



Modelagem, mensuração e simulação da sustentabilidade em setores urbanos¹

Modeling, measurement and simulation of sustainability in urban areas

André de Souza Silva*

*Docente pesquisador do CNPQ_CAPES. Publica artigos e palestra sobre a temática urbana em periódicos e congressos especializados, tanto no âmbito nacional quanto internacional. Atua na área da modelagem, mensuração e simulação da configuração espacial urbana.

1. O presente artigo corresponde a uma versão ampliada e aprofundada do artigo submetido ao Evento e Periódico Técnico Científico Cidades Verdes - ISSN 2317-8604.

Resumo

A possibilidade de capturar a essência da sustentabilidade urbana por meio da análise de variáveis socioespaciais e técnico-ambientais, de modo a embasar o desenvolvimento de um índice de certificação de cidades é o objetivo que se apresenta. Empreende-se assim, a crítica conceitual e metodológica em torno dos parâmetros de análise das certificações e processos de avaliação da sustentabilidade reconhecidos nacional e internacionalmente. Neste sentido, a contribuição da presente pesquisa consiste em ampliar o debate sobre o desenvolvimento de novos instrumentos capazes de demonstrar diferenciações qualitativas e quantitativas da sustentabilidade social, econômica e ambiental em setores urbanos.

Palabras-clave: Planejamento urbano. Sustentabilidade urbana. Certificação de cidades.

Abstract

The possibility to capture the essence of urban sustainability through analysis of variables socio-spatial and technical-environmental, in order to base the development of a cities certification index is the aim of this research. It is thus undertaken, the critique conceptual and methodological around the analysis parameters of certification and evaluation processes of sustainability nationally and internationally recognized. In this sense, the contribution of this research is to expand the debate on the development of new tools able to demonstrate qualitative and quantitative differences of sustainability social, economic and environmental in urban areas.

Keywords: Urban planning. Urban sustainability. Cities Certification.

1. Introdução e contextualização

O tema certificação² da sustentabilidade de setores urbanos relaciona-se à ideia de novos instrumentos para auxiliar no monitoramento permanente da qualidade de vida nas cidades projetadas, em processo de consolidação ou consolidadas. O termo sustentabilidade aplicado na presente pesquisa³, remete a setores urbanos ambientalmente corretos, socialmente responsáveis e economicamente viáveis. Enquanto que setores urbanos correspondem à delimitação de áreas da cidade em diferentes níveis, tais como o físico, o social, o econômico dentre outros, em razão da necessidade de intervenções e análises específicas.

Para aplicar o conceito de planejamento e gestão urbana sustentável faz-se necessário estabelecer índices, indicadores e/ou modelos urbanos, capazes de mensurar o desempenho de setores urbanos em termos da sustentabilidade social, econômica e ambiental. Neste sentido, o problema central está em distinguir quais propriedades

são relevantes para a modelagem, mensuração e simulação da sustentabilidade de setores urbanos. Parte-se da hipótese de que propriedades centradas em variáveis socioespaciais e técnico-ambientais apresentam maior abrangência e capacidade explicativa, cuja consideração em conjunto aprimora significativamente os critérios de análise dos índices de sustentabilidade urbana atualmente utilizados. O objetivo central da presente pesquisa é propor um modelo urbano, composto por indicadores centrados em medidas de desempenho, cujo índice seja parâmetro de análise de setores urbanos. Isto porque, reflexões sobre o desempenho técnico, construtivo, morfológico, social, político, econômico, cultural, espacial e ambiental – enquanto materialidade fundamental para a sustentabilidade – expressam a necessidade de conhecer melhor esse fenômeno urbano, de modo a subsidiar decisões de gestão, planejamento, desenho e projeto urbano com vistas à sustentabilidade das cidades.

2. Certificação consiste na emissão de um parecer, baseado numa decisão tomada após análise crítica de que o atendimento aos requisitos especificados foi demonstrado e comprovado.

3. Pesquisa apoiada pelo CNPQ - MCTI/CNPq/MEC/CAPES Nº 43/2013. Processo nº 409093/2013-0.

2. Análise conjugada de indicadores, índices e modelos urbanos

Atualmente, a análise de determinadas variáveis, relações e efeitos complexos que os tecidos urbanos exercem nas pessoas constitui o desafio de pesquisa de diversos autores no âmbito dos indicadores, índices e modelos urbanos. Estes estudos, tanto em nível nacional, quanto internacional aplicam diferentes conceitos, teorias e métodos. O propósito destes é servir como meio para explicações não-determinísticas e absolutas de causa e efeito de fatos observados, mas focar as diferentes possibilidades de compreensão das relações por detrás do fenômeno urbano.

Indicadores são parâmetros selecionados e considerados isoladamente ou combinados entre si de um determinado aspecto da realidade observada. A proposição do desenvolvimento de indicadores para avaliar a sustentabilidade surgiu na Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente – Rio 92:

É preciso elaborar indicadores de desenvolvimento sustentável que sirvam de base sólida para adotar decisões em todos os níveis, e que contribuam a uma sustentabilidade auto-regulada dos sistemas integrados do meio ambiente e o desenvolvimento (UNITED NATIONS, 1992: capítulo 40 - Agenda 21).

Já os índices correspondem a um nível apurado de associação dos indicadores. Ou seja, é

uma informação mais abrangente proveniente da agregação de um conjunto de indicadores ou variáveis (tratamento preliminar e parcial dos dados) capaz de interpretar a realidade de um sistema (SICHE, et al, 2007:137-148).

