustavo D. **Mapas Sociales Urbanos.** Buenos Aires: Lugar Editorial, 2003.

CAMPBELL, Scott. Green Cities, Growing Cities, Just Cities? **Journal of the American Planning Association.** Urban and Regional Planning Program, Taubman College of Architecture and Urban Planning, University of Michigan, 1996. Disponível em: <http://www-personal.umich.edu/~sdcamp/Ecoeco/Greencities.html>

CHOAY, Françoise. **O Urbanismo, utopias e realidade, uma antologia.** Tradução de Dafene Nascimento. 5ª Edição. Perspectiva: São Paulo, 2003.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1999.

COOK, Edward A. Landscape structure indices for assessing urban ecological networks. **Landscape and Urban Planning**, nº58, p.269–280, 2002.

COSTA, Lucia M. S. A. Rios e Paisagens Urbanas em Cidades Brasileiras. Rio de Janeiro: Viana & Mosley: Ed. PROURB, 2006.

CRUCITTI, P.; LATORA; V.; PORTA, S. Centrality measures in spatial networks of urban streets. **Physics**, p.1-4, nov. 2005. Disponível em: <http://arxiv.org/pdf/physics/0504163>

DEL RIO, Vicente. **Introdução ao desenho urbano no processo de planejamento.** São Paulo: Pini, 1990.

ECHENIQUE, Marcial. **Modelos matemáticos de la estructura espacial urbana: aplicaciones en America Latina.** Buenos Aires: Ed. S.I.A.P. p.1-13, 1975.

EL-GENEIDY, Ahmed; LEVINSON, David. Mapping Accessibility Over Time. **Journal of Maps**, p.76-87, 2006. Disponível em: <http://www.journalofmaps.com>

ESPÍNOLA, Andréa M. **Configuração espacial e hierarquia urbana – rede de cidades no Paraná.** 2003. Dissertação de Mestrado. PROPUR – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FARIA, Ana Paula N. F. **Análise Configuracional da Ordem Simbólica: forma urbana e estruturação cognitiva.** 2010. Tese (Doutorado). PROPUR – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa**. 3 ed. Curitiba: Positivo, 2004.

FREEMAN, Linton C.; BORGATTI, Stephen; WHITE, Douglas R. Centrality in valued graphs: A measure of betweenness based on network flow. **Social Networks**, vol.13, North-Holland. p.141-154, 1991.

FORMAN, Richard T. **Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions**. Cambridge University Press, 1995.

FORMAN, Richard T. The urban region: natural systems in our place, our nourishment, our home range, our future. **Landscape Ecology**. p.251-253, mar. 2008.

FORMAN, Richard T. **Urban Regions: Ecology and Planning Beyond the City**. Cambridge University Press, 2008b.

FORMAN, Richard T.; GODRON, Michel. **Landscape Ecology**. New York, Jhon Wiley & Sons, Inc, 1986.

FRANÇA, Ademir. **Indicadores de Desempenho Espacial. Estudo de Caso: A Cidade de Curitiba-SC**. Dissertação de Mestrado. 2004. PROPUR – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GASTNER, M. T.; NEWMAN, M. E. J. The spatial structure of networks. **The European Physical Journal B**. Springer-Verlag, vol. 49, p.247-252, 2006.

GUALLART, Vicente. **GEO LOGICS. Geografía, Información, Arquitectura**. Ed. Actar, 2008.

GUIMARÃES, Pedro P. **Configuração Urbana. Evolução, avaliação, planejamento e urbanização**. ProLivros, 2004.

HILLIER, Bill. A Theory of the City as Object. **Proceedings 3rd International Space Syntax Symposium** Atlanta. p. 02.01-02.28, 2001.

HILLIER, Bill. **Space is the machine. A configurational theory of architecture**. Space Syntax, Londres, 2007.

HILLIER, Bill; HANSON, Julienne. **The Social Logic of Space**, Cambridge University Press, Cambridge, UK 1984.

HILLIER, Bill; VAUGHAN, Laura; MARCUS, Lars. The Spatial Syntax of Urban Segregation. **Progress in Planning**, vol. 67, 2007.

HILLIER, Bill. Natural movement: or configuration and attraction in urban pedestrian movement, **Environment and Planning B: Planning and Design**, 19, p. 29-66, 1993.

HOLANDA, Frederico de. Uma ponte para a Urbanidade. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**. Nº 5, mai. 2002.

JENKS, Mike; BURTON, Elizabeth; WILLIAMS, Katie. Compact Cities and Sustainability: An Introduction. In: \_\_\_\_\_ **The Compact City: A Sustainable Urban Form?** Oxford

Brookes University, Oxford, UK. Taylor & Francis e-Library, p.1-6, 2005.

JIANG, Bin. A topological pattern of urban street networks: Universality and peculiarity. **Physica A**, 384, p. 647–655, 2007.

JOHNSON, Steven. **Emergência: a vida integrada de formigas, cérebros, cidades, softwares**. Tradução de Maria C. P. Dias. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed. 231 p., 2003.

JOUTSINIEMI, Anssi. **Connectivity-Base Typology in Fragmenting Metropolitan area**. In: PETRUCCIOLI, Attilio; STELLA, Michele e STRAPPA, Giuseppe. The planned city? ISUF International Conference. Vol 1. Bari, Itália, 2003.

KLARQVIST, Björn. A Space Syntax Glossary. **NORDISK ARKITEKTURFORSKNING**, p. 11-12, 1993.

KRAFTA, Romulo. **Análise Espacial Urbana. Aplicações na região metropolitana de Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

KRAFTA, Romulo. Urban Convergence: Morphology and Attraction. **Environment and Planning B: Planning and Design**, volume 23, p. 37-48, 1996.

KRAFTA, Romulo. Modelling Intraurban configurational development. **Environment and Planning B: Planning and Design**, volume 21, p.67-82, 1994.

KRAFTA, Romulo. Numerópolis – Mapeamento do Desempenho Urbano. **Projeto de pesquisa – Sistemas Configuracionais urbanos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

KRAFTA, Romulo. Produção e consumo de cidade. **Seminário - Programa de Pós-Graduação em Ecologia da UFRGS**, abr. 2000.

KRAFTA, Romulo. Urban Configurational Complexity, Definition and measurement. **Proceedings**, Vol. I, Comparative Cities. Space Syntax First International Symposium, Londres, p. 05.1- 05.12, 1997.

KRUGER, Mário J. **Curso de Morfologia Urbana**. PROPUR, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.

KOBIYAMA, M. “Science is beautiful”: aplicação da hidrologia no gerenciamento de desastres naturais. In: **V Oficina Internacional sobre Enfoques Regionais para o Desenvolvimento e Gestão de Reservatórios na Bacia do Prata**. UNESCO/ICHARM/UNEP, Foz do Iguaçu, Anais, 2008.

KOBIYAMA, M. Ruralização na Gestão de Recursos Hídricos em Áreas Urbanas. **Revista OESP**, p. 112-117. set. 2000.

KOBIYAMA, M.; GENZ, F.; MENDIONDO, E.M. Geo-Bio-Hidrologia. In: **I Fórum Geo-Bio-Hidrologia: estudo em vertentes e microbacias hidrográficas** Curitiba: FUPEF, Anais, 1998. p.1-25.

KOBIYAMA, M.; MINELLA, J.P.G.; FABRIS, R. Áreas degradadas e sua recuperação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, p.10-17, 2001.

LATORA, V., MARCHIORI, M. Efficient behavior of small-world networks. **Physical Review Letters**, vol.87, n.19, nov. 2001. Disponível em: [http://www.w3.org/People/Massimo/papers/2001/efficiency\\_prl\\_01.pdf](http://www.w3.org/People/Massimo/papers/2001/efficiency_prl_01.pdf)

LEGIBY, Ann. Accessibility and Urban Life: Aspects on Social Segregation. **7<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium**. Ref. 064, p.1-11, 2009.

LEGIBY, Ann. Urban form and diversity: how does urban form influence accessibility in different neighbourhoods? **Future Urban Research in Europe**. Weimar, p.1-23. Nov. 2008.

LIU, Jianguo; TAYLOR, William W. Coupling landscape ecology with natural resource management: Paradigm shifts and new approaches. In: \_\_\_\_\_ **Integrating Landscape Ecology into Natural Resource Management**. Cambridge University Press, p. 1-19, 2004.

MARCH, Lionel. **Urban Space and Structures**. Cambridge University Press, 1972.

MARTIGNONI, Jimena. Lan&ScapeSeries: **Latinscapes. El paisaje como materia prima**. Barcelona: Ed.Gustavo Gili, 2008.

MEDEIROS, Valério A. S. de. **Urbis Brasiliae ou sobre cidades do Brasil: inserindo assentamentos urbanos do país em investigações configuracionais comparativas**. Tese (Doutorado), 2006. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília.

MONTGOMERY, John. **Making a city: Urbanity, vitality and urban design**. Journal of Urban Design. Vol 3. Academic Search Premier, 1998.

MULLER, G.U.; KOLL, K. River re-naturalization: historic and anthropogenic constraints, ecosystems and their interaction. In: **Proceedings of the 5th International Symposium on Ecohydraulics**, Madrid, Spain p.12-17, set. 2004.

PERES, R. B.; MENDIONDO, E. M. Desenvolvimento de Cenários de Recuperação como Instrumento ao Planejamento Ambiental e Urbano - Bases Conceituais e Experiências Práticas In. **Seminário NEUR/CEAM, 2004**, Brasília, DF A questão Ambiental e Urbana: Experiências e Perspectivas, Brasília NEUR/CEAM, UnB, 2004.

PERLMAN, Dan L.; MILDNER, Jeffrey C. Introduction. The Ecology of Landscapes. In: \_\_\_\_\_ **Practical Ecology for Planners, Developers, and citizens**. Lincoln Institute of Land Policy. Ed: Island Press. Washington, EUA, p.1-5, 93-128, 2004.

PESCI, Rubén. **Ambitectura. Hacia um tratado de arquitectura, ciudad y ambiente**. Argentina, 2007.

PESCI, Rubén. **Del Titanic al Veleiro. La vida como proyecto**. Argentina, 2000.

POLIDORI, Mauricio; KRAFTA, Romulo. Crescimento Urbano - Fragmentação e Sustentabilidade. **Anais X Encontro Nacional da ANPUR**. Belo Horizonte: ANPUR, 2003.

POLIDORI, Mauricio C.; POLIDORI, Maria C. L. Centralidade, Exclusão e o Caso de Matinhos, PR, Brasil. **PLURIS**, 2008.

PORTUGALI, Juval. **The Construction of Cognitive Maps: and introduction**. Kluwer Academic Publishers. Netherlands, p. 1-7, 1996.

SÁNCHEZ, Darío C. Teoría de grafos aplicada a redes naturales y antrópicas. In: MATTEUCCI, Silvia Diana; BUZAI, Gustavo D. **Sistemas ambientales complejos: herramientas de análisis espacial**. Buenos Aires: Editorial Universitaria de Buenos Aires. p.321-334, 1998.

SÁNCHEZ, Luis E. **Avaliação de Impacto ambiental. Conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SANTOS, Rozely F. **Planejamento Ambiental. Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SABOYA, Renato T. de. **Centralidade Espacial: uma nova operacionalização do modelo baseada em um sistema de informações geográficas**. 2001. Dissertação de Mestrado. PROPUR – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

SABOYA, Renato T. de. Segregação Espacial Urbana. **Urbanidades**. Mai, 2009. Disponível em: <http://urbanidades.arq.br/2009/05/segregacao-espacial-urbana/>

SEGAL, Rafi; VERBAKEL, Els. Urbanism Without Density. **Architectural Design - Cities of Dispersal**. Vol. 78 N. 1 p.6-12, jan– fev, 2008.

ZECHLINSKI, Ana Paula Polidori. **Mapeamento da Ordem Simbólica Urbana**. 2008. Dissertação de Mestrado. PROPUR – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

## Fontes de dados

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Disponível em: <<http://www.usgs.gov/>> Acesso em: 15dez. 2010.

THE WORLD BANK. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/>> Acesso em: 08 ago. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>

MAPAS DE LINHAS AXIAIS de Yone Belinda Maha, Marcus Saraiva e Valério Medeiros.

## Programas utilizados para a construção dos mapas

GOOGLE. GOOGLE Earth Pro. Disponível em: <[earth.google.com](http://earth.google.com)> Acesso em: 10 out. 2010.

ESRI INC. **ArcGIS 9.3 ArcMap**, 2008.

COREL CORPORATION. **CorelDRAW X5**. Versão 15.0, 2010.

### **Programas utilizados para análise dos dados**

ORIGIN LAB CORPORATION. **ORIGIN Lab**. Version 8E. 2009.

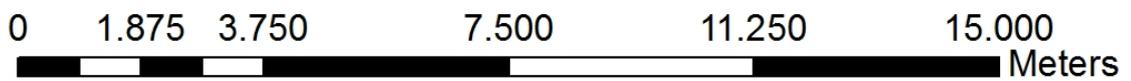
POLAS ENGINEERING AND CONSULTING. **SPSS Statistics**. Release 17.0. 2008.

FARIA, A. P. N., KRAFTA, R., POLIDORI, M. C., RODRIGUES, C. L., GRANERO, J. *Morphometrics*. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

POLIDORI, Maurício C.; KRAFTA, Romulo; GRANERO, Juliano. **Software Medidas Urbanas®**. FAPERGS. Pelotas: UFPel, 2001.

