



**Vinicius Netto** é graduado em Arquitetura e Urbanismo, Doutor em Estudos Arquitetônicos Avançados, e Professor Associado da Universidade Federal Fluminense. Desenvolve e orienta pesquisas sobre Cidade como redes de segregação, Redes de informação e Redes de interação material. É autor dos livros *The Social Fabric of Cities* (Routledge, 2017) e *Cidade & Sociedade* (2014), e co-organizador dos livros *Efeitos da Arquitetura* (2017) e *Urbanidades* (2012).

**Edgardo Brigatti** possui Licenciatura e Doutorado em Física e é Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tem experiência na área da Física dos Sistemas Complexos, com ênfase em estudos interdisciplinares com aplicações nas ciências biológicas, sociais e econômicas

**João Meirelles** é graduado em Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio e Mestre em Modelagem de Sistemas Complexos. É pesquisador na Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suíça, onde estuda as dinâmicas do metabolismo urbano, valendo-se de análises de dados, modelagem matemática e simulações.

**Fabiano Ribeiro** é graduado e Doutor em Física, com Pós-doutorado em Física Estatística. É Professor Adjunto no Departamento de Física da Universidade Federal de Lavras. Tem experiência na área de física estatística, complexidade, e ciência das cidades.

**Caio Cacholas** é Arquiteto e Urbanista, Mestre em Arquitetura e Urbanismo e colaborador do grupo de pesquisa Cidade e Informação no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal Fluminense. Estuda os impactos da morfologia urbana na ambientação de espaços públicos, e tem experiência em desenho urbano e programação.

Como citar esse texto: NETTO, V. M.; BRIGATTI, E.; MEIRELLES, J.; RIBEIRO, F. L.; CACHOLAS, C. Cidades como informação. **VIRUS**, São Carlos, n. 19, 2019. [online] Disponível em: <[http://www.nomads.usp.br/virus/\\_virus19/?sec=4&item=1&lang=pt](http://www.nomads.usp.br/virus/_virus19/?sec=4&item=1&lang=pt)>. Acesso em: 13 Dez. 2019.

ARTIGO SUBMETIDO EM 18 DE AGOSTO DE 2019

Da física às ciências sociais, a informação é hoje vista como um aspecto fundamental da realidade. No entanto, uma forma de informação parece ainda subestimada, talvez precisamente por ser tão presente. Não entendemos completamente como cidades materializam informação, e como nossas mentes lidam com essa informação ambiental para aprender sobre o mundo, tomar decisões e participar do complexo sistema de interações sociais. Este artigo aborda três problemas que precisam ser resolvidos se quisermos entender o papel da informação ambiental: (1) o problema *físico*: como podemos preservar a informação no ambiente construído? (2) o problema *semântico*: como a forma física pode ganhar significado? (3) o problema *pragmático*: como usamos a informação ambiental em nossa vida cotidiana? Buscando respostas, introduzimos um modelo de três camadas de informação nas cidades, a saber: a informação ambiental no espaço físico, a informação ambiental no espaço semântico e a informação prática trocada pelos agentes. Propomos formas de estimar informação nessas diferentes camadas e aplicamos essas medidas em cenários simulados e em cidades emblemáticas em diferentes regiões do mundo. Nossos resultados sugerem que estruturas espaciais e padrões de uso do solo codificam informação, e que aspectos da informação física e semântica afetam a coordenação em sistemas de interação.

**Palavras-chave:** Informação, Cidades, Interação, Informação ambiental, Entropia

## 1 Introdução: sistemas complexos em relação

Olhe da sua janela. Você verá diferenças nas formas e tamanhos dos edifícios, alguns talvez mais altos e mais concentrados em certas partes da cidade. Você verá que esses edifícios estão conectados a ruas e que elas provavelmente também são diferentes entre si. Mesmo se você nunca esteve nesta cidade ou área antes, pode andar por ela e encontrar alguém ou algo que precisa em uma rua movimentada. Você pode se situar e encontrar seu caminho. Você nunca pensou sobre isso, mas essa é uma condição para estar no lugar onde está neste momento. Na verdade, você vive dentro de um *padrão*: a interação de relações reconhecíveis e variações entre espaços, uma mistura entre hierarquia e contingência, um balanço entre ordem e surpresa. Como esses padrões envolvem espaços tangíveis, as atividades das pessoas e suas possibilidades de fazer coisas juntas, essa é uma interação ao mesmo tempo *material*, *cognitiva* e *social* – tudo de uma vez. Você vive a interação de mentes, cidades e sociedades. Embora cada um desses sistemas seja complexo em si, o interessante é que eles acabam se relacionando. Trabalhando juntos, mentes, cidades e sociedades de alguma forma "se fundem" em um *único* sistema, imensamente interativo.

Este artigo trata sobre como usamos a informação em nosso ambiente para agir coletivamente nesse sistema híbrido. Trata da 'construção mútua da informação', tanto no ambiente quanto em nossa percepção e na 'tecitura da vida social'. Veremos a cidade como camadas de informação ambiental essencial para a interação e cooperação humanas. Para tanto, explora diversas teorias, como de informação, cognição e sistemas sociais. Por exemplo, aprendemos com a ciência cognitiva sobre como humanos se relacionam com a informação em seu ambiente. Várias abordagens afirmam que nossas mentes não apenas decodificam informação do ambiente, mas também se estendem ao ambiente (VARELA, et al., 1991; LAKOFF; JOHNSON, 1999). Desejamos explorar possibilidades relacionadas à essa ideia: como a informação é preservada no ambiente construído e como essa informação dá suporte a nossas interações.

Isso significa explorar a *transição da informação para a interação*. Essa transição parece estar no centro de um grande problema: como conectamos nossas ações de modo a criar uma sociedade? Como as ações *individuais* podem se desenvolver em um *sistema* coerente de interações? Como coordenamos as decisões individuais de um número enorme de pessoas? Vamos argumentar aqui que a maneira como nos organizamos em sociedade depende crucialmente de como lidamos com a informação em nosso ambiente.