As maiores contribuições para a medição da sustentabilidade são obtidas junto a indicadores e índices como o Pegada Ecológica - EF (*Ecological Footprint* - REES, 1992); o Desempenho Emergético - EMPIs (*Emergy Performance Index* - BROWN; ULGIATI, 1997); e a Sustentabilidade Ambiental - ESI (*Environmental Sustainability Index* - SAMUEL-JOHNSON; ESTY, 2000). Contudo, verificam-se diversas outras proposições de indicadores e índices de sustentabilidade, mas que são pouco aplicáveis na prática, devido ao dispêndio de tempo e a necessidade de conhecimento especializado do instrumento de coleta e manipulação de dados (SICHE, et al, 2007:137-148).

Já em relação aos modelos urbanos estes permitem explorar diferentes alternativas matemáticas ou algorítmicas, das possíveis relações de causa e efeito, semelhança formal, associações, correlações, dentre outros aspectos inerentes à estrutura urbana que consistem no suporte espacial das relações sociais (ECHENIQUE, 1975: 13-16; ALEXANDER, 1980: 17). Ou seja, a modelagem urbana permite avançar nas possibilidades de análise e aplicação dos indicadores e índices ditos “estáticos” em predições das transformações momentâneas do cenário legal (condição futura

das normativas do planejamento urbano) e cenário proposto (condição futura das alternativas de intervenção e desenho urbano em áreas novas e existentes), dispensando rotinas sistemáticas de observação direta no local (WEGENER, 1994: 18). Isto porque, modelos urbanos objetivam, sobretudo, prover um quadro simplificado e inteligível daquilo que, fundamentalmente, são as características (físicas e conceituais) relevantes de uma situação real, no intuito de se conseguir realizar procedimentos de análise sem perder a validade dos resultados (LEE, 1973: 7; CHADWICK, 1973: 178; ECHENIQUE, 1975: 17).

3. Os atuais sistemas de certificação: abordagem conceitual e metodológica

Atualmente, no Brasil, algumas certificações têm sido amplamente adotadas, como o LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design* (selo *greenbuilding*), desenvolvido pelo *Green Building Council* e o AQUA - Alta Qualidade Ambiental (extraído do referencial francês *HQE-Association*).

O LEED é uma certificação que trabalha com uma metodologia de avaliação dos princípios ambientais e de uso de energia, por meio da obtenção de créditos distribuídos em cinco categorias de impacto ambiental e outros cinco créditos destinados à categoria de inovação e processo de projeto (PICCOLI et al, 2010). No sistema de certificação LEED-ND (*Neighborhood Development*) para bairros e comunidades urbanas são

utilizados princípios do urbanismo sustentável, o qual requer elevados níveis de responsabilidade social e ambiental.

O Certificado AQUA – Alta Qualidade Ambiental (Fundação Carlos Alberto Vanzolini), baseado no sistema francês *NF Bâtiments Tertiaires - Démarche HQE®*, consiste num método que aborda tanto o padrão para o sistema de gestão quanto para a qualidade ambiental da edificação (VANZOLINI, 2008), o qual foi o primeiro sistema brasileiro de certificação ambiental de edificações.

Nesta mesma linha citam-se o ASUS – que utiliza a sustentabilidade como instrumento auxiliar de projeto (ALVAREZ e SOUZA, 2011); o BREEAM – *BRE Environmental & Sustainability Standard*, que avalia o desempenho ambiental das edificações (BREEAM, 2009); o CASBEE – *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*, que avalia desde a edificação até a cidade por meio de medidas ambientais, econômicas e sociais as quais implicam diretamente no desenvolvimento urbano (CASBEE, 2008); o Green Star, que pondera pesos de localização do projeto de modo a refletir as diferentes necessidades e ecologias do lugar (GREEN STAR, 2002); e, o HQE – *Haute Qualité Environnementale (Guide pratique du référentiel pour la qualité environnementale des bâtiments)* que utiliza multicritérios voltados à eficiência energética, o respeito ao meio ambiente e a saúde, e o conforto dos ocupantes da edificação (HQE, 2014).

Constata-se que, de um modo geral, os sistemas de certificação possuem listas de verificação, cujos créditos são concedidos em razão de determinados critérios que consideram diferentes categorias ambientais e construtivas (PICCOLI et al, 2010; DEGANI & CARDOSO, 2002; PINHEIRO & SOARES, 2007). Contudo, observa-se que faltam alternativas de certificações capazes de analisar a qualidade, a eficiência e a sustentabilidade (energética, ambiental, social e econômica) de setores urbanos em cidades, principalmente junto à realidade brasileira.

4. Método de obtenção do modelo urbano com base em índices e indicadores

A quantidade e diversidade de variáveis existentes nos setores urbanos, associadas à significativa necessidade de readequações e alterações dimensionais dos ambientes em razão das atividades exercidas ao longo dos anos, torna complexa a tarefa de identificar e analisar estas variáveis. Segundo diferentes ritmos e temporalidades, as cidades constituem artefatos em constante processo de construção e (re)ocupação, tendendo à estabilidade e à consolidação. Possuem um pulsar de (trans)formação no qual, ao longo do tempo, partes são modificadas e outras mantidas. Contudo, determinadas variáveis socioespaciais e técnico-ambientais embora não sendo permanentes, são duráveis, e se mantêm ao longo dos anos nos tecidos urbanos, tais como o sistema de vias, o perímetro das qua-

dras, o parcelamento do lotes, as ocupações de áreas predominantemente residenciais, determinadas atividades não-residenciais tradicionais e/ou de grande porte, a vegetação urbana, os mananciais hídricos etc. Portanto, setores urbanos apresentam regularidades e recorrências, e essas, de acordo com o aporte conceitual e teórico adotado, podem ser mensuráveis através de índices quantitativos e qualitativos.