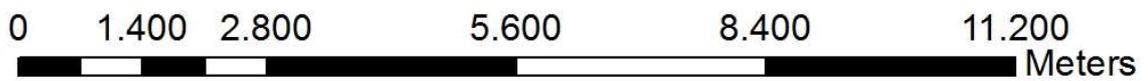
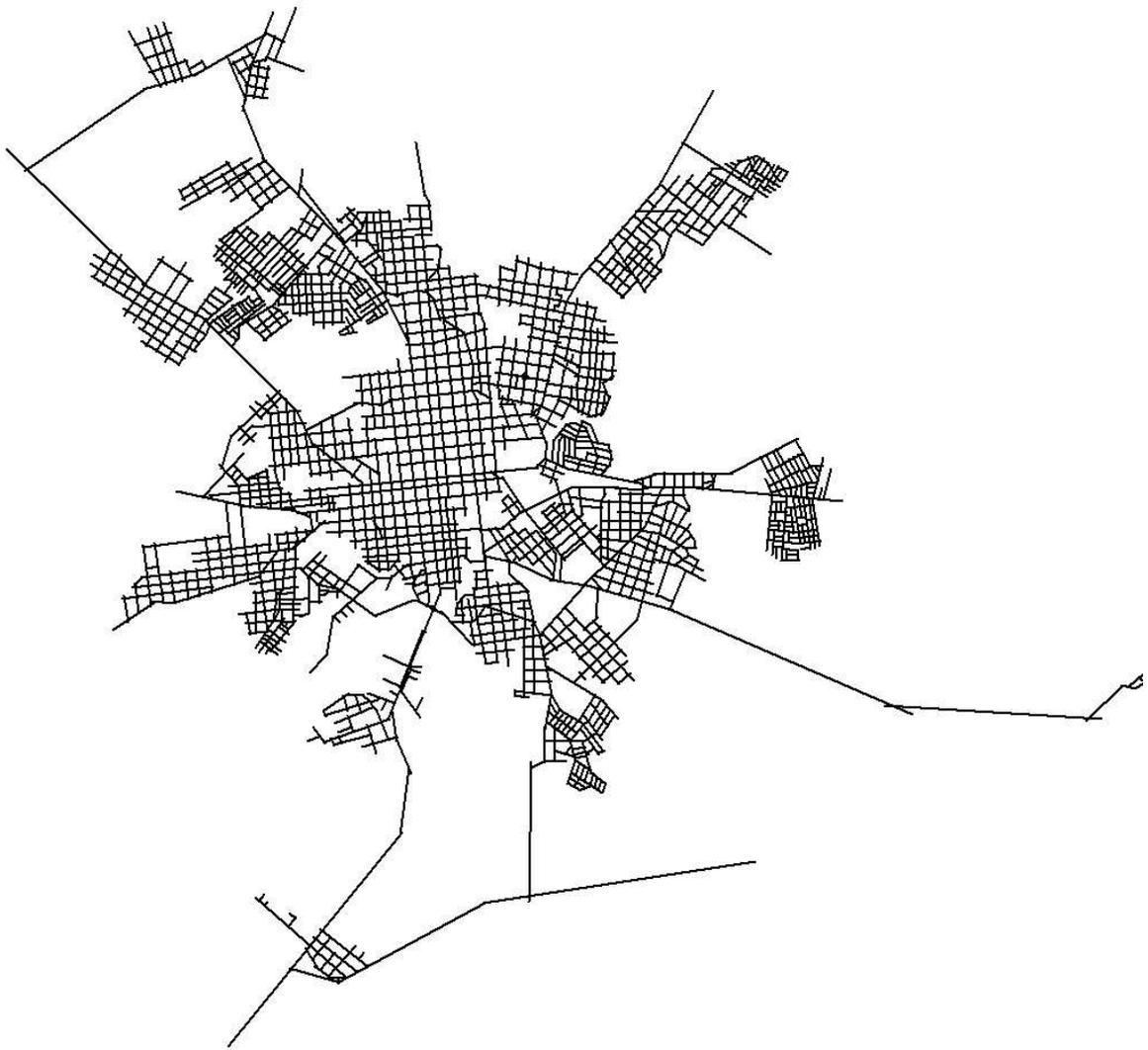
## ANEXO I

# Eixos Anápolis - GO



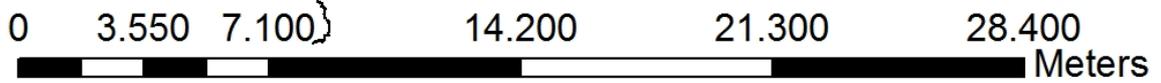
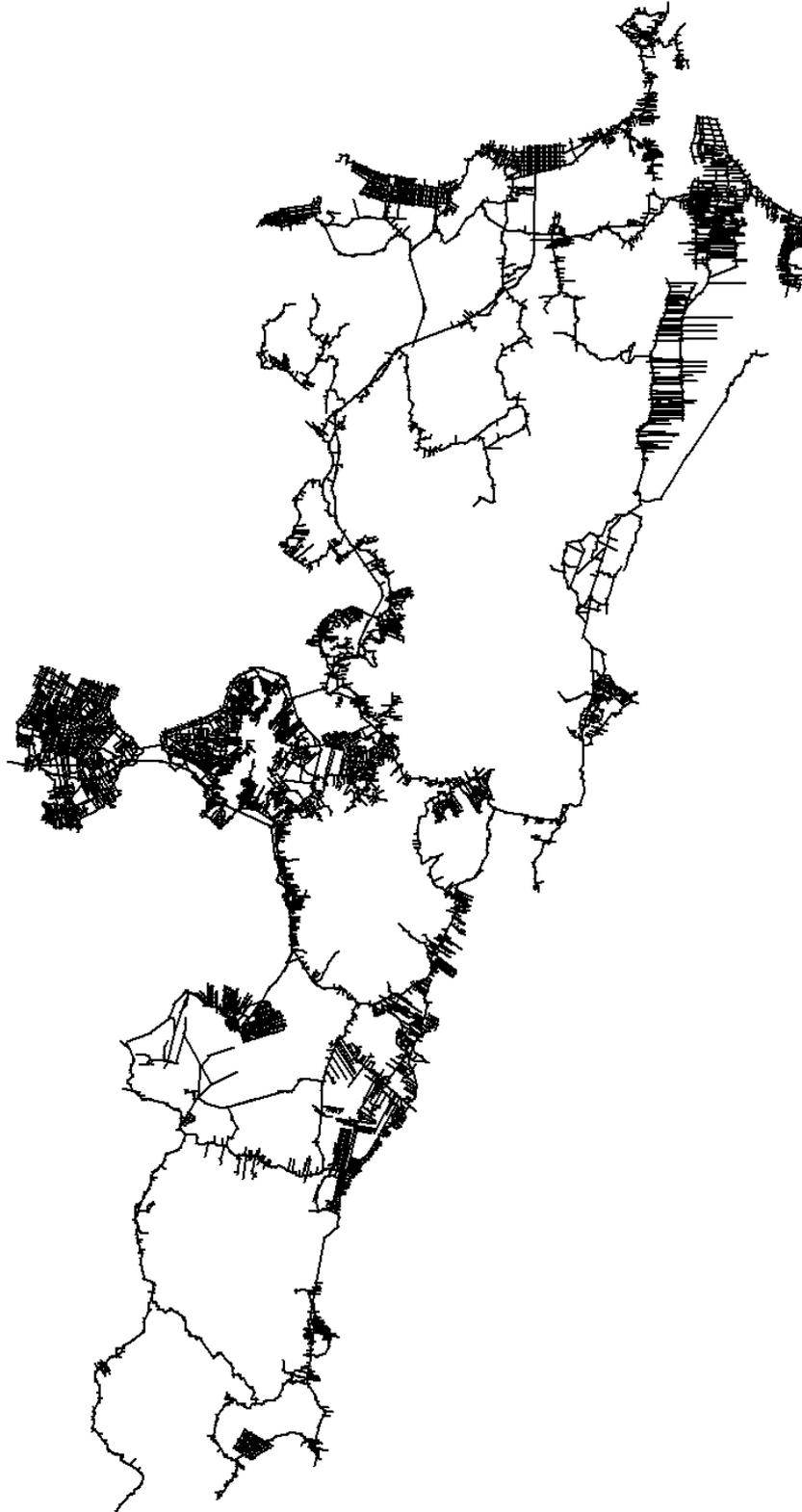
Crédito do mapa axial - Yvone belinda Maha

### Eixos Bagé - RS



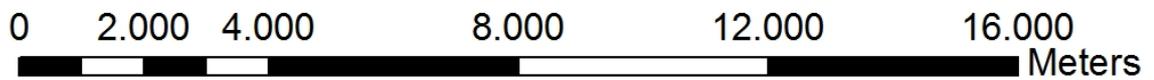
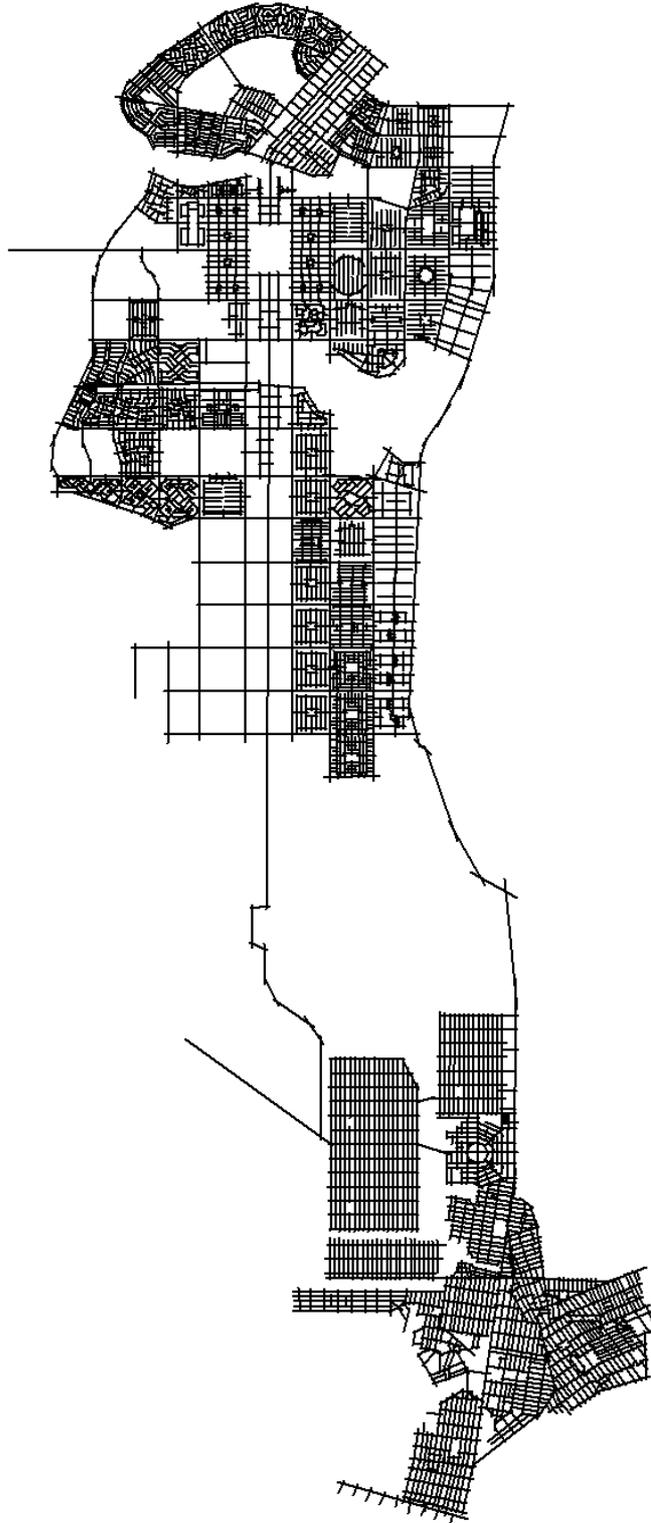
Crédito do mapa axial - Marcus Saraiva

# Eixos Florianópolis - SC



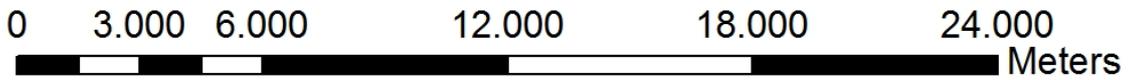
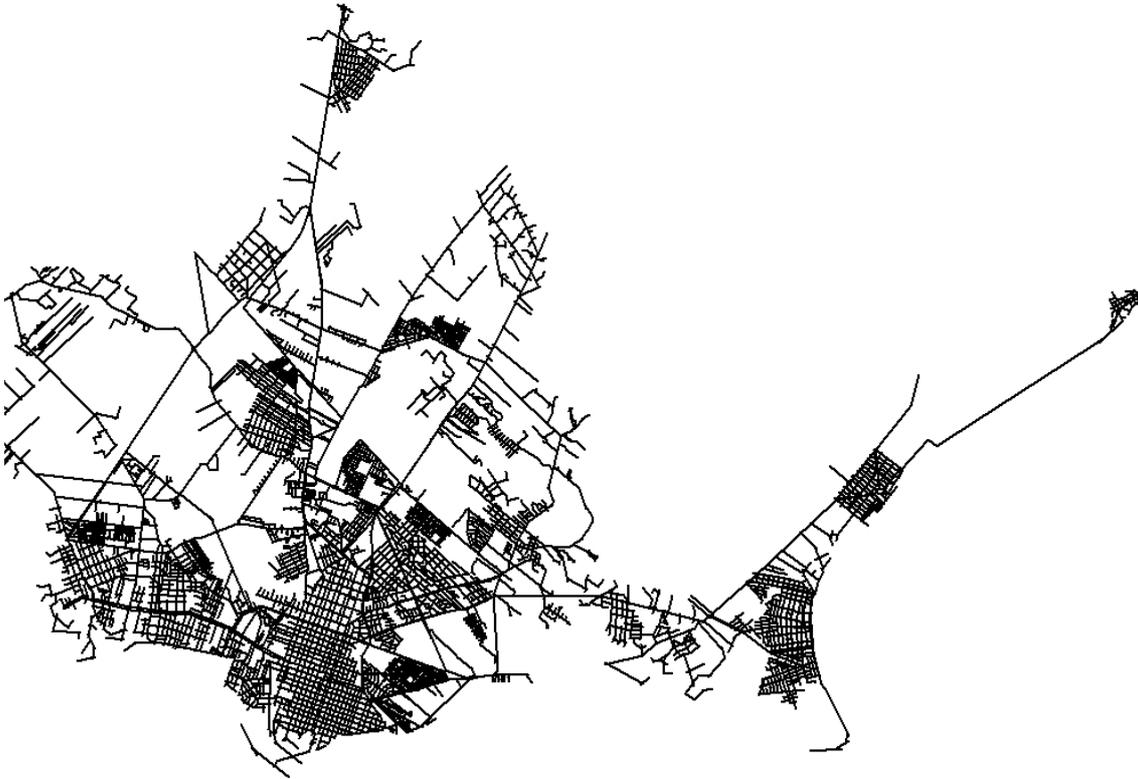
Crédito do mapa axial - Valério Medeiros

# Eixos Palmas - TO



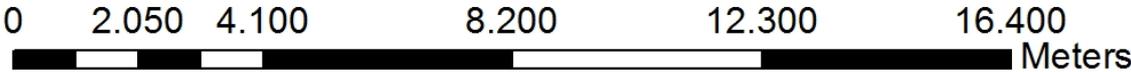
Crédito do mapa axial - Valério Medeiros