Como isso acontece? Uma coisa que mentes, cidades e sociedades têm em comum é informação. Eles dependem dela. Mentem processam informação. Sociedades trocam informação para existir. O ambiente construído tem estruturas que podem conter informação. Esses sistemas processam, compartilham e preservam informação. Seria informação a ponte entre eles?

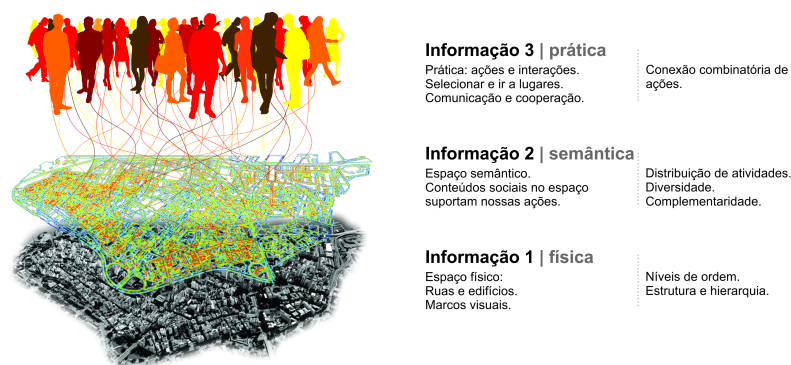
Entender as conexões entre mentes, cidades e sociedades requer vários passos metodológicos. Primeiro, vamos introduzir um modelo conceitual da 'cidade como informação' em três camadas. Depois, vamos propor medidas de informação para essas camadas, e aplicá-las a casos urbanos selecionados de diferentes regiões do mundo, e a cenários simulados.

## 2 Da informação à interação

O livro seminal de Shannon e Weaver (1949) estimulou a maioria das discussões sobre a informação. Curiosamente, Weaver oferece um caminho para entendermos a relação entre nossas mentes, ambiente e interação ao colocar três questões: "(A) Com que precisão os símbolos da comunicação podem ser transmitidos? (o problema técnico). (B) Com que precisão símbolos transmitem o significado desejado? (o problema semântico). (C) O significado recebido afeta a conduta da maneira desejada? (o problema da eficácia)". A relação entre cognição, ambiente e interação envolve questões análogas:

1. Como codificamos e decodificamos informação no ambiente? (o problema *físico*)
2. Como o espaço físico pode ganhar significado? (o problema *semântico*)
3. Como a informação ambiental afeta nossas ações? (o problema *pragmático*)

Veremos que a informação está de alguma forma embutida em espacialidades tangíveis que os humanos criam como seu ambiente. Por sua vez, a informação semântica é criada na forma de conteúdos significativos em edifícios e lugares associados a certas atividades. Parece que reconhecemos lugares como configurações relacionadas às nossas ações e a uma ideia compartilhada do que elas são. Finalmente, o problema pragmático envolve o modo como usamos informação ambiental para orientar nossas ações e criar interações. Propomos lidar com essas formas de informação em três camadas interativas e sobrepostas (Figura 1).



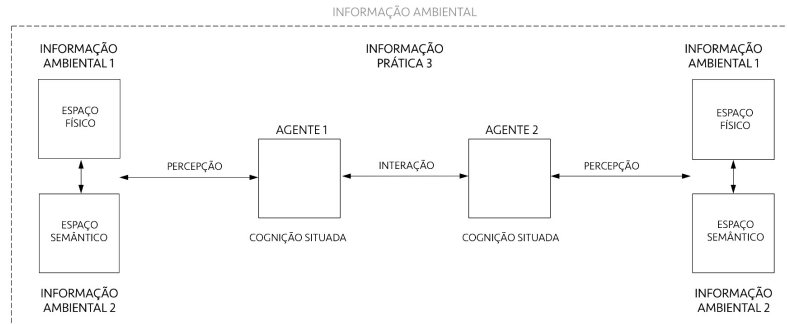
**Fig. 1:** Informação ambiental (1) espaço físico e (2) espaço semântico e informação encenada (3): componentes substantivos e propriedades mensuráveis. Fonte: Autores, 2019.

Teorias clássicas lidam com essas formas de informação em diferentes extensões. Por exemplo, a “imagem da cidade” de Lynch (1960) opera principalmente no nível da informação 1, uma vez que lida com caminhos e pistas físicas relacionadas à cognição e navegação. A sintaxe espacial de Hillier (1996) apreende padrões de acessibilidade em redes de ruas relacionadas à cognição, movimento e encontro. As redes de interrepresentação sinérgica de Haken e Portugali (2015) unem Shannon e a informação semântica como base para ações na cidade, mas sem o aspecto sistêmico da interação social.

Nosso modelo teórico coloca a camada física na base, como camada elementar e fundamental de informação relacionada à nossa cognição e navegação. A camada inclui o arranjo de elementos como edifícios e ruas, e as relações entre eles. Além disso, é uma forma de informação muito estável, que muda lentamente. Por sua vez, a camada semântica tem a ver com a forma como os edifícios e os locais suportam nossas ações. Sua estabilidade depende de quanto tempo as ações são realizadas nesses lugares e quanto tempo seus significados são retidos nas memórias das pessoas, por isso ela muda mais facilmente.

A informação ambiental 1 e 2 são inseparáveis, mas não são necessariamente intrínsecas uma à outra. Embora um edifício seja criado para suportar determinada atividade, ele pode ser usado para atividades diferentes no tempo, às vezes sem necessidade de adaptação física (por exemplo, uma casa se torna uma loja ou um escritório). Assim, a informação física tende a permanecer, enquanto a informação semântica depende das ações e memórias em curso proporcionadas pelo edifício. Finalmente, a camada de informação 3, prática, inclui os efeitos que os lugares e seus significados têm sobre os agentes, trazendo possibilidades de ação (KUPPERS, 2013). As ações incluem a fala, gestos corporais e a produção de sinais e objetos que carregam significado, e são, portanto, compreensíveis por outros agentes, desencadeando interações (HABERMAS, 1984). A informação 3 é criada na transição entre cognição, ambiente e interação. Ela envolve a informação ambiental sempre que usamos o ambiente ao nosso redor para tomar decisões individuais, atuar e nos comunicar.