Como setores urbanos apresentam desempenhos variados, dependendo do aspecto que está sendo estudado, e das abordagens adotadas, faz-se necessário especificar no que consiste cada variável:

- variáveis socioespaciais: a influência da morfologia urbana em termos de forma, tamanho, disposição e quantidade de edificações, quadras e sistema de vias na dinâmica do movimento de pedestres, ciclistas e transporte público, inter-relacionado com a acessibilidade e a mobilidade urbana, desde o ponto de vista do transporte, tráfego e trânsito.
- variáveis técnico-ambientais: a adequação do setor urbano ao contexto climático, topográfico e natural do local, em termos de orientação solar, ventilação e iluminação natural, assim como a utilização de materiais disponíveis no local, não poluentes e potencialmente recicláveis.

Variáveis socioespaciais e técnico-ambientais, tomadas isoladamente, descrevem parcialmente a qualidade dos setores urbanos. A abordagem sistêmica proposta, ao vincular essas variáveis, apresenta especial vantagem na definição e avaliação conjunta de variáveis que não poderiam ser tratadas satisfatoriamente em separado diante do problema da pesquisa. Com isso, abre-se o campo das alternativas de questionamento, análise e entendimento tanto da certificação de setores urbanos, quanto dos possíveis vínculos conceituais, teóricos e metodológicos que possam existir entre as variáveis.

É possível instigar o debate em torno da possibilidade de vincular variáveis socioespaciais e técnico-ambientais, de modo a terem uma abordagem mais abrangente e associarem em sua base conceitual outros condicionantes que também afetam a sustentabilidade. O emprego destas variáveis simplifica a realidade observada através da abstração dos principais elementos capazes de descrever a qualidade e eficiência energética urbana com vistas à sustentabilidade.

4.1 Manipulação das variáveis no índice de certificação de cidades

Adota-se o método prescritivo, devido à facilidade de obtenção de dados, manipulação dos resultados e aplicação prática das informações. Trata-se de um procedimento analítico objetivo no qual são aplicadas equações que recebem

entrada de informações vinculadas às variáveis socioespaciais e técnico-ambientais. A pontuação obtida determina o índice de certificação de cidades. Complementar ao método prescrito é adotado o método de simulação que consiste em comparar o desempenho de setores urbanos junto ao cenário atual, legal e proposto, sendo ideal para planejadores e gestores urbanos.

4.2 Pesquisas de campo e pontuação

Fundamentalmente, utilizam-se dados e informações compilados a partir de planos, diretrizes, normativas, mapas, dados estatísticos e outras fontes oficiais, a fim de aferir os itens que compõem cada medida de desempenho sustentável. Contudo, algumas medidas de desempenho requerem visitas “in loco” no próprio setor urbano. Nas saídas de campo, faz-se necessário levar planilha de levantamento da pontuação qualitativa e quantitativa das medidas de desempenho, mapa detalhado, câmera e trena, pois algumas medidas de desempenho concedem pontos com base em distâncias, áreas e contagens. Além disso, por vezes, são necessárias informações complementares obtidas por meio de entrevistas com organizações, gestores, urbanistas dentre outros.

4.3 Medidas de desempenho dos setores urbanos

Medidas de desempenho centradas na área de abrangência do setor urbano; na distribuição dos

4. “(...) Note-se que essa ‘distância’ é de natureza antes topológica do que geométrica, ou seja, é obtida em razão de quantas linhas, abstraídas do sistema de espaços abertos, temos minimamente de percorrer para ir de uma dada posição, na cidade, a outra posição, e não em virtude dos metros lineares de percurso que separam minimamente essas posições. Em outras palavras, num sistema muito integrado, temos de dobrar um número pequeno de esquinas para ir, em média, de uma rua para qualquer outra do lugar. O contrário se dá num sistema menos integrado (...)” (HOLANDA, 2002: 103).

5. Topologia é uma condição relacional entre partes na qual independem forma,

tamanho e distância métrica, e sim da articulação entre as partes, enquanto a geometria é a descrição dos elementos físicos em relação às suas dimensões, proporções, escalas etc.

6. Para medir a acessibilidade sintática por meio da integração do sistema de vias, Hillier e Hanson (1984) substituem a medida métrica pela distância topológica. A distância em Sintaxe Espacial é chamada de profundidade a qual consiste na distância topológica de um espaço a todos os demais espaços do sistema. Relações de profundidade necessariamente envolvem a noção de que o espaço aberto público pode ser acessado a partir de outros espaços adjacentes a este (HILLIER & HANSON, 1984: 82-102).

caminhos alternativos do sistema de vias; na densidade e compacidade; e, na economia de insumos naturais e antrópicos – obtidas a partir de variáveis socioespaciais e técnico-ambientais – apresentam maior capacidade explicativa, cuja consideração em conjunto aprimora significativamente os parâmetros de análise das certificações atualmente utilizadas. Estas medidas de desempenho abarcam propriedades técnicas, construtivas, morfológicas, sociais, políticas, econômicas, culturais, espaciais e ambientais, as quais constituem a materialidade fundamental para a vida em cidades.