# Eixos Pelotas - RS



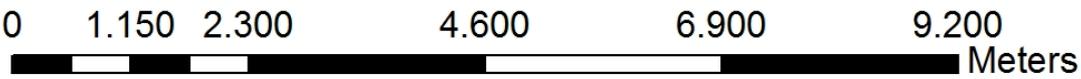
Crédito do mapa axial - Juliana Gadre Silva (com adaptações)

# Eixos Porto velho - RO



Crédito do mapa axial - Valério Medeiros

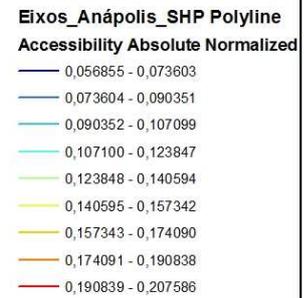
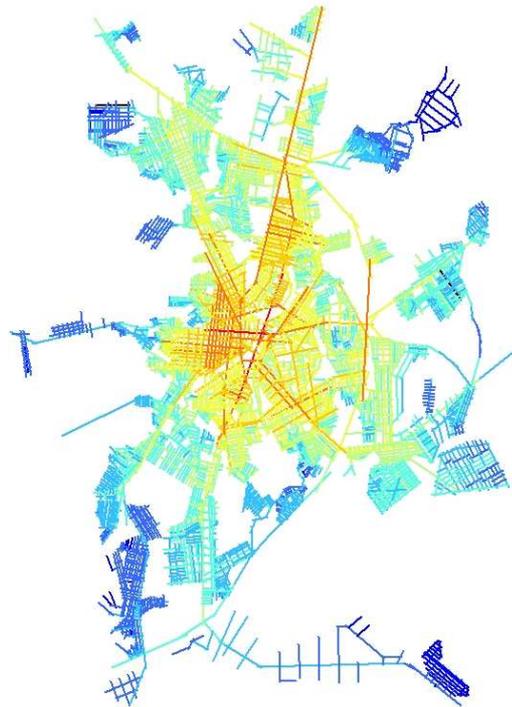
# Eixos Vitória - ES



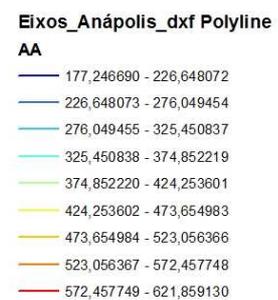
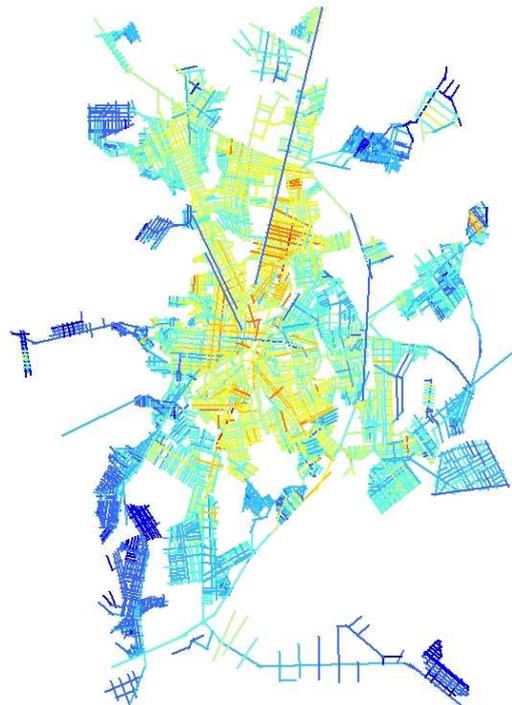
Crédito do mapa axial - DIMPU/UnB (com adaptações de Valéri Medeiros)

## **ANEXO II**

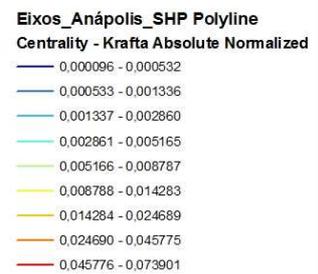
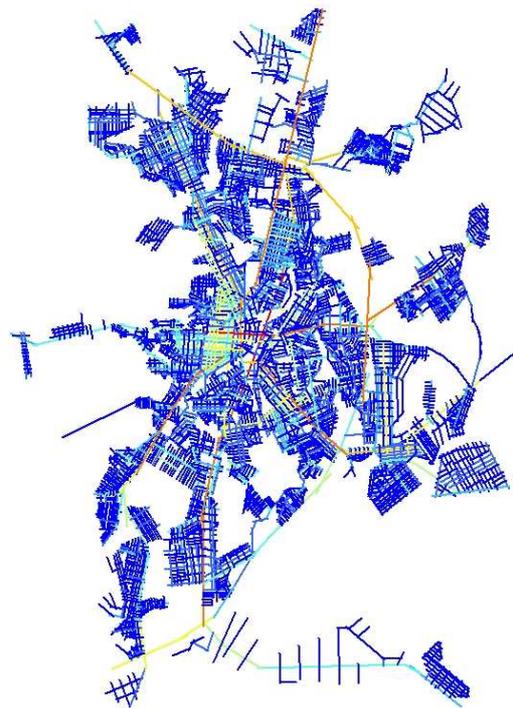
### Acessibilidade - Anápolis Cenário Atual



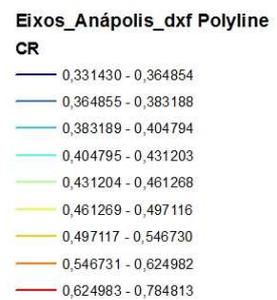
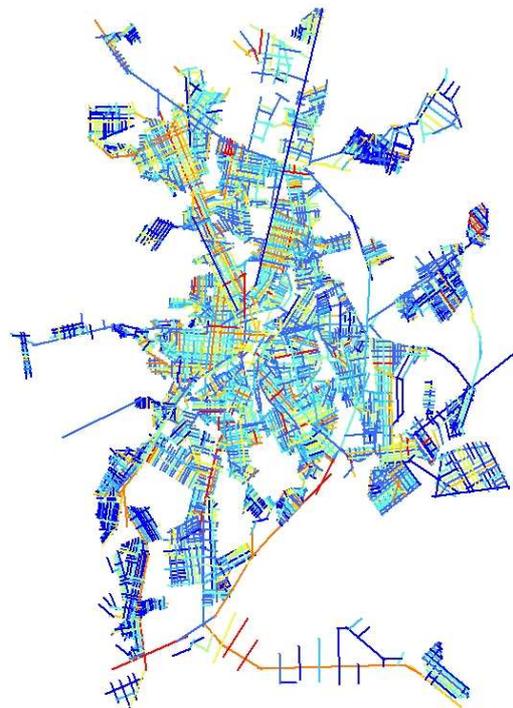
### Acessibilidade - Anápolis Cenário4

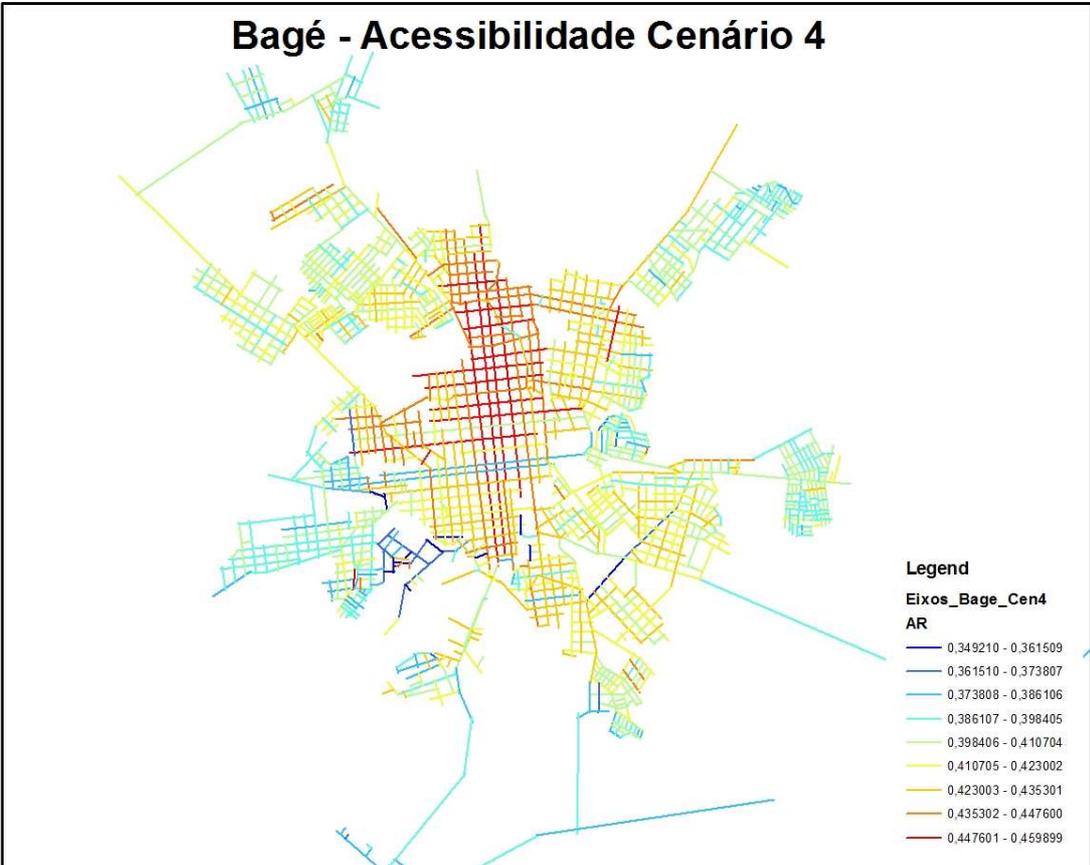
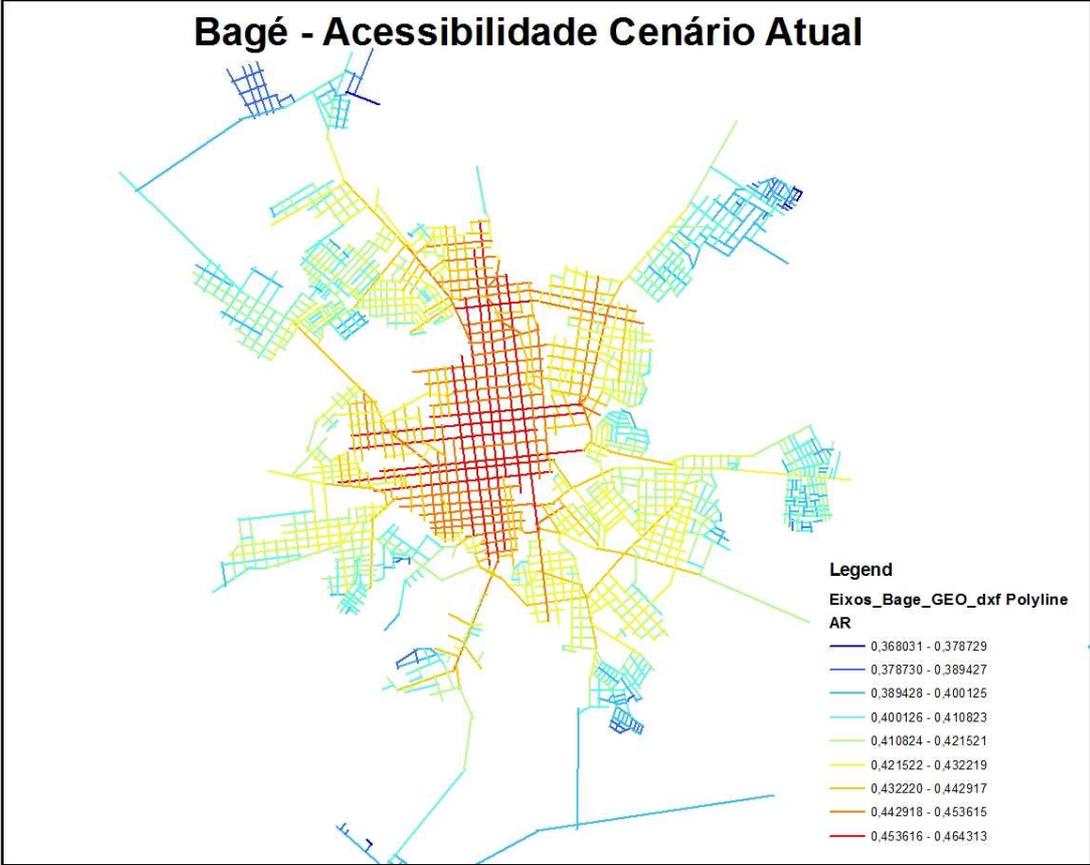