Agora vejamos o que cada camada individualmente é e como elas interagem como um sistema único, unindo mentes, cidades e sociedades (Figura 2). O ambiente que nós, humanos, criamos é composto de estruturas tangíveis e não tangíveis, uma interação de espaços físicos (informação ambiental 1) e configurações de significados em espaços e lugares (informação ambiental 2). As pessoas ('agentes') codificam informação e decodificam informação do ambiente e relacionam-se a ele via percepção e cognição. Por sua vez, a cognição é situada porque se estende à ação e surge das interações entre agentes e seu ambiente. A cognição emerge das interações como processos distribuídos em operações coletivas entre agentes (HUTCHINS, 1995). Como veremos, essa extensão da cognição no ambiente e na maneira como agentes coordenam suas ações é a definição de "enação" (VARELA, et. al., 1991), ou o que chamamos de informação prática 3. A informação 3 engloba percepção, cognição e interações situadas e está profundamente relacionada a seu ambiente.



**Fig. 2:** Diagrama esquemático de um sistema geral de informação-interação. Fonte: Autores, 2019.

Naturalmente, todos esses itens e relacionamentos já foram muito pesquisados e precisam de definições detalhadas. Vamos abordá-los seguindo a arquitetura conceitual das três camadas.

### 3 Informação ambiental 1: o espaço físico

Desde o trabalho pioneiro de Shannon (1948) sobre a teoria matemática da comunicação, a noção de informação tomou outras disciplinas nos anos 1950 e 1960. Shannon chegou a uma descrição clara da informação através de uma definição probabilística de entropia, também explorada pelo físico Boltzmann (2015 [1873]) antes dele. Para ambos, a entropia é uma medida da incerteza de um sistema. Quanto maior o número de mensagens potencialmente transmitidas (SHANNON, 1948) ou o número de estados microscópicos distintos de um sistema termodinâmico (BOLTZMANN, 2015 [1873]), maior a entropia correspondente. Desde Boltzmann, a entropia está associada à desordem (PRIGOGINE; STENGERS, 1984). Arranjos físicos com maior entropia são caracterizados por níveis mais altos de aleatoriedade, imprevisibilidade ou incerteza. Por sua vez, os níveis de previsibilidade podem estar associados à ordem. As estruturas ordenadas contêm correlações como semelhanças, consistências e associações que são a "substância" da informação, como pedaços de "coerência acima e além das entidades de agrupamento e dispersão" (BATES, 2006, p. 1034).

O fato da informação poder ser codificada em estruturas físicas é interessante. A informação dura mais tempo quando preservada em entidades tangíveis (HIDALGO, 2015). Se os espaços físicos materializam informação, temos uma forma de expressar informação continuamente, enquanto essas espacialidades existirem. Podemos codificar informação no ambiente construído e decodificá-la enquanto vivermos nele. Isso abriria possibilidades cognitivas extraordinárias para guiar nossas ações.

Mas como podemos codificar informação no ambiente construído? Nesse momento, parece não haver uma resposta definitiva para essa questão. Pesquisas no campo da informação espacial parecem concentrar-se principalmente em como *decodificamos* informação do ambiente – por exemplo, o papel da percepção e elementos visuais na navegação e tomada de decisões espaciais (GARLANDINI; FABRIKANT, 2009). Já trabalhos empíricos em neurociência confirmam que algoritmos neurais 'integram' informação sobre lugar, distância e direção, formando mapas neurais orientados e organizados topograficamente do ambiente espacial. "Células-grade" no cérebro são ativadas sempre que nossa posição coincide com vértices de uma grade regular hexagonal abrangendo a superfície do ambiente, sendo críticas para nossos objetivos e planos de navegação (HAFTING, et al., 2005).

Uma possibilidade sob crescente atenção nesse campo é a de que *níveis de regularidade e previsibilidade* nos arranjos espaciais são cognitivamente úteis para ancorar nosso sistema interno de navegação (EKSTROM, et al., 2018). Podemos capturar níveis de informação física, reconhecendo a regularidade nas frequências de eventos espaciais no ambiente. Se esse for mesmo o caso, quanto maior a *variação* de elementos no ambiente, menores são as regularidades que permitiriam que entendamos mais rapidamente e façamos inferências sobre o espaço ao nosso redor. Mas quais arranjos espaciais contêm mais informação física?

Sugerimos que as pessoas criam informação 1 gerando níveis de ordem nos elementos mais profundos da forma construída: as agregações dos edifícios moldando o espaço urbano. Imagine a projeção de edifícios em um espaço bidimensional na forma de uma grade. Os edifícios ganham a forma de células e ocupam posições nessa grade, compondo arranjos como na Figura 3. Esses arranjos exibem diferentes níveis de *ordem*, aparentes na frequência das distâncias entre as células. Um caso extremo é o arranjo ortogonal (Figura 3, caso 1). Arranjos perfeitamente regulares como esse são situações raras no conjunto de arranjos possíveis – como gotas de ordem em um mar de estados desordenados. Na maioria dos estados, a distribuição de células tende a conter poucas correlações internas, como o segundo caso.