Algumas medidas de desempenho exigem medição e cálculo, outras apenas simples contagens e outras são qualitativas. Deste modo, a expressão matemática do modelo urbano consiste num índice que corresponde ao sistema de pontuação baseado em dados qualitativos e quantitativos sobre um determinado setor urbano.

A manipulação das medidas de desempenho, quantitativas e qualitativas, possibilita fornecer um índice para o setor urbano completo ou parcial. Para o setor urbano completo obtém-se o valor do índice de certificação de cidades a partir dos seguintes dados e expressão matemática:

$$\text{ICC} = \text{Abr_SU} (x 0,20) + \text{Dist_CA} (x 0,20) + \text{Dens_Comp} (x 0,20) + \text{Ins_NA} (x 0,40)$$

Onde:

ICC; Índice de Certificação de Cidades
Abr_SU; área de abrangência do setor urbano
Dist_CA; distribuição dos caminhos alternativos
Dens_Comp; densidade e compacidade
Ins_NA; insumos naturais e antrópicos

Que deve ser lida como: o Índice de Certificação de Cidades (ICC), normatizado entre 0 e 1, é igual a ponderação da área de abrangência do setor urbano com a soma ponderada das seguintes medidas de desempenho: distribuição dos caminhos alternativos; densidade e compacidade; insumos naturais e antrópicos.

Na sequência, são enunciadas as propriedades qualitativas e quantitativas de cada medida de desempenho que compõe as variáveis socioespaciais e técnico-ambientais do Índice de Certificação de Cidades.

4.3.1 Medida de desempenho: área de abrangência do setor urbano

A definição da área de abrangência do setor urbano consiste em estabelecer o limiar do recorte a partir de um determinado ponto de referência física no meio urbano. Considera-se como ponto de referência física um dado lote e/ou edificação, a partir do qual se determina a distância⁴ de passos topológicos⁵, de acessibilidade sintática⁶, capaz de abarcar suficiente diferenciação espacial, formal e funcional. É possível verificar

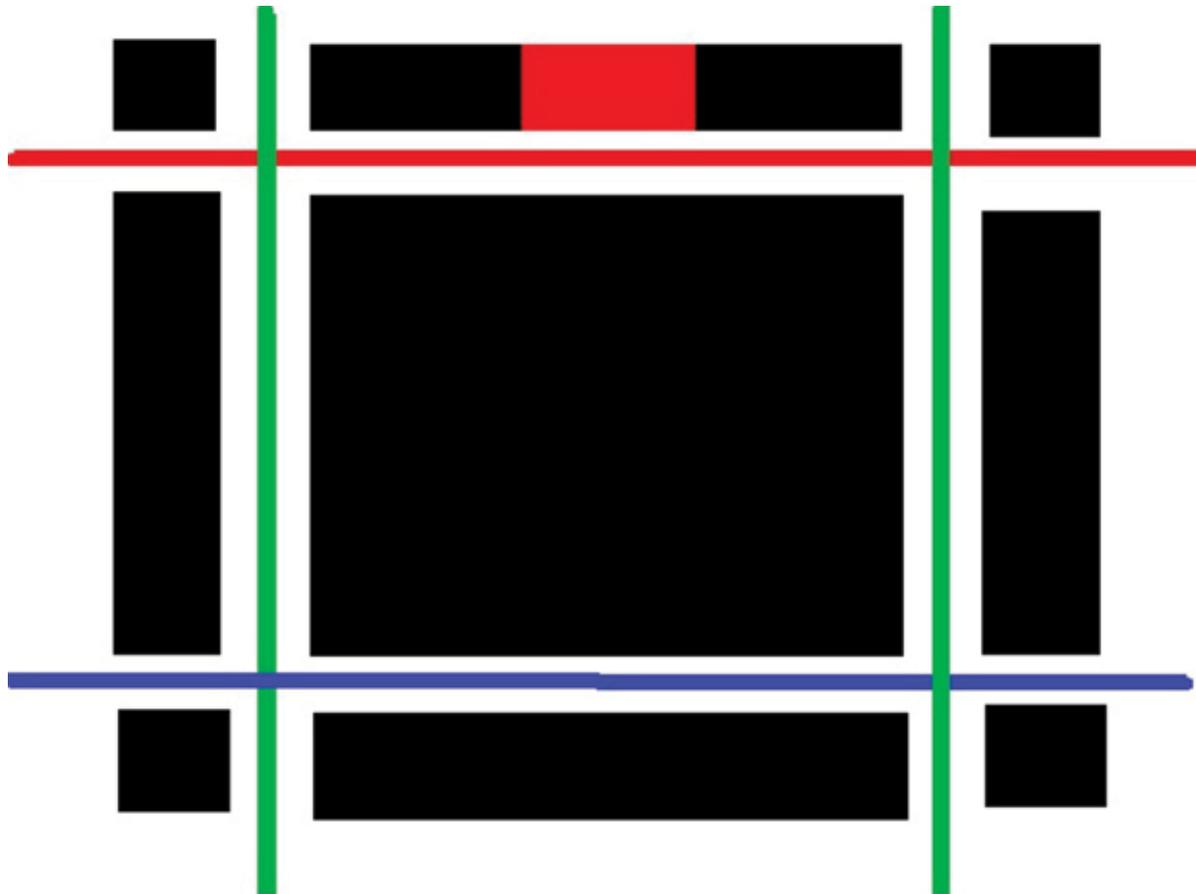


Figura 1: Lógica do sistema padrão de quadra regular ortogonal. Fonte: original do autor, 2015. (A linha vermelha indica a via que contém o ponto de referência lote e/ou edificação, enquanto que as linhas verde e azul estão a distância de 1 e 2 passos topológicos respectivamente).

o quanto a área de abrangência do setor urbano sobrepõe áreas ambientais tais como áreas de preservação permanente, matas ciliares, mananciais hídricos, inundação, deslizamentos, aterro sanitário, rejeitos inertes dentre outras.