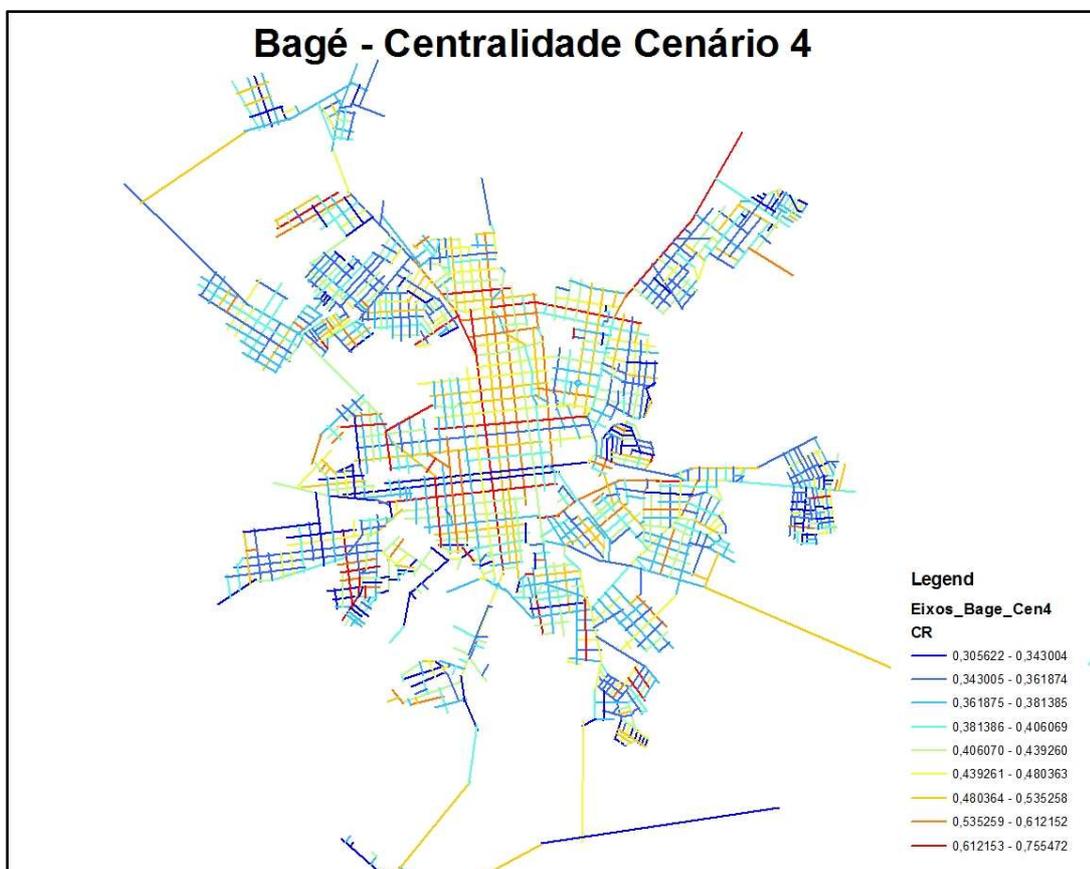
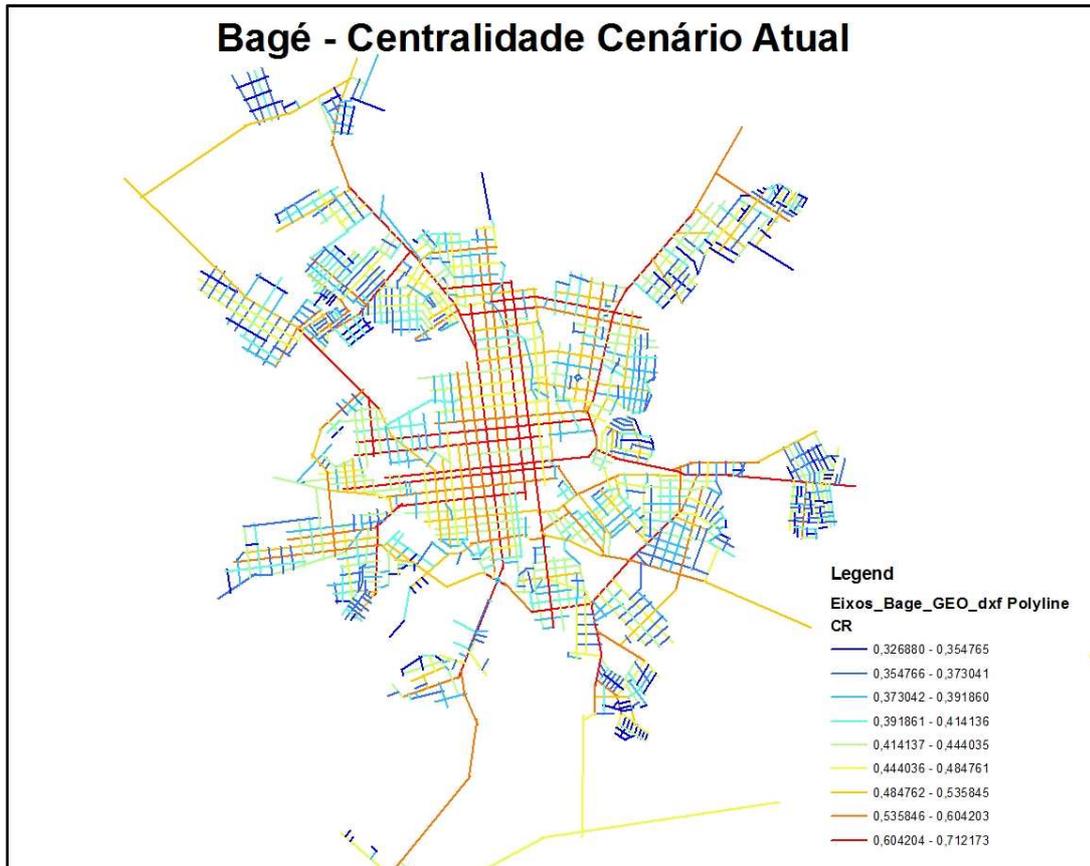
### Centralidade - Anápolis Cenário Atual



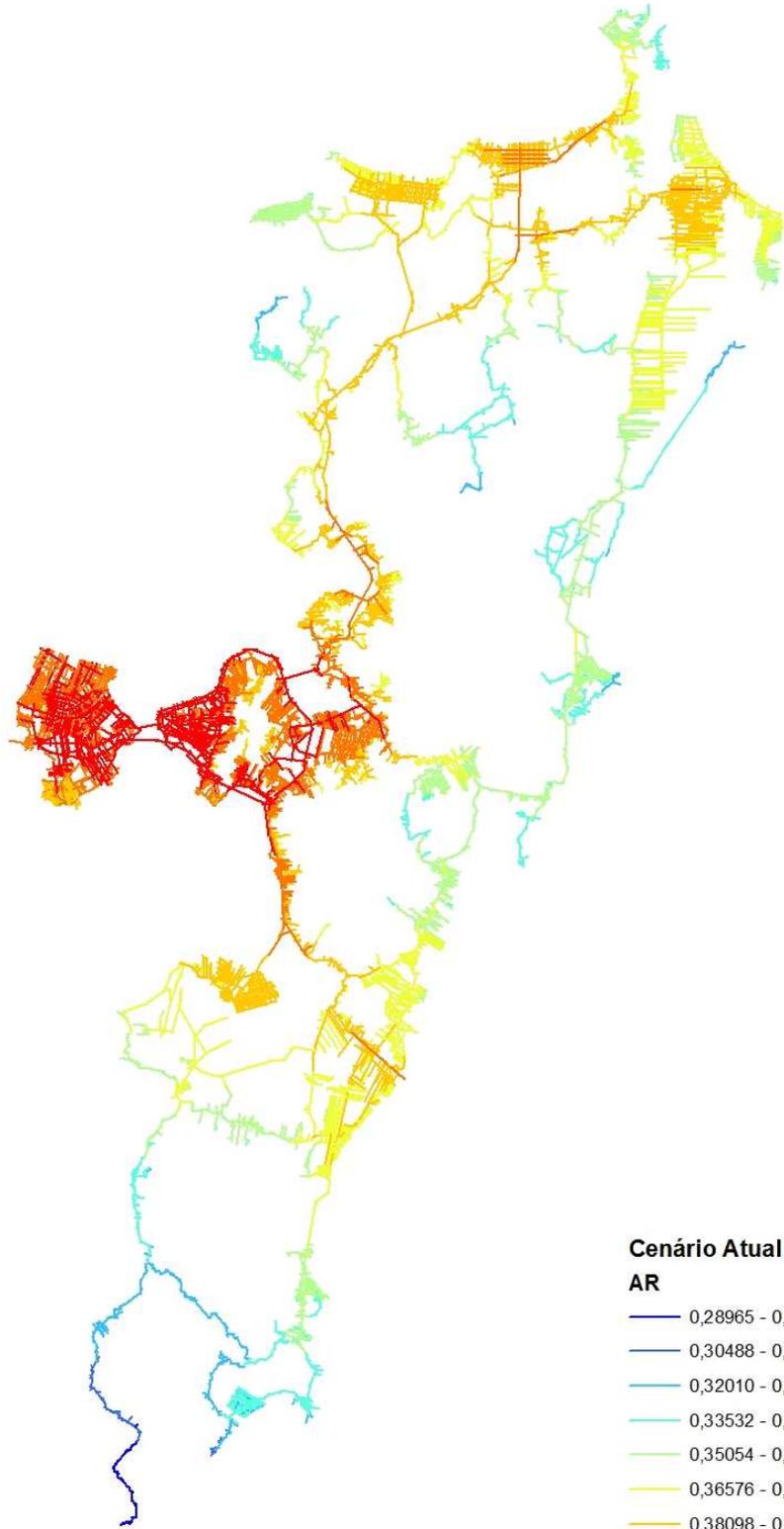
### Centralidade - Anápolis Cenário4







## Florianópolis - Acessibilidade Cenário Atual

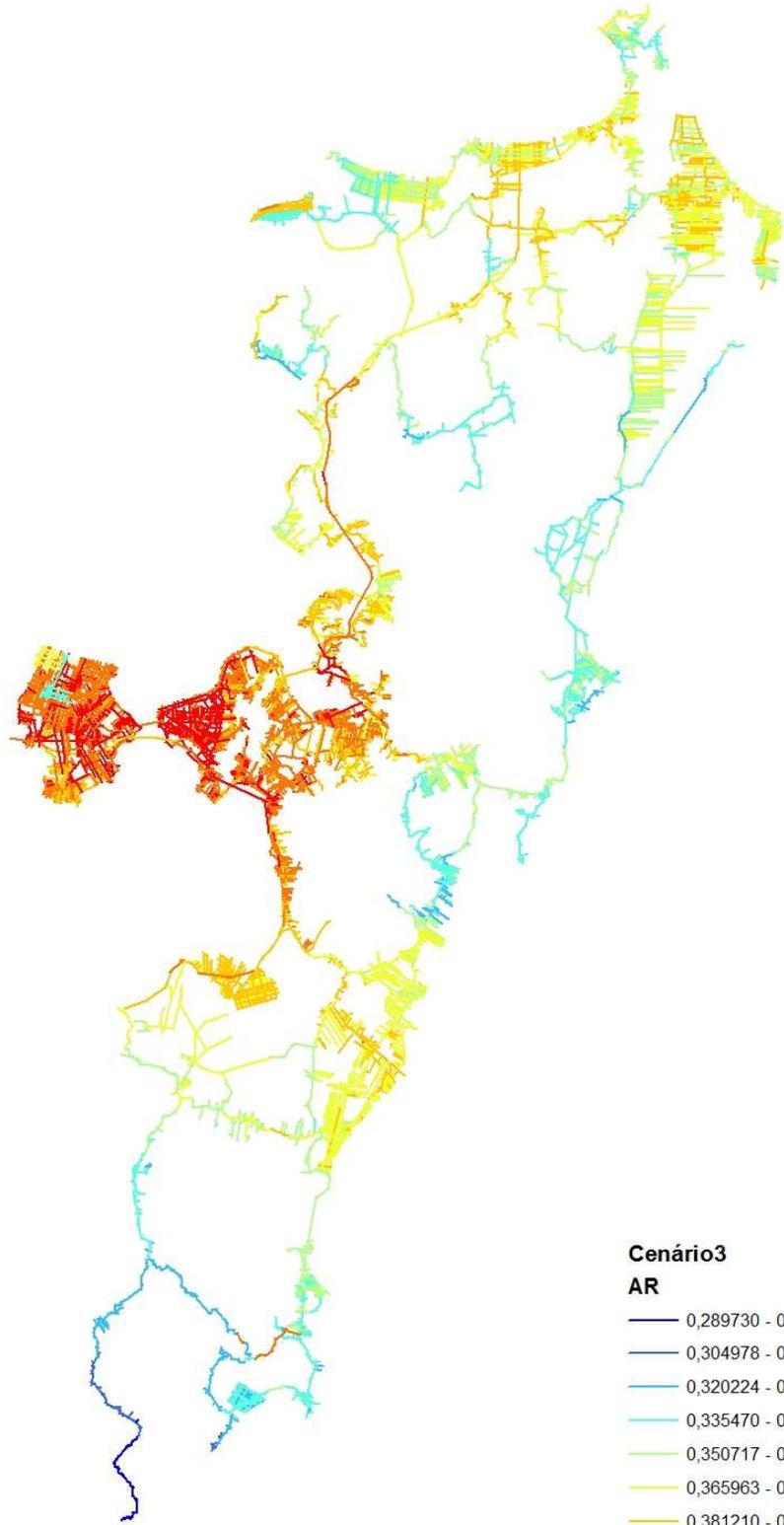


### Cenário Atual

AR

- 0,28965 - 0,30487
- 0,30488 - 0,32009
- 0,32010 - 0,33531
- 0,33532 - 0,35053
- 0,35054 - 0,36575
- 0,36576 - 0,38097
- 0,38098 - 0,39619
- 0,39620 - 0,41141
- 0,41142 - 0,42663