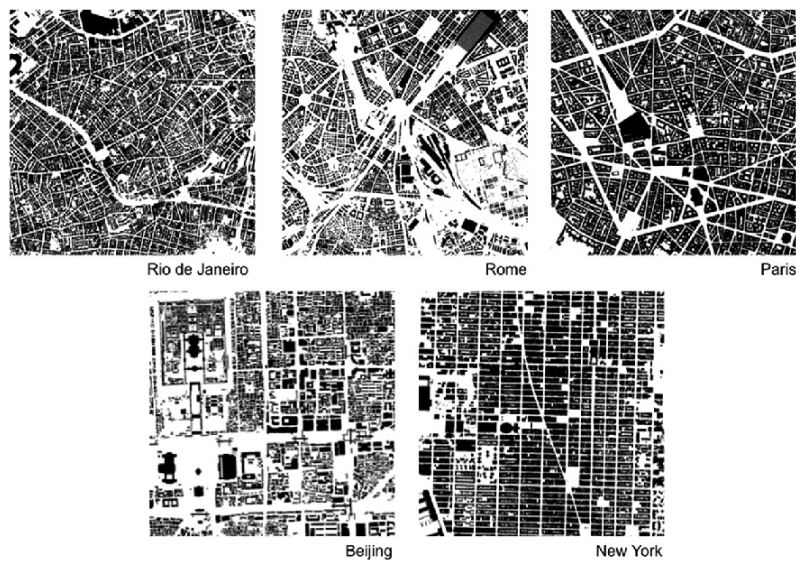


**Fig. 3:** Informação no espaço físico: arranjos com diferentes níveis de entropia. Fonte: Autores, 2019.

Propomos analisar os níveis de previsibilidade em arranjos físicos usando conceitos estatísticos. Uma medida da informação 1 deve ser capaz de apreender regularidades e variações nas configurações reais e diferentes situações urbanas. Para este propósito, sugerimos usar a medida de entropia de Shannon (1948). Como vimos, uma alta entropia corresponde a altos níveis de aleatoriedade ou imprevisibilidade. Em contraste, a presença de regularidades e padrões nas estruturas urbanas corresponde à menor entropia. Hipoteticamente, cidades com estruturas ordenadas ajudariam os agentes a entender seu ambiente, permitindo-lhes fazer previsões sobre áreas além de seus campos de visibilidade. As pessoas podem fazer inferências, memorizar layouts e navegar mais facilmente de um lugar para outro – digamos, apreendendo o padrão de quarteirões e interseções das ruas locais e inferindo a estrutura dos quarteirões à volta.

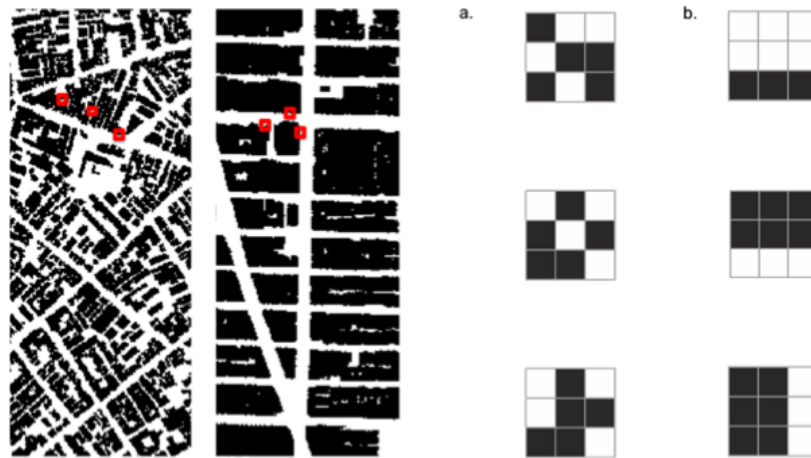
A medida de entropia espacial pode ser explorada para caracterizar áreas urbanas e cidades de diferentes regiões do mundo. É o que fizemos para casos empíricos emblemáticos (figura 4). Estamos cientes de que alguns casos selecionados não oferecem evidências para validar um modelo. No entanto, essas análises empíricas pretendem ilustrar o uso das medidas, mostrando sua utilidade para capturar níveis de ordem e informação em arranjos espaciais. A medida de entropia deve ser testada em relação às variações sutis em configurações urbanas reais.

Extraímos amostras de áreas geográficas de 9.000.000m<sup>2</sup> de repositórios de mapas públicos como o *Google Maps*, redimensionadas em 10002 pixels em sistema monocromático e convertidas em uma matriz de valores binários para células edificadas ou livres em um espaço bidimensional. Sabemos que essa é uma redução das complexidades reais, mas a abordagem deve ser capaz de descrever mínima e suficientemente a forma urbana – daí sua redução a agregações celulares.



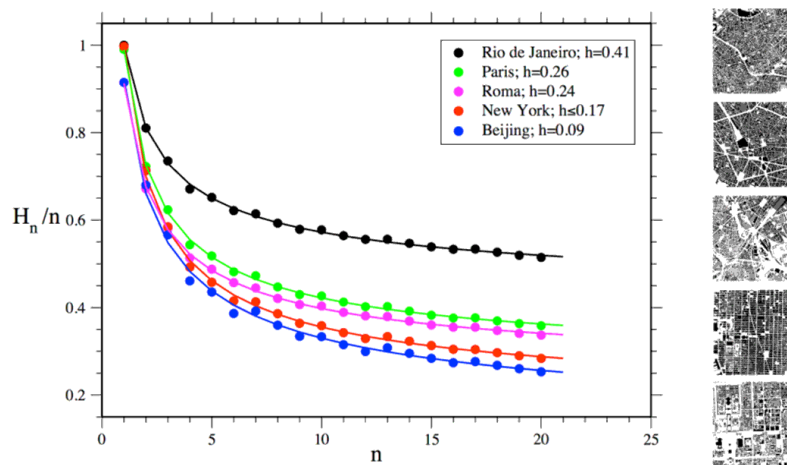
**Fig. 4:** Distribuições espaciais em cidades reais (9, 000, 000 m<sup>2</sup>, 1000 × 1000 células), extraídas do *Google Maps*. Essas seções serão usadas para calcular a entropia de Shannon e estimar o grau de desordem nos arranjos celulares. Fonte: Autores, 2019.

A análise percorre e estima as probabilidades de configurações distintas de células, e conta suas frequências nas estruturas reais (figura 5). Por exemplo, existem 512 configurações diferentes para blocos com nove células. O Rio de Janeiro (figura 5, esquerda) mostra uma grande variação de configurações do tipo (a). Por sua vez, configurações do tipo (b) são muito frequentes em Manhattan (figura 5, direita). Uma alta repetição das mesmas configurações aproxima a medida de entropia de 0, ou seja, níveis altos de previsibilidade e de informação física. Já uma baixa frequência de arranjos, com grande variação e imprevisibilidade aproximam a entropia de 1.



**Fig. 5:** Informação em arranjos celulares. Exemplos de blocos de nove células são mostrados em vermelho para áreas no Rio e Manhattan e ampliados à direita. O Rio mostra grande variação de configurações do tipo (a) indicando muitas formações irregulares, baixa previsibilidade e alta entropia. Configurações do tipo (b) são frequentes em Manhattan, contendo maior número de formações regulares, alta previsibilidade e baixa entropia. Fonte: Autores, 2019.