A delimitação de setores urbanos por áreas de abrangência, a partir da distância de passos topológicos de acessibilidade sintática, se justifica na medida em que possibilita definir parâmetros

de comparação entre diferentes setores urbanos, viabilizando operacionalmente a etapa de levantamento de dados diretamente no local, otimizando o dispêndio de tempo com pessoal e recursos financeiros (SILVA, 2010).

A determinação da distância de 2 passos topológicos se aproxima da lógica de um sistema padrão de quadra regular ortogonal (normatizado em 10.000 m²) que corresponde a dimensão média de 100 metros por 100 metros consideradas ideais para os deslocamentos não-motorizados. Neste sentido, a medida da área de abrangência é calculada a partir da quantidade de quadras inseridas nos limites da área de abrangência, dividida pela quantidade de quadras de um sistema padrão de quadra regular ortogonal (figura 1).

Obtém-se o valor da área de abrangência do setor urbano a partir dos seguintes dados e expressão matemática:

Abr_SU =

$$\frac{\sum Q_{ra} \text{ área de abrangência}}{\sum Q_{ro} \text{ sistema padrão de quadra regular ortogonal}}$$

Sendo Q_{ro} sistema padrão de quadra regular ortogonal =

$$\frac{m^2 \text{ área de abrangência}}{ha}$$

Que deve ser lida como a medida da área de abrangência do setor urbano é igual ao total de quadras contidas num sistema de vias delimitado pela distância de 2 passos topológicos de acessibilidade sintática de um dado ponto de referência lote e/ou edificação, dividido por pelo total de quadras do sistema padrão de quadra regular ortogonal, normatizado em 10.000 m².

Onde:

Abr_SU; área de abrangência do setor urbano;
 $\sum Q_{ra}$ área de abrangência; total de quadras da área de abrangência;
 $\sum Q_{ro}$ sistema padrão de quadra regular ortogonal; total de quadras do sistema de quadra regular ortogonal;
 m^2_t área de abrangência; metragem quadrada total da área contida num sistema de vias delimitado pela distância de 2 passos topológicos de acessibilidade sintática de um dado ponto de referência lote e/ou edificação;
 ha , metragem quadrada total de um sistema padrão de quadra regular ortogonal, normatizado em 10.000 m²;

Deve-se considerar como parâmetro de 0 a 1 a seguinte situação:

- o total de quadras de um sistema de quadra regular ortogonal é determinado como valor 1;
- valores que tendem a zero do total de quadras de um sistema de quadra regular ortogonal é determinado como valor 0;
- valores que tendem a 2 do total de qua-

dras de um sistema de quadra regular ortogonal é determinado como valor 0;

A medida de desempenho área de abrangência do setor urbano equivale a 20% do total do índice de certificação de cidades.

4.3.2 Medida de desempenho: distribuição dos caminhos alternativos

A partir do cálculo da acessibilidade sintática tradicional, Silva (2010) propôs a construção da medida de distribuição dos caminhos alternativos, a qual relaciona o nível de carregamento de uma linha axial somada com todas as demais linhas axiais intervenientes e conectadas a esta. Isto porque, tão-somente a medida de acessibilidade sintática de uma linha axial não expressa necessariamente uma rede densa de articulação e continuidade de percursos possíveis ao longo de uma linha axial (figura 02).

A medida de distribuição dos caminhos alternativos (SILVA, 2010) com limitações de passos topológicos é diretamente calculada a partir do número de conexões de linhas axiais adjacentes. Estudos sintáticos têm demonstrado⁷ que a inteligibilidade é a propriedade-chave da estrutura espacial das cidades, responsável pelo sentido de orientação, pois possibilita o discernimento das partes, cuja configuração inteira das áreas de estudo pode ser predita pelo conhecimento da configuração ao nível local.

7. Para maior aprofundamento conceitual, teórico e metodológico consultar Space Syntax Symposium.



Figura 2: Possibilidades de intersecções das linhas axiais do sistema de vias. Fonte: original do autor, 2015.

Obtém-se o valor da distribuição dos caminhos alternativos do setor urbano a partir dos seguintes dados e expressão matemática:

$$\text{Dist_CA} = \frac{\text{AcessRn/ha}}{\text{AcessRI/ha}}$$

Que deve ser lida como a medida de distribuição dos caminhos alternativos de Integração Global Rn e Local RI é igual ao somatório dos valores de acessibilidade sintática da linha axial considerada e de todas as linhas axiais conectadas nos limites da área de abrangência por hectare.