### Florianópolis - Acessibilidade Cenário 3

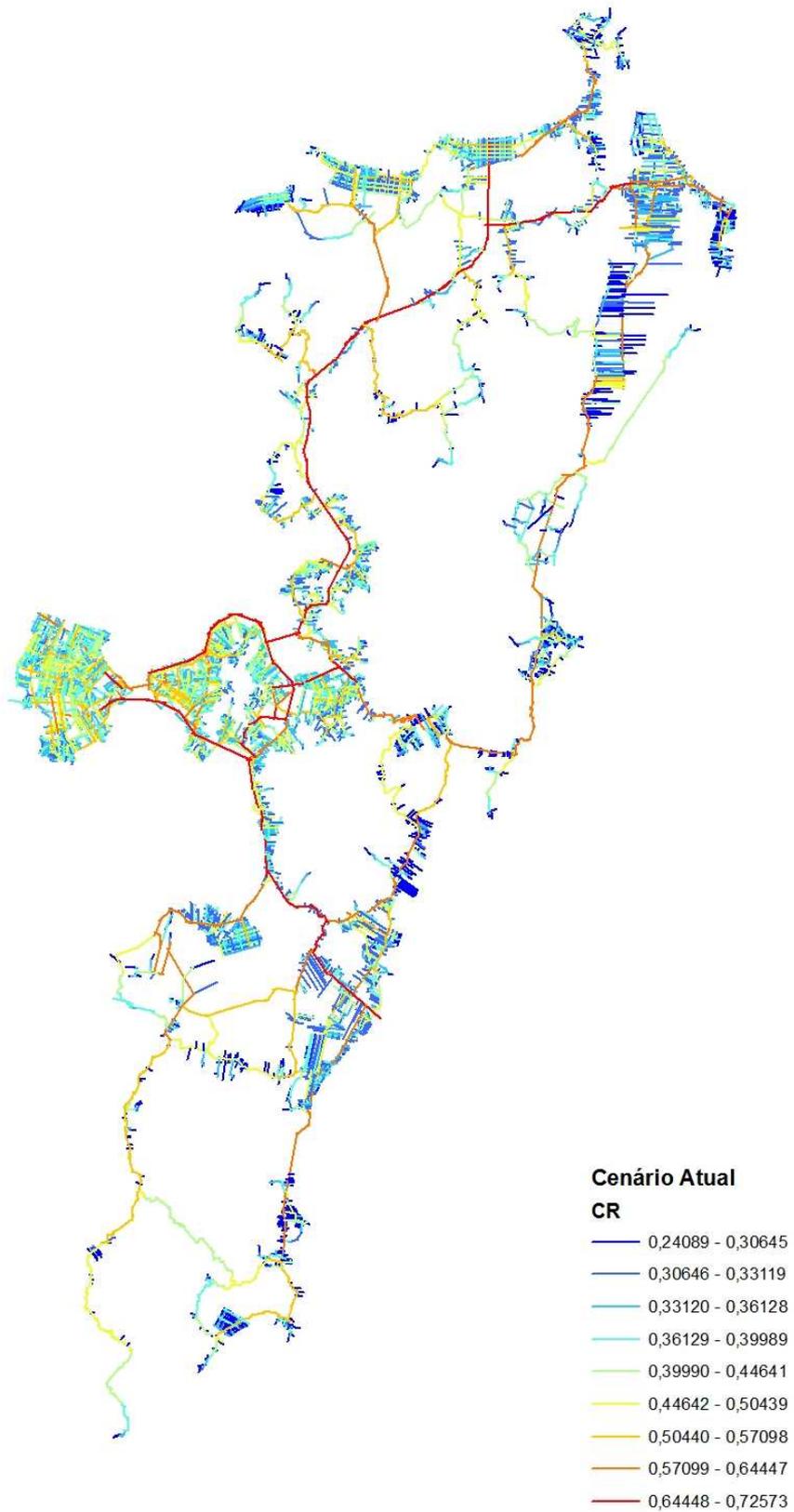


**Cenário3**

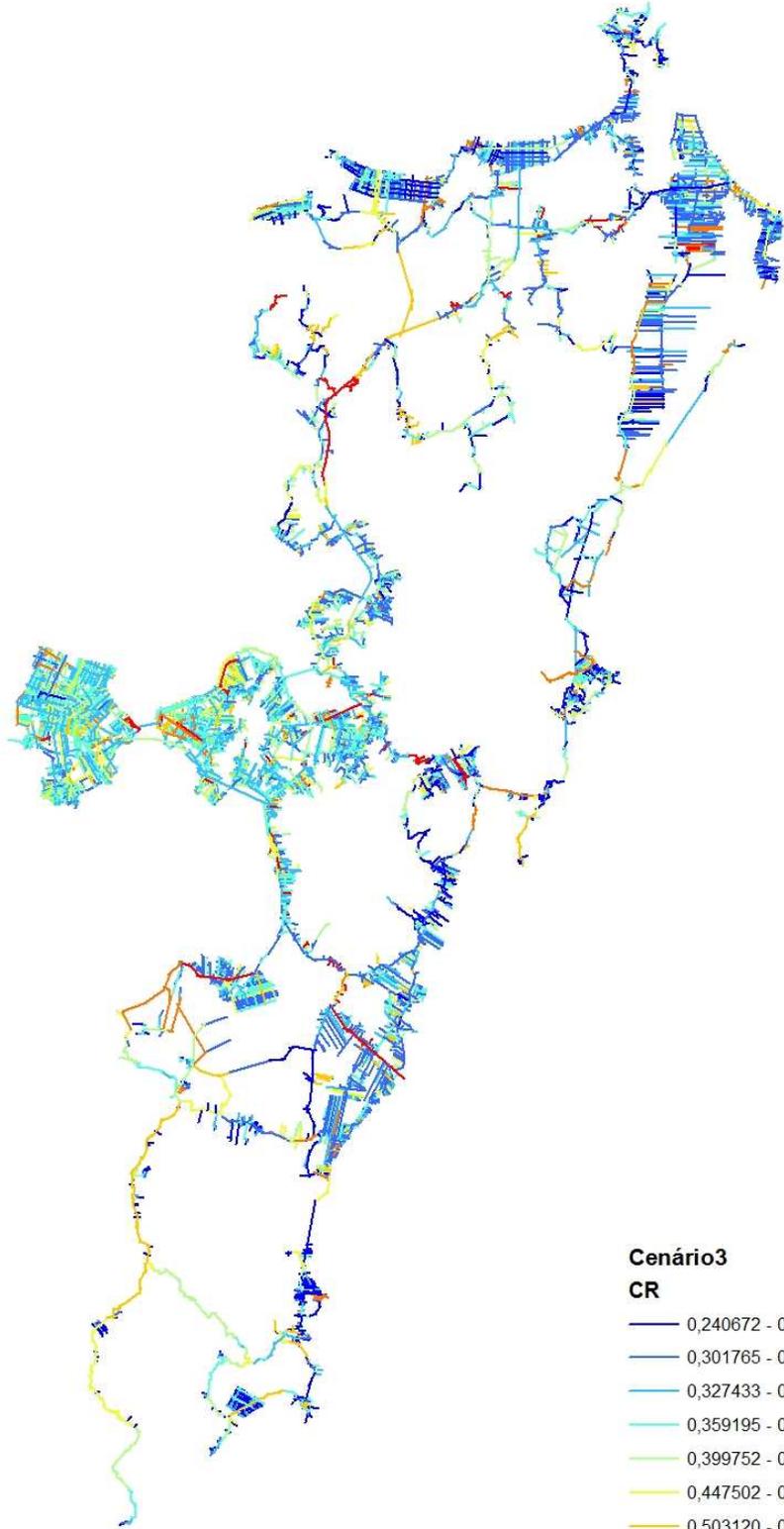
**AR**

- 0,289730 - 0,304977
- 0,304978 - 0,320223
- 0,320224 - 0,335469
- 0,335470 - 0,350716
- 0,350717 - 0,365962
- 0,365963 - 0,381209
- 0,381210 - 0,396455
- 0,396456 - 0,411702
- 0,411703 - 0,426948

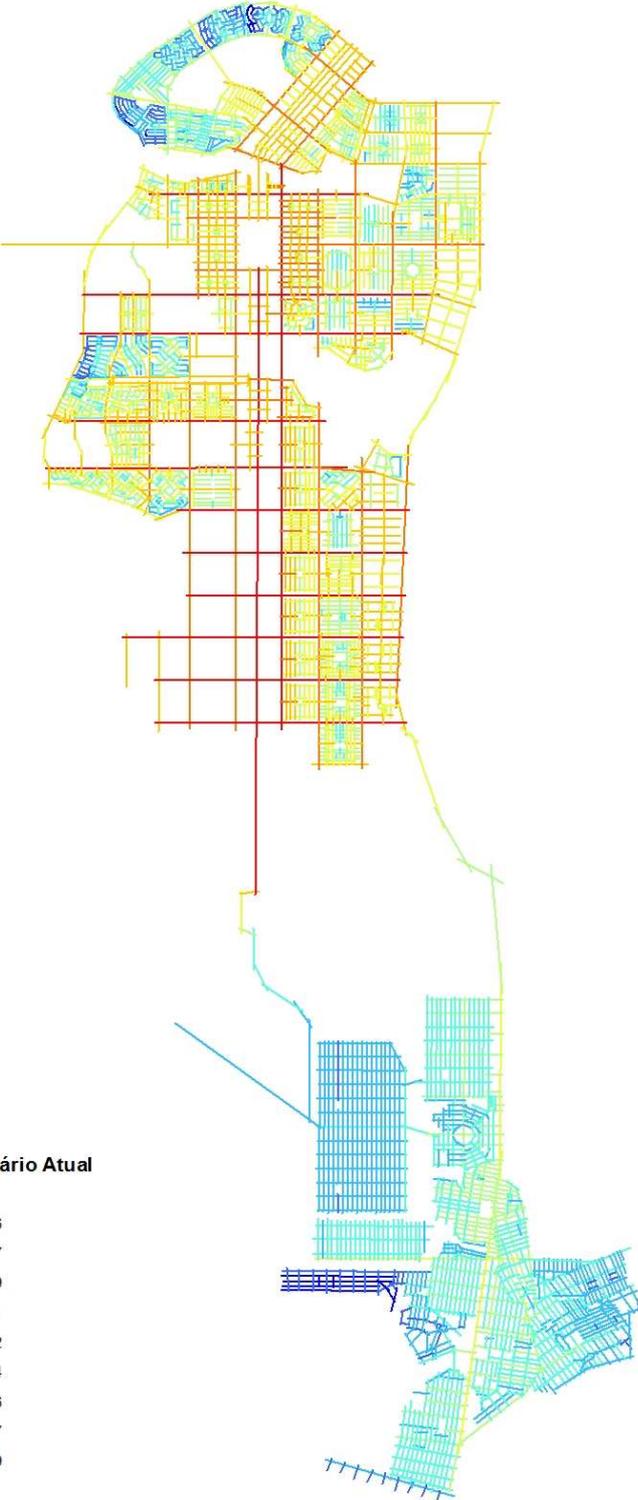
## Florianópolis - Centralidade Cenário Atual