Os resultados para a estimativa de entropia em áreas das cinco cidades selecionadas são mostrados na Figura 6 (NETTO, et al., 2018; 2019). A área norte selecionada no Rio de Janeiro mostra o mais alto nível de desordem entre as cidades.

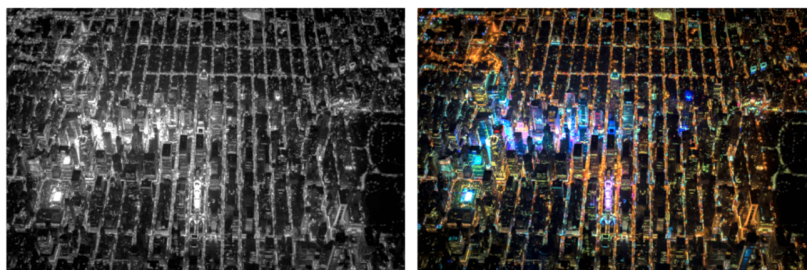


**Fig. 6:** Informação ambiental 1: valores estimados de entropia para áreas em cinco cidades selecionadas. Fonte: Autores, 2019.

É interessante notar como a informação física pode ser apreendida mesmo em pequenas escalas e que a desordem diminui à medida que o tamanho dos blocos de células analisados aumenta, e à medida que escalas maiores de ordem e correlação começam a importar. Níveis de regularidade no espaço físico parecem características informacionais úteis (HAKEN; PORTUGALI, 2015). No entanto, pode haver um limite para a natureza da informação que o espaço físico pode codificar. Que outros aspectos do ambiente podem preservar informação?

#### 4 Informação ambiental 2: o espaço semântico

O ambiente construído pode ganhar mais potencial de informação quando seus componentes assumem conteúdo social e associações com as ações das pessoas. No entanto, qual é esse potencial informacional? Podemos pensar na diferença entre a informação ambiental 1 e 2 como a diferença entre uma imagem em preto e branco e uma imagem colorida. Em comparação com os tons de cinza, as cores são mais diversificadas e contrastantes. Novas possibilidades surgem à medida que cada cor encontra sua própria paleta de tons, levando a um enorme aumento nas possibilidades combinatórias de cores e tons (Figura 7).



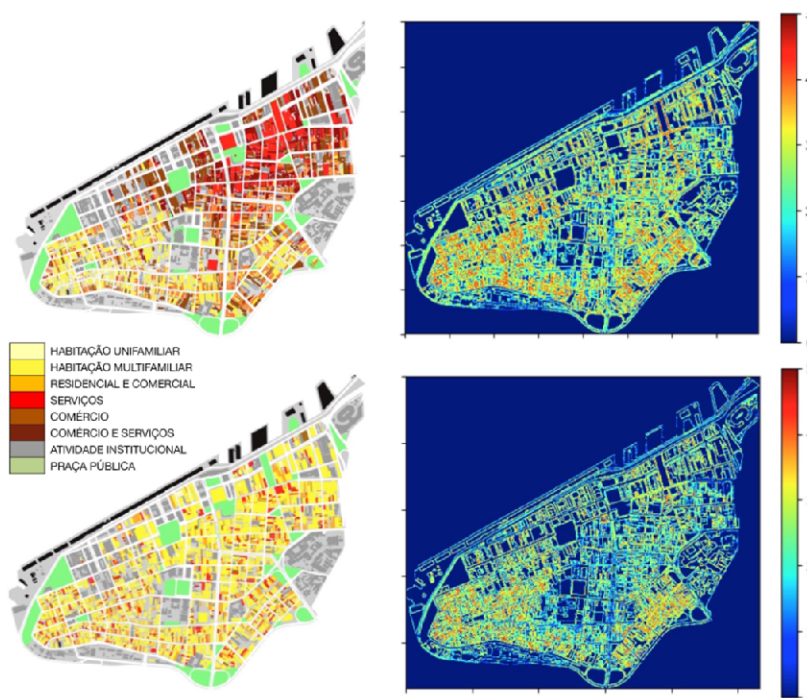
**Fig. 7:** As cores encontram sua própria paleta de tons, tornando-se mais diversificadas e contrastantes na passagem das escalas cinza para as coloridas, levando a um enorme aumento nas possibilidades combinatórias. Foto: Vincent Laforet.  
 Fonte: Acervo pessoal dos autores, 2019.

Muitos estudos em ciência cognitiva e informação espacial têm afirmado associações entre características físicas e conteúdos semânticos nas cidades. Certos processos cognitivos desencadeiam associações com elementos do ambiente através da incorporação de informação socialmente adquirida (TAYLOR, et al., 2011). A informação é classificada em categorias compartilhadas pelas pessoas (ROSCH, 1978). A probabilidade de um edifício ou lugar evocar uma representação mental compartilhada é reforçada pela sua aparência e identidade visual, juntamente com sua visibilidade e localização no ambiente e com a informação social associada às atividades realizadas lá (GOLLEDGE, 1992).

Mas como a informação ambiental semântica importa para nossas ações? Associações semânticas com lugares aumentam o poder do meio ambiente em nos informar (TAYLOR, et al., 2011; MCNAMARA, et al., 1992). Por exemplo, nos lembramos de um restaurante mais facilmente, se sabemos que ele está localizado perto de certa ou de outro restaurante. Padrões locacionais como esse funcionam cognitivamente: atividades de um mesmo setor frequentemente estarão localizadas próximas umas das outras, competindo ou estabelecendo formas de complementaridade, atraindo mais atenção do que se estivessem dispersas e isoladas.

A *similaridade* semântica já foi proposta como medida (MÜLLIGANN, et al., 2011). Argumentamos que outro ponto chave seria medir a *diversidade* de conteúdos sociais em edifícios e lugares. Propomos lidar com esses significados compartilhados por meio de *mapas semânticos* (TVERSKY, 1993). Mapas semânticos podem representar qualquer forma de conteúdo social no espaço urbano, incluindo no espaço público, como uma esquina com a presença de vendedores ambulantes, por exemplo. Os mapas podem não capturar interpretações e memórias individuais dos lugares, mas podem capturar seus significados *compartilhados*.