Onde:

Dist_CA; distribuição dos caminhos alternativos; AcessRn; consiste no somatório da Integração Global da linha axial e de todas as linhas axiais conectadas a esta nos limites da área de abrangência por hectare;

AcessRI; consiste no somatório da Integração Local até a abrangência de passos topológicos da linha axial e de todas as linhas axiais conectadas a esta nos limites da área de abrangência por hec-

tare; ha; metragem quadrada total de um sistema padrão de quadra regular ortogonal, normatizado em 10.000 m².

A medida de distribuição dos caminhos alternativos é diretamente calculada a partir do valor da linha axial em si e do número de conexões de linhas axiais adjacentes a esta. Portanto, trata-se de uma noção mais abrangente da possibilidade de acessar a linha axial considerada a partir das demais linhas axiais que compõem o seu entorno imediato.

Deve-se considerar como parâmetro de 0 a 1 a seguinte situação:

- o somatório dos valores de acessibilidade sintática de todas as linhas axiais do sistema é determinado como valor 1;
- o somatório dos valores de acessibilidade sintática de todas as linhas axiais do sistema da área de abrangência do setor urbano é determinado a partir da fração que participa em todo o sistema;

A medida de desempenho distribuição dos caminhos alternativos equivale a 20% do total do índice de certificação de cidades.

4.3.3 Medida de desempenho: densidade e capacidade

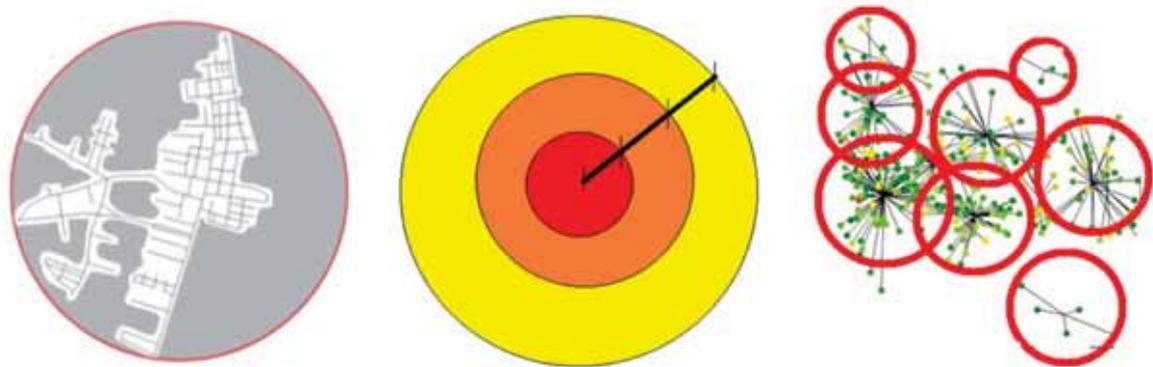
A medida de desempenho densidade e compaci-

dade enfatiza a otimização da maior distribuição num menor distanciamento espacial entre atividades residencial e não-residencial em consonância com o movimento de pessoas, especialmente o transporte não-motorizado e o transporte público.

O princípio fundamental do adensamento urbano é o desenvolvimento compacto. Setores urbanos compactos possuem várias atividades localizadas convenientemente próximas (escolher – comparar – obter), minimizando o tempo e custos necessários para alcançá-los, maximizando o potencial de interação. Com distâncias menores, setores urbanos compactos funcionam com infra-estrutura otimizada e, de algum modo, preservam os ambientes naturais em relação à ocupação urbana, ao priorizar o adensamento e reaproveitamento do solo já ocupado (TOD, 2013: 24).

Em termos de desempenho, a densidade e a compacidade denotam a eficiência dos setores urbanos, na medida em que setores urbanos contínuos e regulares, compactos e densificados aproximam pessoas, intensificam as diferentes atividades urbanas, otimizam os investimentos públicos, e são menos onerosos para sua manutenção. Estão associados à eficiência por corresponder, em certa medida, a processos sociais no espaço. São economicamente sustentáveis por fazerem uso intensivo do solo e distribuírem custos entre uma quantidade maior de usuários, dentre outras vantagens. O fator de ponderação da compacidade é definido de acordo com o índice que pondera as medidas da área de influência do setor urbano com a área do círculo circunscrito a partir do ponto de referência lote e/ou edificação (figura 03).

Figura 3: Diferenciações de densidade e compacidade. Fonte: original do autor, 2015. (Círculos circunscritos em diferentes escalas a partir da área de abrangência do lote e/ou edificação, desde a cidade como um todo até um ou mais setores urbanos).



Obtém-se o valor da densidade e compacidade do setor urbano a partir dos seguintes dados e expressão matemática:

$$\text{Dens_Comp} = \frac{m^2_{\text{res}/2} + m^2_{\text{ñres}} \cdot (f)}{ha}$$

Sendo f : fator de ponderação

$$\frac{m^2_{\text{área de abrangência}}}{m^2_{\text{área do círculo circunscrito}}}$$

Que deve ser lida como a medida de densidade e compacidade é igual ao fator de ponderação multiplicado pelo total da metragem quadrada construída residencial e não-residencial ($m^2_{\text{res}/2} + m^2_{\text{ñres}}$) de um setor urbano, nos limites da área de abrangência por hectare.