### Florianópolis - Centralidade Cenário 3

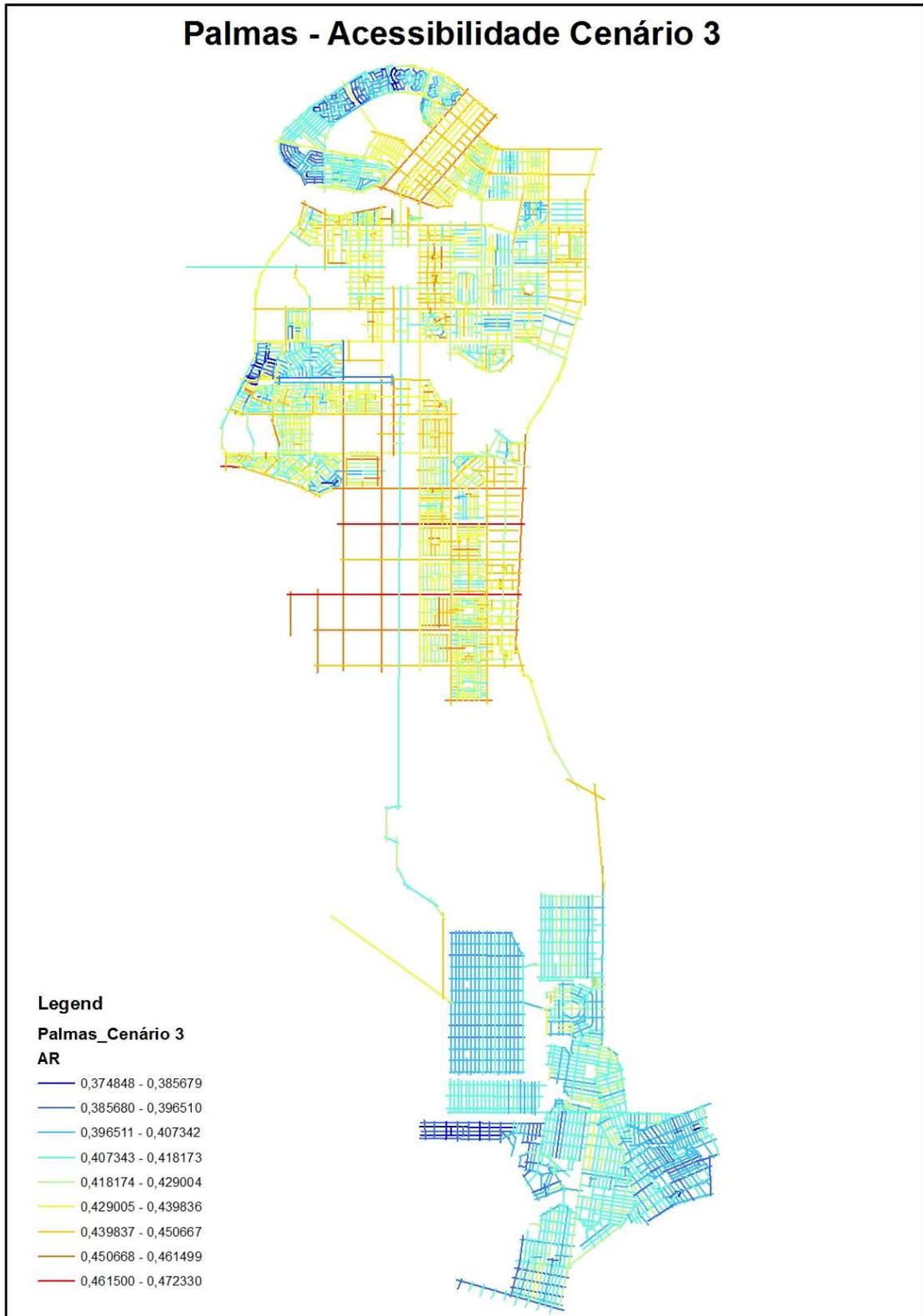


### Palmas - Acessibilidade Cenário Atual

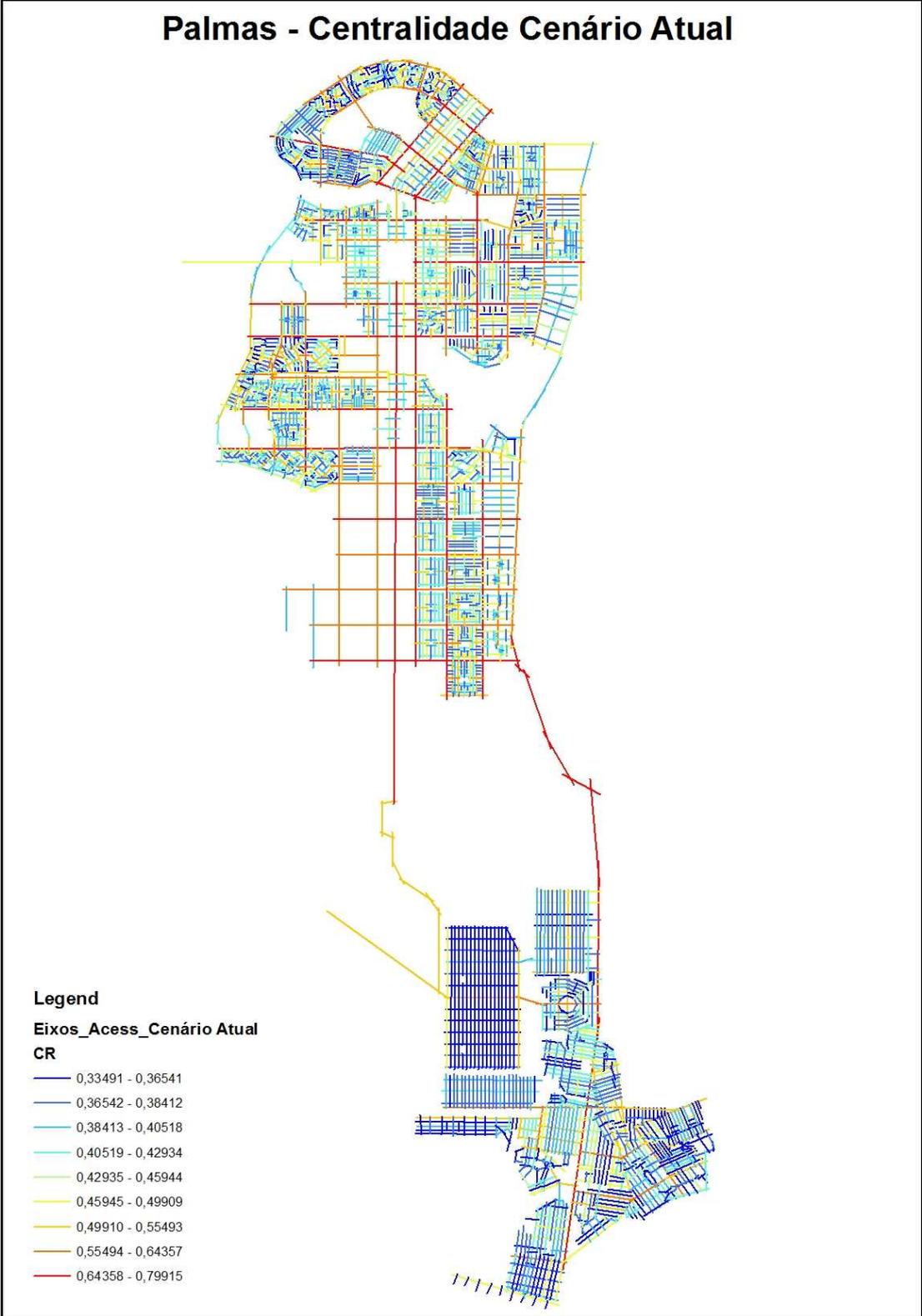


- Legend**  
**Eixos\_Acess\_Cenário Atual**  
**AR**
- 0,37434 - 0,38516
  - 0,38517 - 0,39597
  - 0,39598 - 0,40679
  - 0,40680 - 0,41761
  - 0,41762 - 0,42842
  - 0,42843 - 0,43924
  - 0,43925 - 0,45006
  - 0,45007 - 0,46087
  - 0,46088 - 0,47169

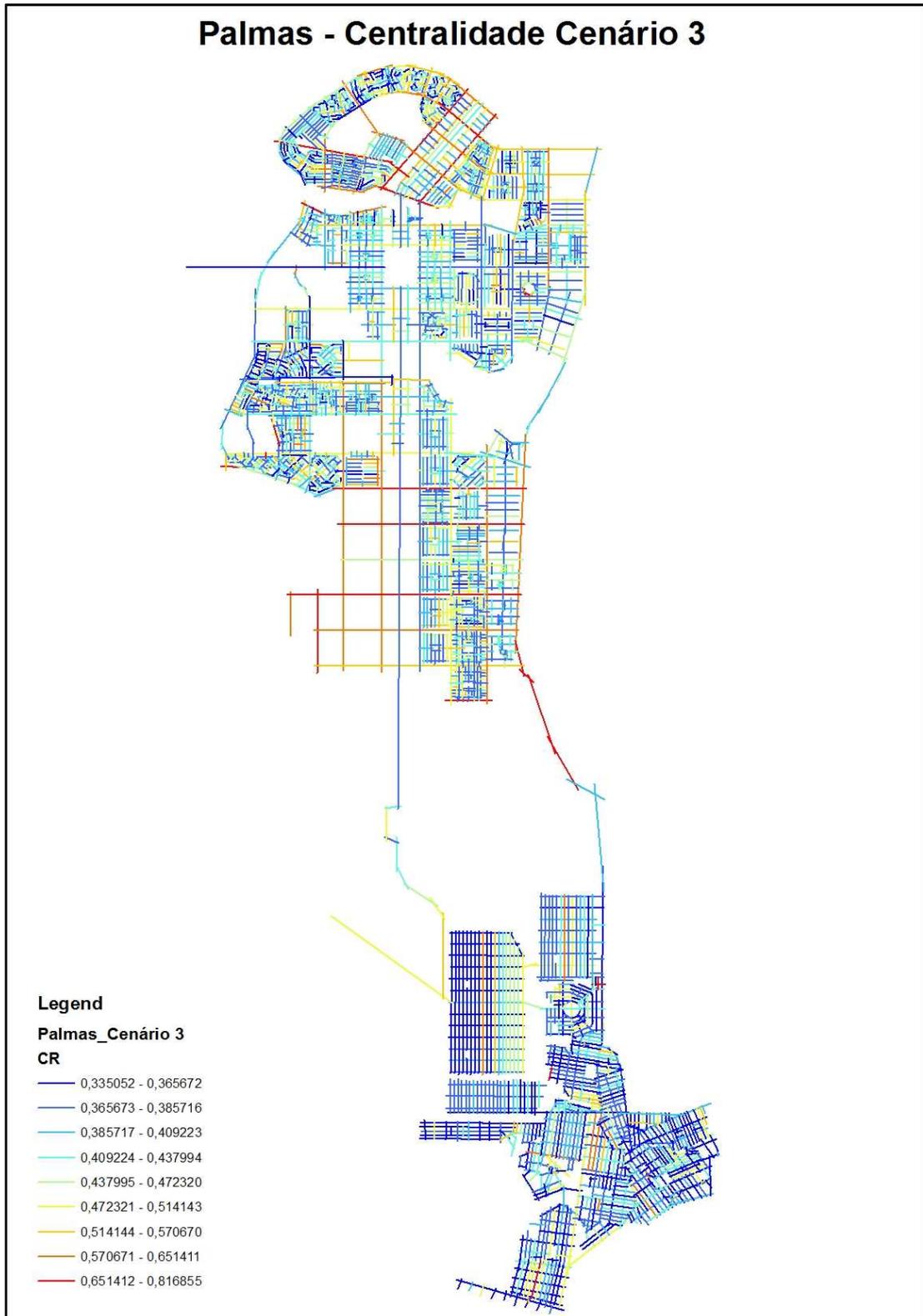
## Palmas - Acessibilidade Cenário 3

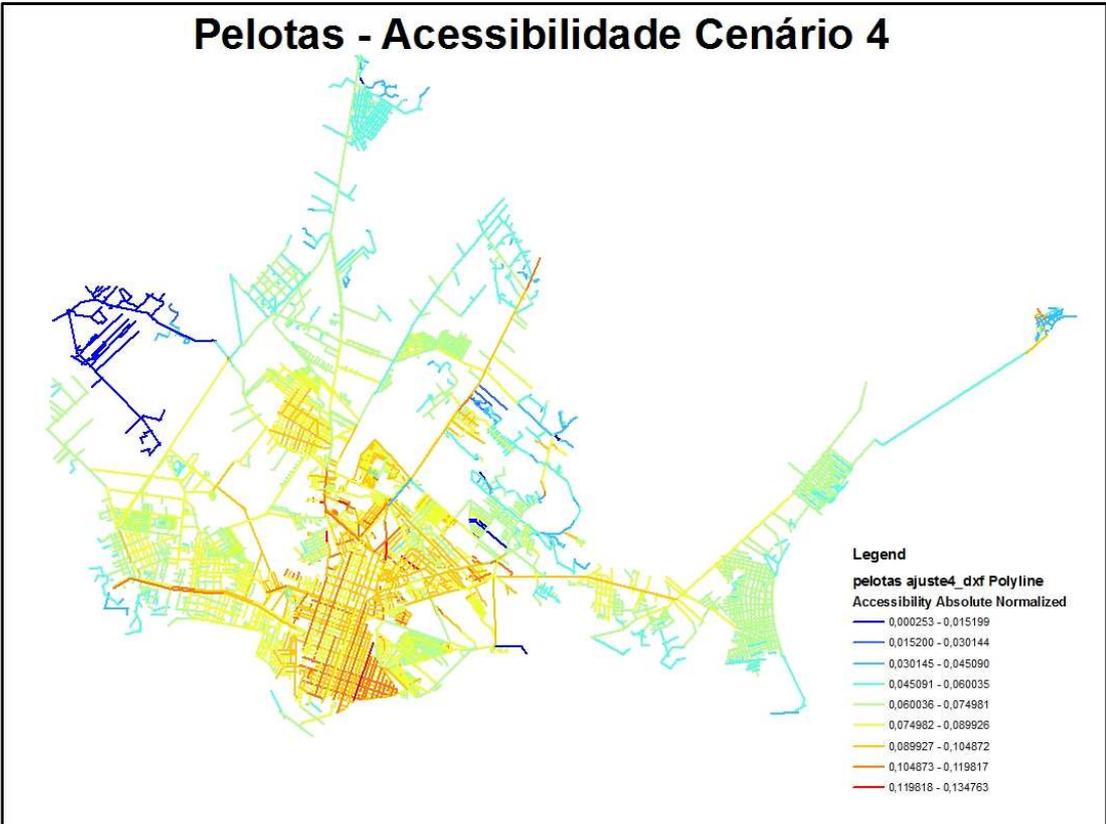
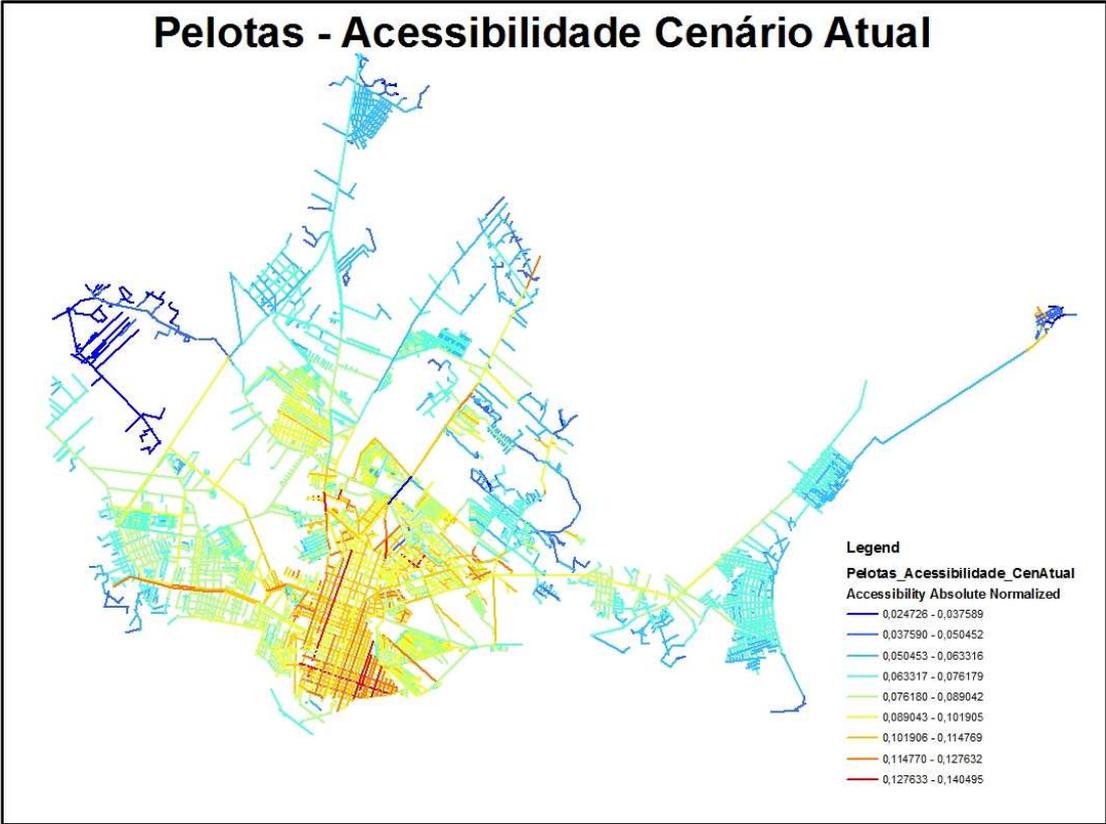