Esses significados fazem parte do nosso conhecimento de uma cidade e seu mundo social, e apoiam nossa compreensão do papel dos lugares no apoio a nossas ações e interações. Como qualquer tipo de conhecimento social e ambiental, ele deve ser construído heurísticamente, a partir de situações cotidianas. Para simplificar, escolhemos categorias clássicas em estudos urbanos: *usos do solo* variando de praças públicas a edifícios residenciais na nossa análise de duas áreas urbanas (Figura 8, à esquerda).



**Fig. 8:** Mapas semânticos: distribuição real (acima, esquerda), levantada por Maraschin (2014), e distribuição fictícia (abaixo, esquerda) dos usos do solo no centro de Porto Alegre. Os valores mostrados à direita (do azul para vermelho) mostram os níveis de diversidade entre células de usos do solo. Fonte: Autores, 2019.

A informação semântica pode ser medida como níveis de *diversidade* encontrados nas distribuições de uso do solo, uma forma de informação potencialmente atrativa para os agentes, analisando as adjacências locais entre edifícios ou células vizinhas. Temos de fazer isso usando um procedimento diferente do usado para analisar informação 1. Definimos um bloco de células correspondente a um quadrado. Dentro deste quadrado, medimos a distribuição dos usos do solo pela frequência dos diferentes usos. Por exemplo, em ambos os casos na Figura 8, há 8 tipos de uso do solo. Então estimamos o valor de informação para cada área. A análise gráfica identifica arranjos de alta diversidade nos mapas, correspondendo às interfaces entre usos do solo. A distribuição real é mais diversa do que a fictícia, sugerindo que suas células codificam mais informação semântica. Estes exemplos mostram a utilidade do método para capturar níveis de informação 2 em distribuições de conteúdos sociais nas cidades.

## 5 Informação 3: prática

Finalmente chegamos ao problema de como as pessoas usam a informação ambiental 1 e 2 para agir e interagir. Chamamos isso de "informação prática" ou informação 3. Essa informação trocada pelas pessoas a partir do que elas decodificam do ambiente vem sendo tratado como "enação" em estudos cognitivos, como em Varela et al (1991). A enação é "incorporada" no sentido de que nossa cognição depende da experiência de corpos com capacidades sensório-motoras "situadas" em um contexto biológico, psicológico e cultural mais abrangente.

Neste ponto, chegamos a um problema fundamental nas abordagens enativas: *como a coordenação surge entre os agentes?* A emissão e recepção de sinais na linguagem dá origem à modulação e coordenação entre nossas ações. Há comunicação efetiva somente se as interações resultarem nessa coordenação (STEWART, et al., 2010). Nesse ponto, entra o papel do ambiente construído e da informação ambiental. Edifícios e lugares mediam nossas interações. A camada semântica de informação ambiental oferece à camada 'enativa' um meio de estabelecer pontos em comum, um sistema de referências com uma granulação fina para podermos transmitir significados na nossa comunicação, e para podermos conectar nossas ações. Os lugares se tornam nós entre nossas ações.

Essas conexões acabam progressivamente levando a verdadeiras redes de interações entre lugares e pessoas e o que elas fazem juntas. Um espaço fisicamente e semanticamente estruturado se torna um referencial, uma forma de organização tangível para as interações.

Pense em um lugar onde você vai em sua vida cotidiana – digamos, em uma rua movimentada perto do seu trabalho. Você não vai até esse lugar arbitrariamente ou aleatoriamente. O ambiente físico e semântico 'informou' a você (ou ao navegador no seu smartphone) que esse lugar existe, e que era uma possibilidade para a sua ação, um meio de participar dessa situação. O ambiente físico e semântico tem um papel ativo no modo como você e outras pessoas conseguem atuar juntas, coordenando suas ações.

Além disso, essa situação pode ser extrapolada para outras. O que acontece lá tende a ter efeitos em cascata, com ações e seus resultados se conectando a outras ações e lugares, fundindo-se em uma enorme rede de interações que se desdobra em escalas cada vez maiores através de diferentes meios de comunicação e que estrutura o mundo ao seu redor, incluindo sua cidade e eventualmente outras cidades e regiões do seu país e do mundo. A informação ambiental torna-se um meio elementar de organização social – ou um meio de reduzir entropia. Essa ideia é consistente com as abordagens enativas: as pessoas se apoiam na informação ambiental para cooperar.

Mas há mais papéis para o ambiente em nossas interações. Imagine agora um problema sobre o qual raramente pensamos: como escolhemos as pessoas ou as atividades com as quais queremos interagir? Dado o enorme número de possibilidades de interações em uma cidade, como ambiente construído pode nos informar e nos ajudar a selecionar lugares e realizar interações?

Uma das coisas a saber aqui é se os diferentes padrões, como a acessibilidade física (informação 1) ou a distribuição das atividades no espaço (informação 2) afetam nossas escolhas e a combinação entre nossas ações. Por exemplo, diferentes níveis de diversidade das atividades podem ter efeitos diferentes nas ações das pessoas. Propomos avaliar as possibilidades de combinações de ações em diferentes cenários espaciais, como os da Figura 9.





**Fig. 9:** O arranjo semântico influencia a coordenação das nossas ações? Agentes convergem em uma distribuição fictícia, quase aleatória (esquerda), e em uma distribuição real e padronizada (à direita). Fonte: Autores, 2019.

Uma maneira de fazer isso é quantificar a informação ambiental disponível para as pessoas e suas decisões. Testamos essa ideia através de um modelo computacional (NETTO, et al., 2017). Nosso modelo é baseado em agentes (*agent-based model*, ABM) e inclui tipos de ação, localizações espaciais e temporais, situações (representadas por lugares de atividade) e parâmetros do comportamento do agente, como a capacidade de procurar e identificar situações sociais, tomar decisões baseadas em orientações pessoais, e mudar suas ações e o próprio ambiente semântico.