Onde:

Dens_Comp; densidade e compacidade;
 f ; fator de ponderação da compacidade consiste na metragem quadrada da área de influência do setor urbano, delimitado pela distância de 2 passos topológicos de acessibilidade sintática de um dado ponto de referência lote e/ou edificação, dividido pela metragem quadrada da área do círculo circunscrito, considerado πr^2 ;
 $m^2_{\text{res}/2} + m^2_{\text{ñres}}$; corresponde ao somatório da metragem quadrada construída residencial e não-residencial total da área de abrangência, sendo que a metragem quadrada construída re-

sidencial divide-se por dois. Considera-se que das viagens com base domiciliar, metade saem de casa e outra metade volta. Por este motivo, dividi-se pela metade o número de viagens produzidas de base residencial, pois se subentende que toda a viagem gera o retorno ao domicílio.
 $m^2_{\text{área de abrangência}}$; metragem quadrada total da área contida num sistema de vias delimitado pela distância de 2 passos topológicos de acessibilidade sintática de um dado ponto de referência lote e/ou edificação;
 $m^2_{\text{área do círculo circunscrito}}$; metragem quadrada total da área do círculo circunscrito num sistema de vias delimitado pela distância de 2 passos topológicos de acessibilidade sintática de um dado ponto de referência lote e/ou edificação;
 ha ; metragem quadrada total de um sistema padrão de quadra regular ortogonal, normalizado em 10.000 m²;

Deve-se considerar como parâmetro de 0 a 1 a seguinte situação:

- o total da metragem quadrada construída residencial e não-residencial ($m^2_{\text{res}/2} + m^2_{\text{ñres}}$) da área de abrangência dividido pelo total da metragem quadrada construída residencial e não-residencial ($m^2_{\text{res}/2} + m^2_{\text{ñres}}$) do círculo circunscrito é determinado com valores de 0 a 1 na base de cálculo do modelo.

A medida de desempenho densidade e compacidade equivale a 20% do total do índice de certificação de cidades.

4.3.4 Medida de desempenho: insumos naturais e antrópicos

No âmbito desta pesquisa insumos consistem em cada um dos elementos (naturais e antrópicos) necessários para a vida em sociedade nas cidades. Antrópico refere-se a tudo aquilo que resulta da ação humana sobre o meio ambiente natural. Cada ação antrópica, como por exemplo, morar, trabalhar e circular terá um impacto no meio ambiente natural que é conhecido como impacto ambiental.

Esta medida de desempenho contempla procedimentos que, comprovadamente, representem economia direta ou indireta de insumos naturais e antrópicos.

Obtém-se o valor dos insumos naturais e antrópicos do setor urbano a partir dos seguintes critérios:

Ins_NA:

- inovação tecnológica que resulte em fontes alternativas de energia (eólica, solar, fotovoltaica, biomassa) e eficiência dos dispositivos economizadores de água;
- redução dos incômodos e das diferentes formas de poluição: gerenciamento e seleção de lixo e resíduos inertes, tratamento adequado de esgoto, reutilização de água, programação visual e controle sonoro;
- planos, procedimentos e políticas públi-

cas de requalificação urbana em áreas de interesse para preservação do patrimônio histórico, cultural e natural;

- adequação dos serviços urbanos: iluminação; limpeza e segurança pública;
- medidas operacionais voltadas ao transporte, tráfego e trânsito que visem o desenvolvimento orientado ao transporte (TOD) e Traffic calming;
- cobertura vegetal urbana em termos de forma, quantidade, distribuição e tamanho, juntamente com a preservação e plantio de espécies nativas;
- urbanidade, solidariedade e co-presença;
- identidade, territorialidade e pertencimento;
- animação urbana, arte urbana e atividades culturais;
- a função social da propriedade no que concerne a adequação aos instrumentos do estatuto da cidade previstos em plano diretor.

Que deve ser lida como a medida de insumos naturais e antrópicos é igual a relação dicotômica entre critérios pré-definidos que devem ser atendidos pelo setor urbano.

Onde:

Ins_NA; insumos naturais e antrópicos

Deve-se considerar como parâmetro de 0 a 1 a seguinte situação:

- o somatório dos critérios determina valo-

res qualitativos (não e sim) na base de cálculo do modelo dicotômico, cujo somatório varie entre 0 (nenhum critério atendido) e 1 (todos os critérios atendidos).

A medida de desempenho insumos naturais e antrópicos equivale a 40% do total do índice de certificação de cidades.

5. Instrumento para a tomada de decisão junto ao planejamento e gestão urbana

Transformar dados em informação de modo a auxiliar gestores e planejadores urbanos na tomada de decisões estratégicas, operacionais e administrativas é o que se propôs ao vincular o Índice de Certificação de Cidades com fundamentos da tecnologia da informação. Entretanto, na prática raramente os sistemas de informação de cidades funcionam sistematicamente, pois são complexos, fragmentados e não respondem às necessidades imediatas.

Cidades a cada dia transformam partes de seu tecido urbano, e com isso necessitam de monitoramento constante, de modo que os regimes urbanísticos, que regem o parcelamento, o uso e a ocupação de áreas da cidade, estejam sempre atualizados e ajustados aos anseios e necessidades das pessoas. Neste sentido, a pesquisa contribui ao servir de base para ações que dizem respeito ao controle do uso do solo, estudos e relatórios de impacto ambiental e de viabilidade

urbanística, para os quais são necessárias técnicas de levantamento de dados para a atribuição das possíveis causas e consequências que a urbanização de determinadas áreas pode acarretar.