### Palmas - Centralidade Cenário Atual

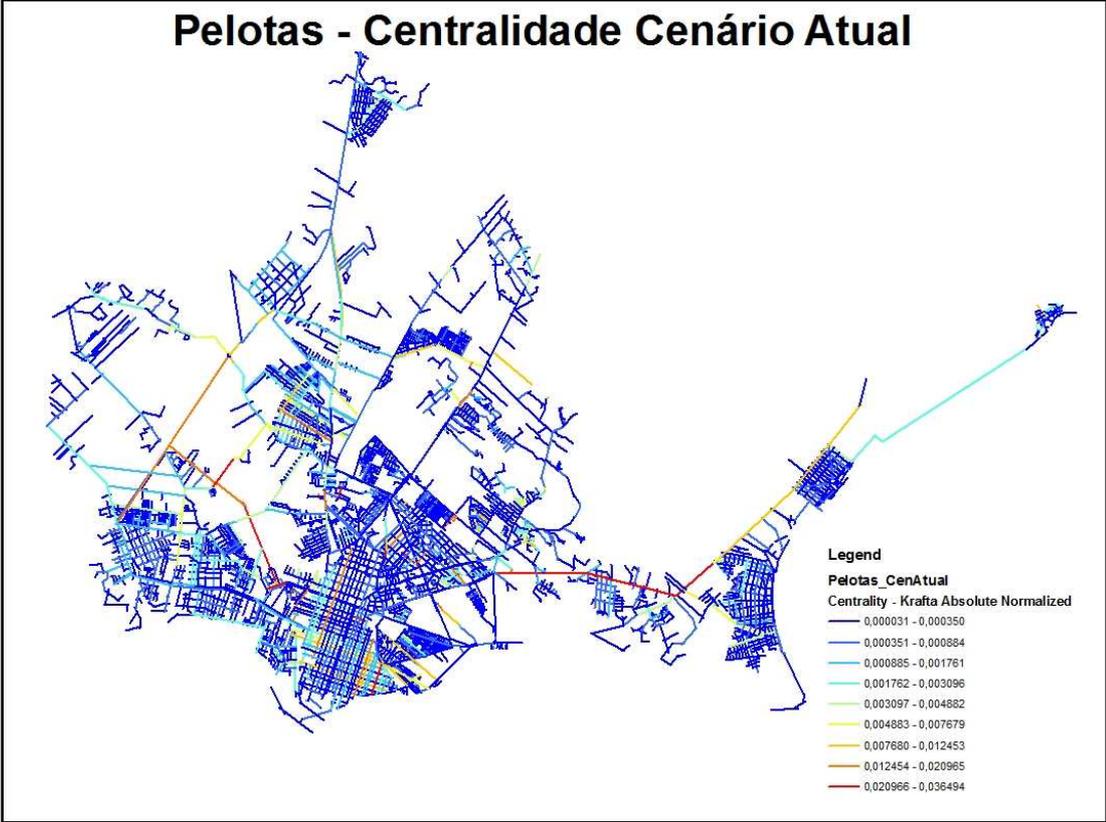


## Palmas - Centralidade Cenário 3

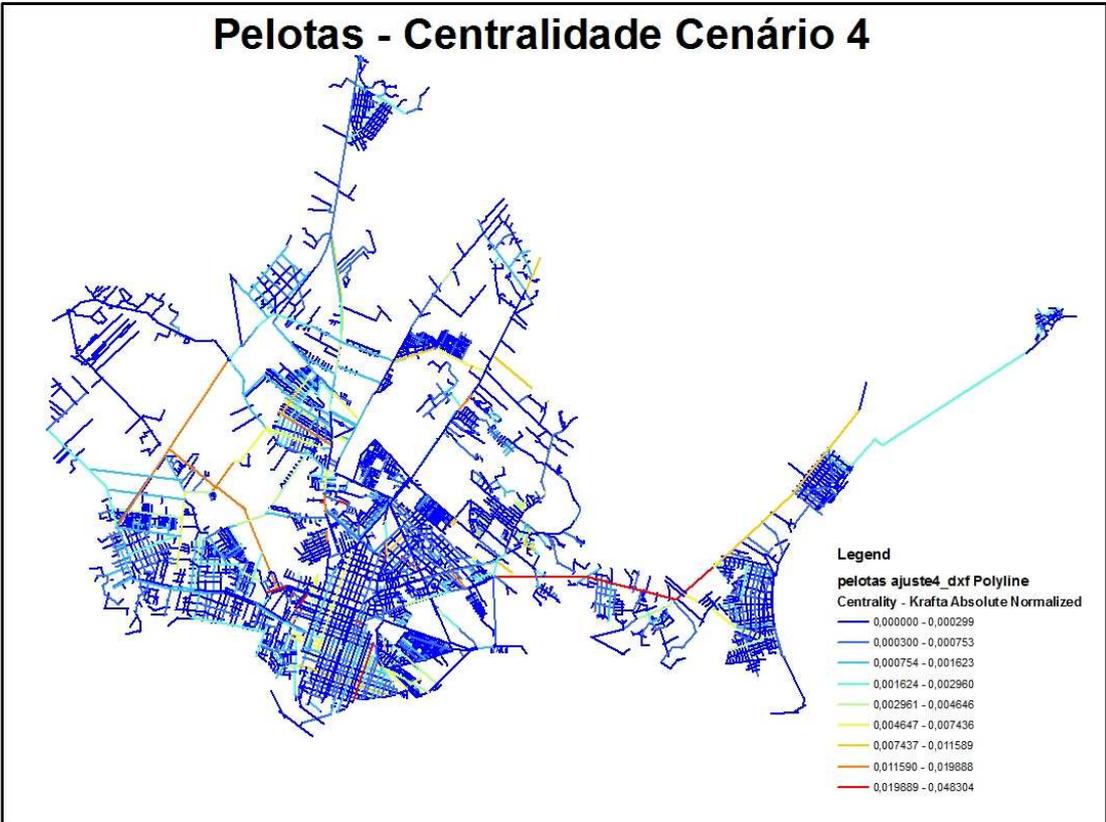




### Pelotas - Centralidade Cenário Atual



### Pelotas - Centralidade Cenário 4



## Porto Velho - Acessibilidade Cenário Atual



## Porto Velho - Acessibilidade Cenário 3



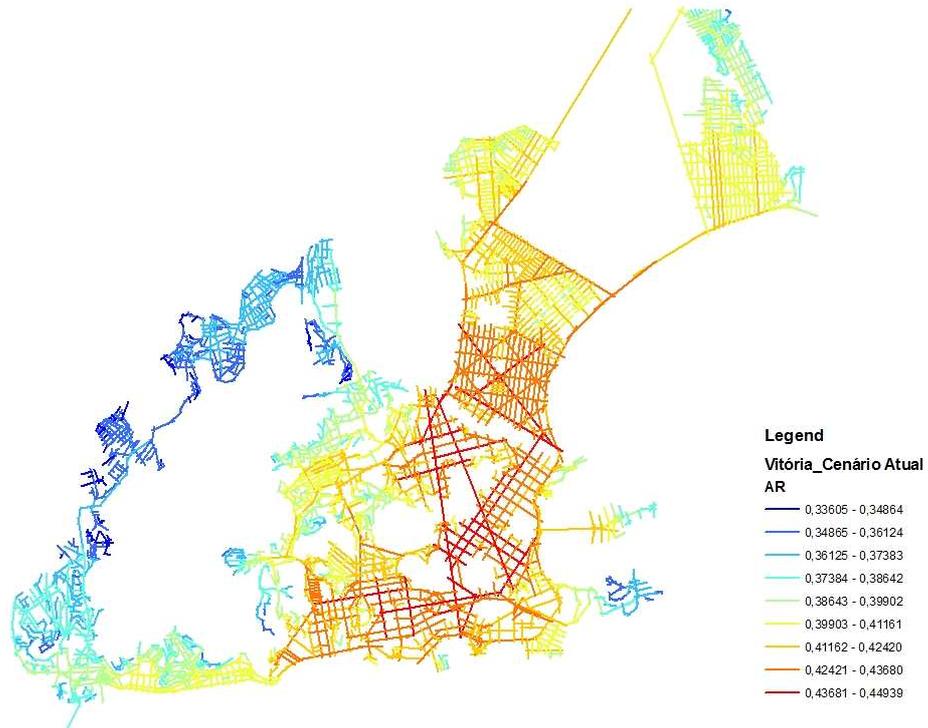
### Porto Velho - Centralidade Cenário Atual



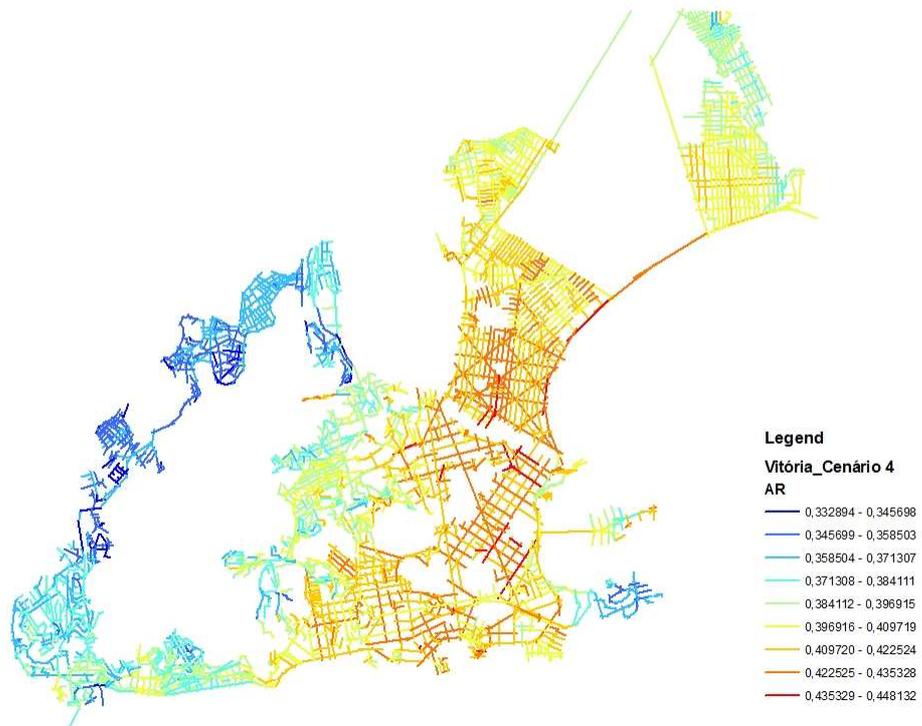
### Porto Velho - Centralidade Cenário 4



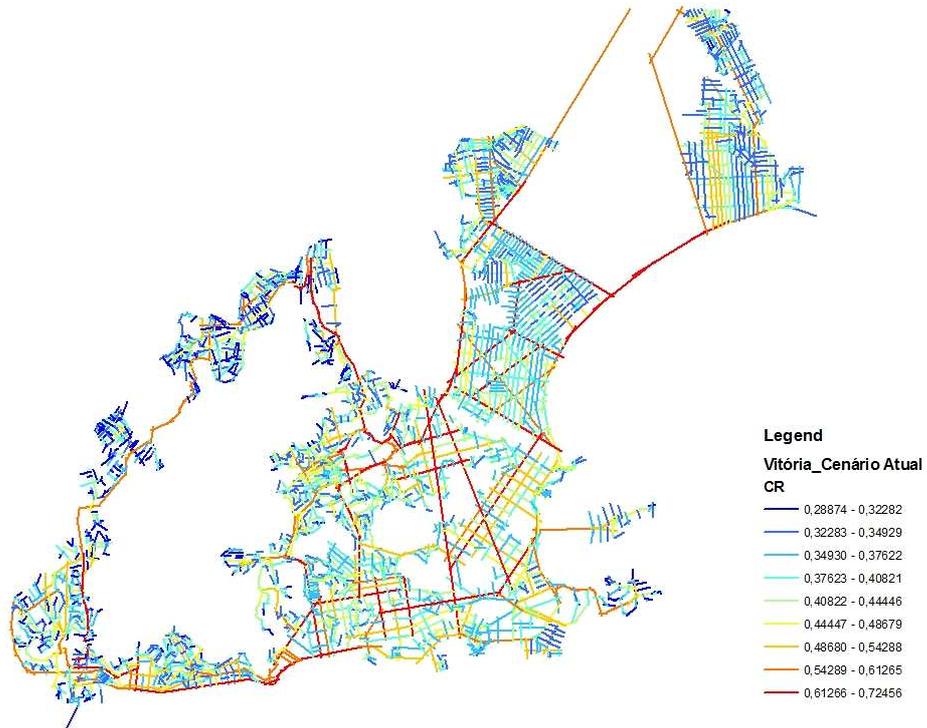
### Vitória - Acessibilidade Cenário Atual