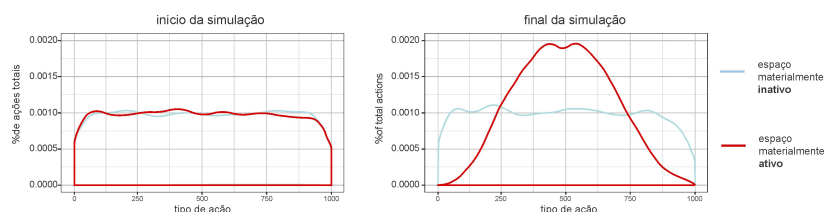
Por simplicidade, nosso modelo usa uma cidade fictícia, uma estrutura em anel capaz de representar os aspectos mínimos da informação ambiental 1 (a distância física entre lugares ou células) e informação 2 (as diferenças no conteúdo social dos lugares ou células). A forma anelar desta cidade permite o movimento contínuo através de uma sequência de lugares, eliminando fatores de centralidade, efeitos de borda e o papel da topologia.

Nossa hipótese é a de que (a) a proximidade física, parte da informação 1, tende a estimular as interações dos agentes (ALLEN 1977), e (b) a diversidade das atividades, parte da informação 2, aumenta o potencial de coordenação e cooperação entre os agentes, levando a reduções na entropia social.

Em cada iteração do modelo, os agentes selecionam e visitam uma célula específica dentro da cidade. A decisão sobre qual ação realizar pode ser influenciada por três condições diferentes: (i) a *orientação latente*, a tendência de um agente agir em torno de um tipo de ação baseado em memórias de longo prazo. Essa orientação é inicialmente distribuída aleatoriamente aos agentes, e ela permanece ao longo da simulação. (ii) A ação recente executada pelo agente enquanto ele seleciona um lugar de atividade para realizar uma nova ação. A influência da ação recente abre a possibilidade de mudanças de orientação no tempo. (iii) Lugares de atividades onde os agentes realizam o tipo de ação. Os agentes selecionam os lugares mais afins a suas orientações latentes e ações recentes, sendo influenciados por essas atividades. Os agentes também influenciam os lugares, mas estes mudam seu conteúdo em um ritmo mais lento. Isso quer dizer que os agentes co-evoluem com seu ambiente semântico.

O modelo então analisa a probabilidade de encontrarmos diferentes tipos de ação. No limite, quando a entropia cai para zero, todos os agentes no sistema alcançariam a mesma ação. No outro caso extremo, o de máxima entropia, os tipos de ação são tão variados que indicam pouca cooperação entre os agentes. Testamos dois tipos de cenários: um em que a proximidade entre as células (um aspecto da informação física) não é importante para os agentes em suas decisões (linha azul na Figura 10) e outra em que é importante (linha vermelha).

A Figura 10 mostra a distribuição de probabilidade dos diferentes tipos de ação no início (à esquerda) e no final (à direita) das simulações. O cenário em que os agentes escolhem os lugares para ir a partir da proximidade entre as células de atividade aumenta dramaticamente a cooperação. É como se os agentes aprendessem a flexibilizar seus interesses, aprendendo a coordenar suas ações a partir dos lugares que escolhem e os aproximam em torno de certos tipos de ação. Chegamos a esses resultados a partir de 30 execuções para cada uma das 125 combinações de parâmetros ( NETTO, et al., 2017).



**Fig. 10:** Entropia nas interações: as distribuições de probabilidade dos tipos de ação mostram altos níveis de entropia no início das simulações (esquerda) em dois cenários: onde a distância entre lugares de atividade não é considerada (linha azul) e onde a distância é considerada (linha vermelha). No final das simulações (à direita), o cenário onde a distância física

importa mostra convergência dos agentes em torno de certos tipos de ação, indicando cooperação a partir dos lugares de atividade. Fonte: Autores, 2019.

O modelo mostra que, quando agentes usam o critério da proximidade física na seleção de atividades, o espaço se torna um meio para estimular a cooperação. A informação ambiental "contamina" os agentes: eles tendem a alinhar suas ações através do conteúdo informativo dos lugares. Isso quer dizer que a probabilidade de certas interações aumenta. Em termos práticos, isso significa mais alinhamentos entre os agentes. Como um ambiente de informação, o ambiente físico e semântico cria diferenças nas probabilidades de interação, ajudando a resolver o problema combinatório de conectar ações na forma de um sistema.

## **6 Cidades como informação: observações finais**

Neste artigo, buscamos entender como analisar a informação contida no ambiente físico e semântico, e entender como humanos usam essa informação ambiental para coordenar suas ações. Trabalhos anteriores trataram apenas de aspectos dessas relações, como a informação espacial relacionada à cognição e navegação e redes sinérgicas como base para ações na cidade, sem o aspecto sistêmico da interação.

Para ligarmos a informação ambiental à interação dos agentes com o espaço, abordamos três questões: (i) Como codificamos e decodificamos informação no ambiente físico? (ii) Como o espaço físico ganha significado? (iii) Como usamos informação ambiental para coordenar nossas ações? Exploramos diferentes vertentes da teoria da informação e estudos cognitivos para propor (a) um modelo teórico de três camadas de informação nas cidades; (b) medidas de informação em cada uma das camadas; (c) um modelo computacional baseado em agentes para simular como aspectos da informação ambiental afetam a cooperação. Mais especificamente:

1. Analisamos a informação ambiental 1 nos arranjos celulares a partir da medida de entropia de Shannon, aplicada em casos empíricos selecionados de diferentes regiões.

2. Analisamos a informação ambiental 2 como uma função da diversidade semântica nas relações locais entre atividades urbanas ou usos do solo. A informação 2 é altamente diferenciada, servindo como um recurso de grande poder no processo de seleção e combinação de lugares e ações a serem realizadas.

3. Modelamos a influência do ambiente na informação 3 como tipos de ação em um ABM. A proximidade em configurações físicas (aspecto da informação 1) e os conteúdos semânticos no espaço (aspecto da informação 2) estimulam a convergência de tipos de ação entre agentes. Nosso modelo mostra que aspectos da informação ambiental no espaço físico e semântico contribuem para o aumento da coordenação das ações dos agentes nos sistemas de interação. A entropia das ações diminui à medida que os agentes co-evoluem com seu ambiente. Até onde sabemos, nenhum outro trabalho integra cognição, ambiente e sistemas sociais dessa forma abrangente.