A falta de instrumentos aprimorados e adequados para detectar e diagnosticar os problemas existentes e avaliar decisões alternativas na prática do planejamento urbano pode ser um impedimento à gestão urbana satisfatória. Gestores públicos possuem com os índices, indicadores e modelos urbanos, valiosos instrumentos eficazes e rápidos para a tomada de decisões. Este repertório de informações a respeito do desempenho dos setores urbanos auxilia no planejamento de ações operacionais condizentes com as expectativas de todos os agentes envolvidos (população, comerciantes, poder público etc), suscitando impactos verdadeiramente positivos na implementação de melhorias da qualidade de vida na cidade.

6. Considerações finais

O desenvolvimento conjugado de índices e indicadores - tendo por base modelos urbanos, desde o ponto de vista da sustentabilidade de setores urbanos, é recente no cenário da produção de pesquisas em termos de aplicabilidade efetiva. O Índice de Certificação de Cidades contribui para ampliar o debate conceitual e metodológico em torno do desenvolvimento de novos instrumentos capazes de demonstrar diferenciações qua-

litativas e quantitativas da eficiência energética, com vistas à sustentabilidade social, econômica e ambiental em setores urbanos. Ao invés de servir como meio para explicações diretas de fatos observados, o Índice de Certificação de Cidades enfoca as diferentes possibilidades de relações e interações por detrás dos acontecimentos. Fornece aos gestores e planejadores urbanos a possibilidade de adquirir conhecimento sistemático do comportamento do sistema urbano, ao simular as transformações dos setores urbanos e cogitar suas implicações socioespaciais e técnico-ambientais.

Referências

ALEXANDER, C. **La estructura del medio ambiente**. Barcelona: Tusquets, 1980.

ECHENIQUE, M. El concepto de sistemas, modelos y teorías en los estudios urbanos. **Modelos Matemáticos de la estructura espacial urbana: Aplicaciones en América Latina** - Buenos Aires: Ediciones Siap, p. 13-46, 1975.

ALVAREZ, C. E.; SOUZA, A. D. S. ASUS: **Avaliação de Sustentabilidade**. 2011
Disponível em: <http://www.lppufes.org/asus/ferramenta.php#>
Acesso em: 21 dez. 2011.

BREEAM: BRE **Environmental & Sustainability Standard**. [S.I.]: BRE Global, 2009.

BROWN, M. T.; ULGIATI, S. **Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation**. *Ecological Engineering*, v. 9, n. 1-2, p. 51-69, set. 1997.

CHADWICK, G. F. **Una vision sistemica del planeamiento**. Barcelona: Gustavo Gilli, 1973.

CASBEE for New Construction: Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency. **Institute for Building Environmental and Energy Conservation**. [S.I.], 2008

DEGANI, C. M.; CARDOSO, F. F. **A Sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico**. NUTAU 2002 - Universidade de São Paulo – Escola Politécnica. São Paulo: USP, 2002.

GREEN STAR. **Green Building Council of Australia**. Australia: [s.n.], 2009.

HQE. **Haute Qualité Environnementale**. 2014.
Disponível em: <<http://www.behqe.com>>
Acesso em: 03 out. 2014

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

HOLANDA, F. **O espaço de exceção**. Brasília: EdUNB, 2002.

- LEED. **Lidership in Energy and Environmental Design**. For New Construction and Major Renovation. Washington, U.S. Green Building Council, 2009.
- LEE, C. **Models in planning**: an introduction to the use of quantitative models in planning. Oxford: Pergamon Press, 1973.
- PICCOLI, R.; KERN, A. P.; GONZÁLEZ, M. A.; HIROTA, E. H. **A certificação de desempenho ambiental de prédios**: exigências usuais e novas atividades na gestão da construção. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 69-79, jul./set. 2010.
- PINHEIRO, M.D.; SOARES, L. **Contributo para os mecanismos de ponderação dos critérios, no sistema Lidera, para avaliação e gestão ambiental da construção sustentável**. Lisboa, 2007.
- REES, W. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economies leaves out. *Environment and Urbanization*, v. 4, n. 2, p. 121-130, 1992.
- SAMUEL-JOHNSON, K.; ESTY, D. C. **Pilot Environmental Sustainability Index Report**. Davos (Switzerland): World Economic Forum: Annual Meeting, 2000. 41 p.
Disponível em: <http://sedac.ciesin.org/es/esi/ESI_00.pdf>
Acesso em: 12 out. 2014.
- SILVA, A. S. **Modelagem, mensuração e simulação do movimento de pedestres e veículos**. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PROPUR, Porto Alegre, 2010.
- SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; RO-MEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. *Ambiente & Sociedade*. Campinas v. X, n. 2. p. 137-148, jul.-dez., 2007.
- TOD – **Transit Oriented Development**. **Institute for transportation & development policy**. Disponível em: <<https://www.itdp.org>>
Acesso em: 27/09/2013
- UNITED NATIONS. **Agenda 21**. Rio de Janeiro: United Nations Conference on Environment & Development, 1992. 338 p.
Disponível em: <http://www.sidsnet.org/docshare/other/Agenda21_UNCED.pdf>
Acesso em: 12 nov. 2014
- VANZOLINI. Fundação Vanzolini. **Referencial Técnico de Certificação**: Edifícios do setor de serviços. AQUA®”. Alta Qualidade Ambiental. São Paulo: [s.n.], 2008.
- WEGENER, M. Operational urban models – state of the art. *Journal of the American Planning Association*, vol.60, n.1, p. 17 - 29, 1994.