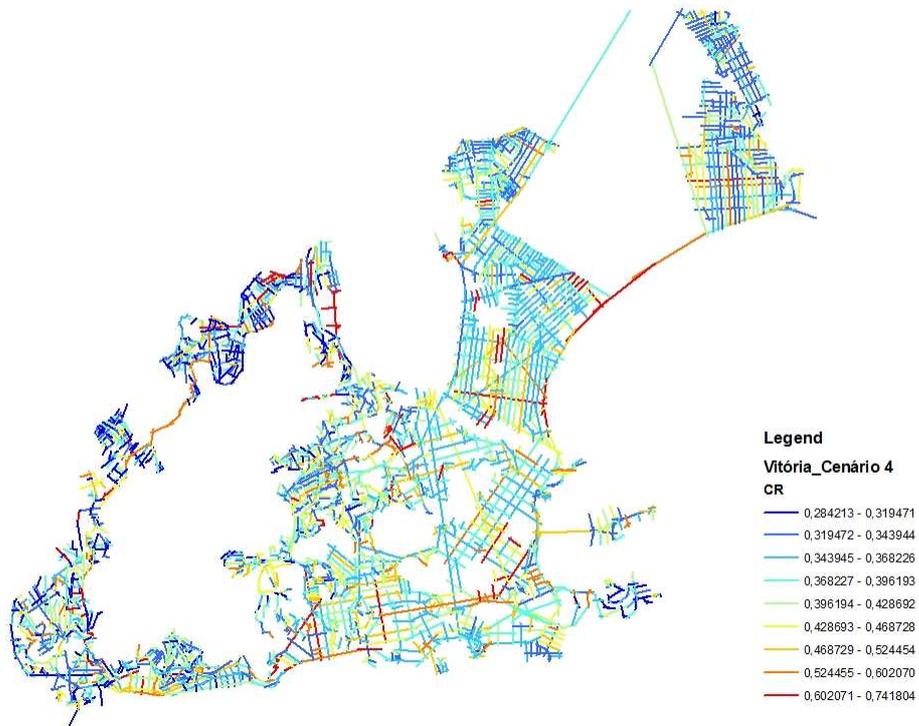
### Vitória - Acessibilidade Cenário 4



### Vitória - Centralidade Cenário Atual



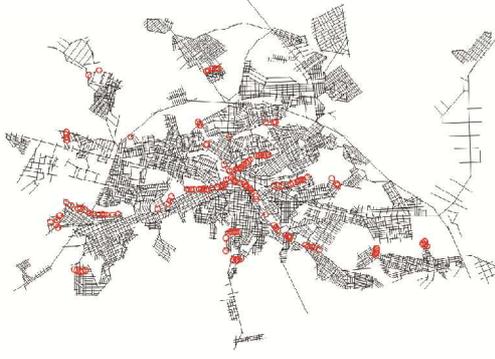
### Vitória - Centralidade Cenário 4



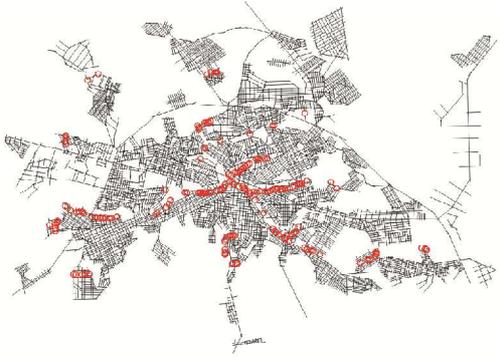
## **ANEXO III**

**Anápolis**  
Pontos de Intervenções

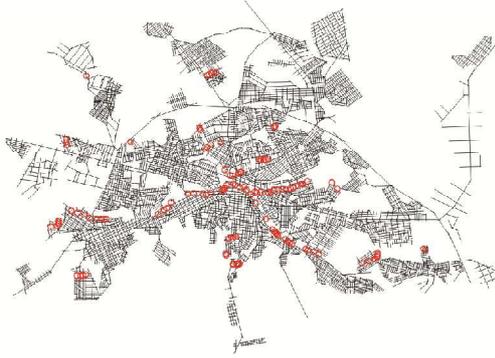
Cenário 02



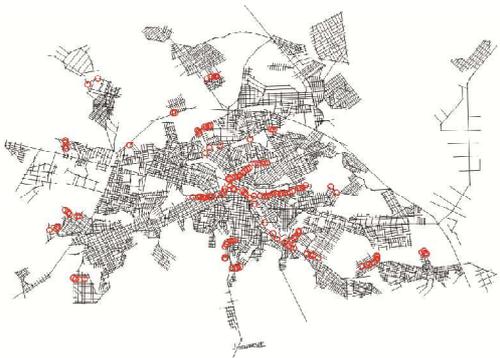
Cenário 04



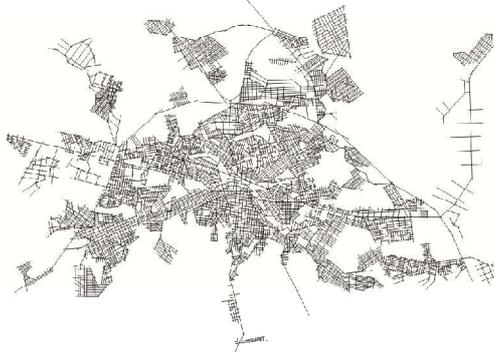
Cenário 01



Cenário 03

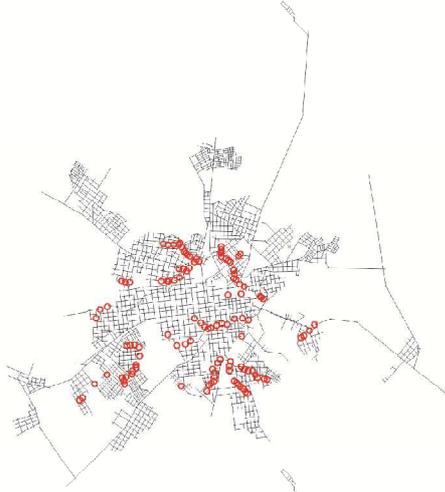


Cenário Atual

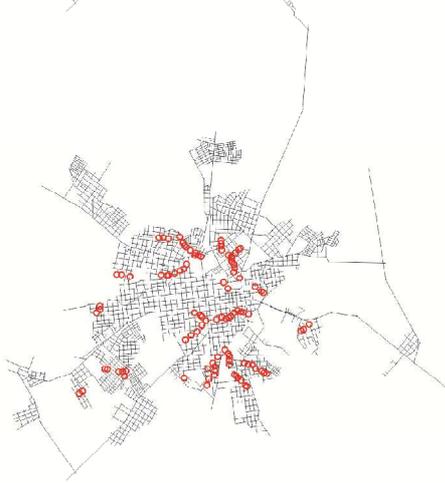


**Bagé**  
Pontos de Intervenções

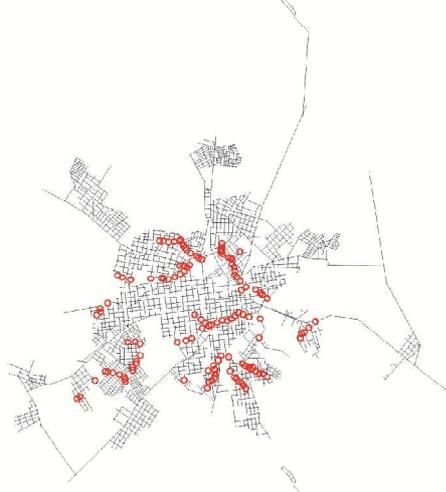
Cenário 02



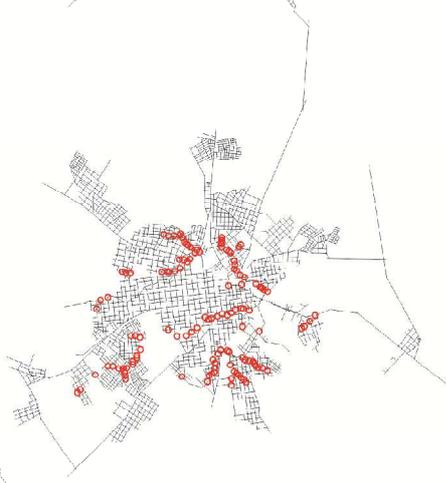
Cenário 01



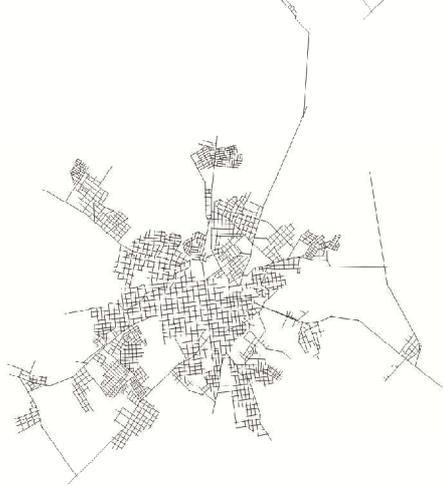
Cenário 04



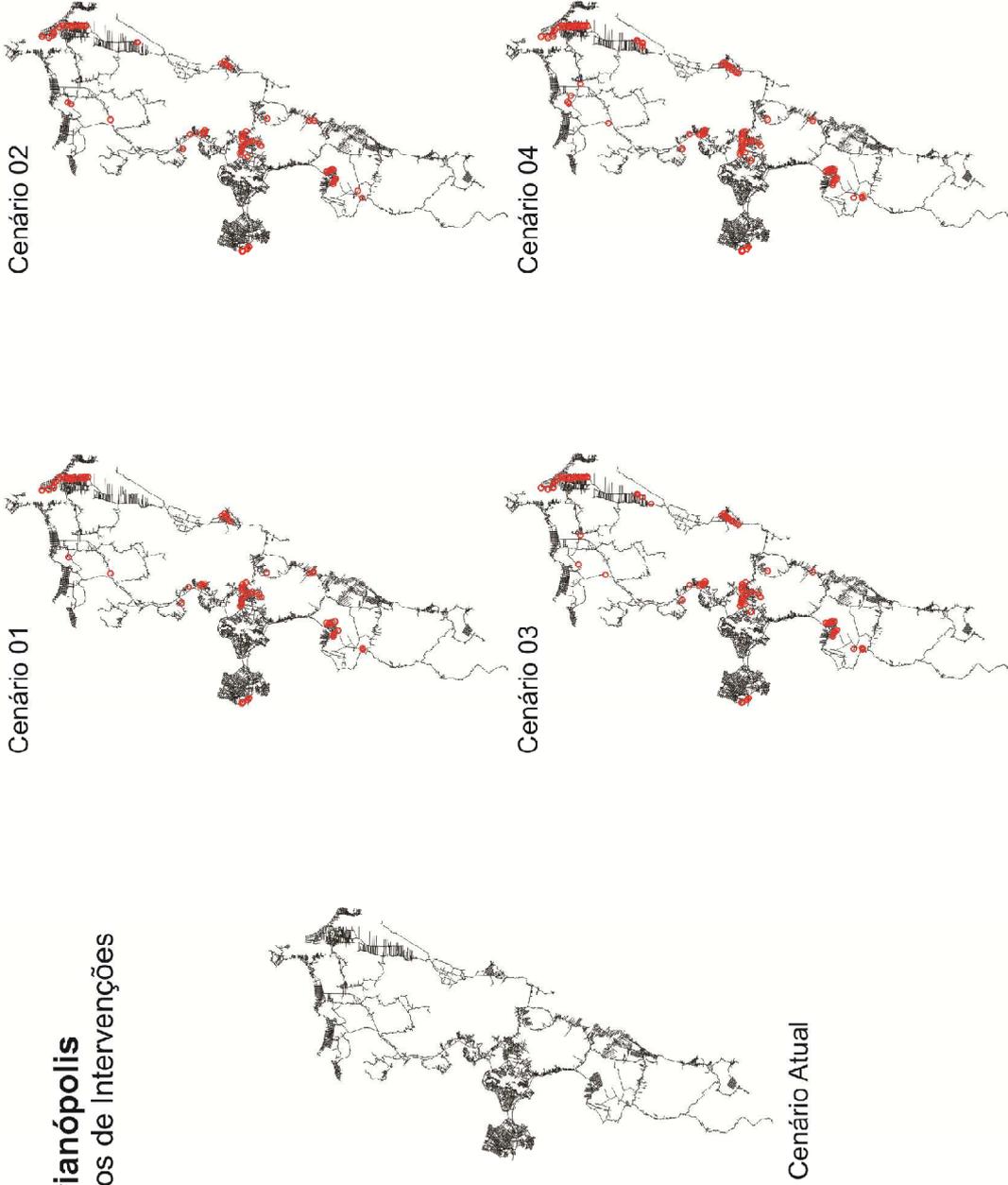
Cenário 03



Cenário Atual

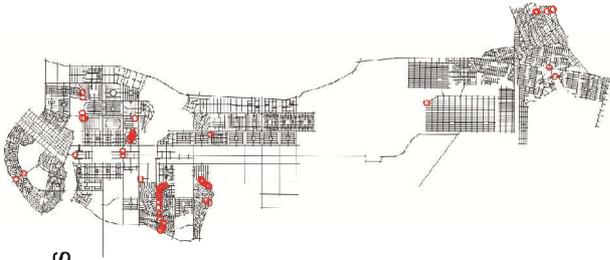


**Florianópolis**  
Pontos de Intervenções



**Palmas**  
Pontos de Intervenções

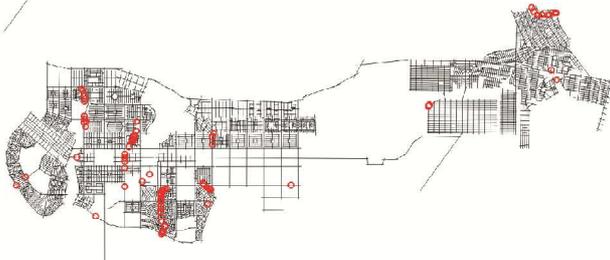
Cenário 01



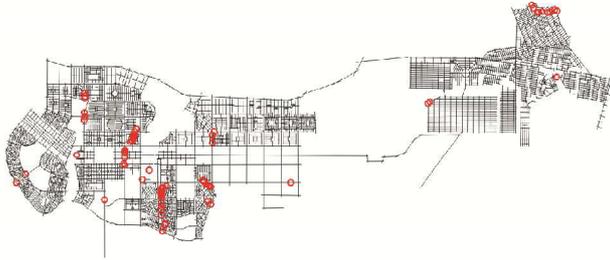
Cenário 02



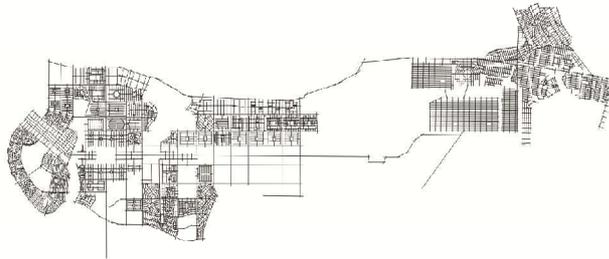
Cenário 03



Cenário 04



Cenário Atual

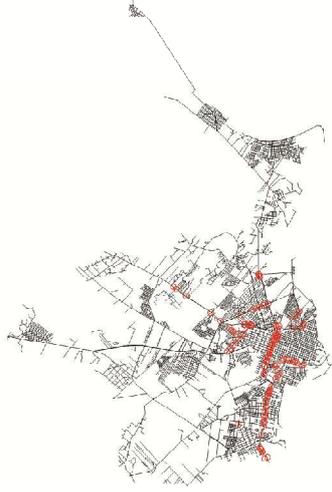


**Pelotas**  
Pontos de Intervenções

Cenário 01



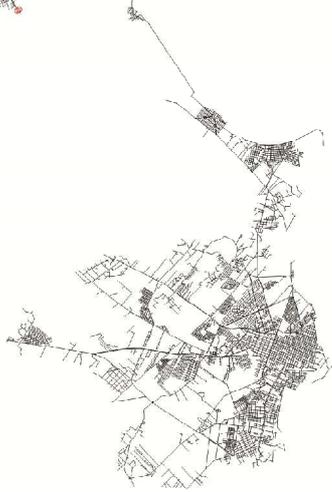
Cenário 02



Cenário 03



Cenário Atual

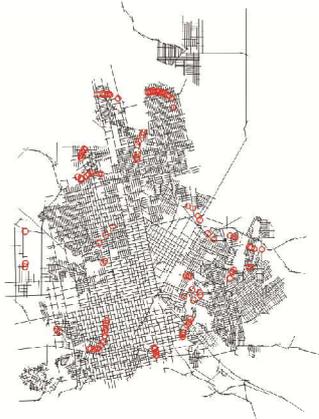


Cenário 04

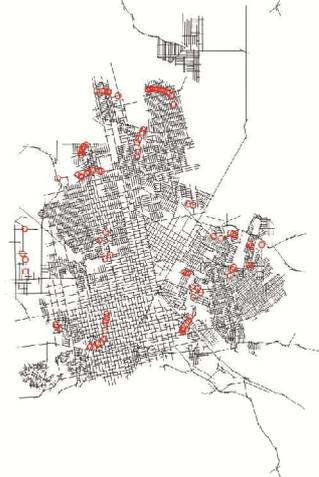


**Porto Velho**  
Pontos de Intervenções

Cenário 02



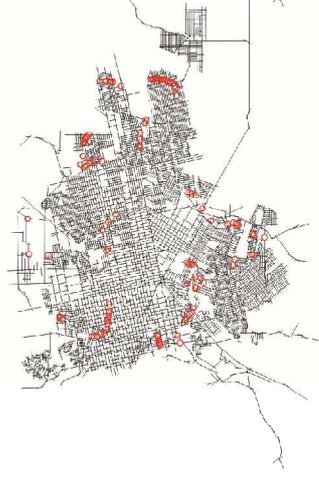
Cenário 01



Cenário 04



Cenário 03



Cenário Atual