Sociedades, enquanto sistemas de interação, precisam de uma alta capacidade para acessar e recombinar informação. Elas são "famintas por informação". Essa dependência demanda diferentes tipos de informação. Em que pese a adição de novas redes de transmissão de informação, como as digitais, algo ainda a ser verificado empiricamente, a informação ambiental parece ter um papel importante na criação e coordenação das nossas interações locais. O fato de as cidades preservarem informação social em seus espaços físicos e em suas estruturas semânticas seria uma parte elementar desse processo, e esse papel merece mais investigação. Somente por meio de uma estrutura que restrinja as possibilidades combinatórias quase infinitas da interação, um sistema pode adquirir estrutura interna suficiente para possibilitar sua própria reprodução.

A cidade nos ajudaria a converter um tremendo volume de informação em interação. Na verdade, nossa cognição, o ambiente e ações mostram ter uma conexão profunda. Esses sistemas parecem co-dependentes – e mais. Eles parecem se moldar mutuamente e emergir como um sistema completamente híbrido – mas *integrado*. Esta integração de mentes, cidades e sociedades só poderia acontecer através da informação. Informação é a ponte.

## **Referências**

ALLEN, T. **Cidades como Informacao\_Alteracoes marcadas\_Virus**. Cambridge, MA: MIT Press, 1977.

BATES, M. Fundamental forms of information. **J. Am. Soc. Inf. Sci. Technol.**, v. 57, p. 1033-1045, 2006.

BOLTZMANN, L. On the relationship between the second fundamental theorem of the mechanical theory of heat and probability calculations regarding the conditions for thermal equilibrium. **Entropy**, v. 17, p. 1971-2009, 2015. 1. ed. 1873.

- GARLANDINI, S.; FABRIKANT, S. I. Evaluating the effectiveness and efficiency of visual variables for geographic information visualization. In: **International Conference on Spatial Information Theory**. Nova Iorque: Springer, 2009. p. 195-211.
- GOLLEDGE, R. G. Place recognition and wayfinding: Making sense of space. **Geoforum**, v. 23, p. 199-214, 1992.
- HABERMAS, J. **The Theory of Communicative Action**. Cambridge, UK: Polity Press, 1984.
- HAFTING, T.; FYHN, M.; MOLDEN, S.; MOSER, M. B.; MOSER, E. I. Microstructure of a spatial map in the entorhinal cortex. **Nature**, v. 436, p. 801-806, 2005.
- HAKEN, H.; PORTUGALI, J. **Information Adaptation: The Interplay Between Shannon Information and Semantic Information in Cognition**. Nova Iorque: Springer, 2015.
- HIDALGO, C. **Why Information Grows: The Evolution of Order, from Atoms to Economies**. Nova Iorque: Basic Books, 2015.
- HILLIER, B. **Space is the Machine**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996.
- HUTCHINS, E. **Cognition in the Wild**. Cambridge, MA: The MIT Press, 1995.
- LAKOFF, G.; JOHNSON, M. **Philosophy in the Flesh**. Nova Iorque: Basic Books, 1999.
- LYNCH, K. **The Image of the City**. Cambridge, MA: The MIT Press, 1960.
- MARASCHIN, C. Dinâmica e resiliência das áreas comerciais: uma abordagem configuracional em Porto Alegre. Porto Alegre: UFRGS, 2014.
- MCNAMARA, T. P.; HALPIN, J. A.; HARDY, J. K. The representation and integration in memory of spatial and nonspatial information. **Mem. Cogn.**, v. 20, p. 519-532, 1992.
- MÜLLIGANN, C.; JANOWICZ, K.; YE, M.; LEE, W. C. Analyzing the spatial-semantic interaction of points of interest in volunteered geographic information. **International Conference on Spatial Information Theory**. Nova Iorque: Springer, 2011. p. 350-370.
- NETTO, V. M.; MEIRELLES, J.; RIBEIRO, F. Social interaction and the city: The effect of space on the reduction of entropy. **Complexity**, v. 2017, 2017.
- NETTO, V. M.; BRIGATTI, E.; MEIRELLES, J.; RIBEIRO, F. L.; PACE, B.; CACHOLAS, C.; SANCHES, P. Cities, from information to interaction. **Entropy**, v. 20, n. 11, p. 834, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/e20110834>>. Acesso em: ago. 2019.
- NETTO, V. M.; BRIGATTI, E.; CACHOLAS, C.; GOMES, V. Assessing Spatial Information in Physical Environments. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPATIAL INFORMATION THEORY (COSIT), 14., 9-13 set. 2019, Regensburg-Alemanha. **Proceedings...**
- PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. **Order out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature**. Nova Iorque: Bantam Books:, 1984.
- ROSCH, E. Principles of categorization. In: **Cognition and Categorization**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1978. p. 27-48.
- SHANNON, C.E. Communication theory of secrecy systems. **Bell Syst. Tech. J.**, v. 28, p. 656- 15, 1948.
- SHANNON, C.E.; WEAVER, W. **The Mathematical Theory of Communication**. Champaign: The Illinois University Press, 1949.
- STEWART, J.; STEWART, J. R.; GAPENNE, O.; PAOLO, E. A. D. **Enaction: Toward a New Paradigm for Cognitive Science**. Cambridge, MA: The MIT Press, 2010.

TAYLOR, H.; WANG, Q.; GAGNON, S. A.; MADDOX, K.; BRUNYÉ, T. The social connection in mental representations of space. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPATIAL INFORMATION THEORY (COSIT), 2011Berlin/Heidelberg. **Proceedings...**

TVERSKY, B. Cognitive maps, cognitive collages, and spatial mental models. In: CAMPARI, I.; FRANK, A. (Eds.) **European Conference on Spatial Information Theory**. Nova Iorque: Springer, 1993. p. 14-24.

VARELA, F.; THOMPSON, E.; ROSCH, E. **The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience**. Cambridge, MA: The MIT Press, 1991.

WEAVER, W. Recent contributions to the mathematical theory of communication. In: **The Mathematical Theory of Communication**. Champaign, IL: The Illinois University Press, 1949. p. 1-28.

---