

Práticas contemporâneas de geocomputação aplicadas ao ambiente urbano digital

Contemporary practices in geocomputing applied to digital urban environment

Otávio Martins Peres^[a], Maurício Couto Polidori^[b]

^[a] Mestre, arquiteto, urbanista, pesquisador, Laboratório de Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAUrb/UFPel), Pelotas, RS - Brasil, e-mail: otmperes@gmail.com

^[b] Doutor, arquiteto, urbanista, professor, Laboratório de Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAUrb/UFPel), Pelotas, RS - Brasil.

Resumo

A dinâmica espaço-temporal urbana é um processo de difícil apreensão, pela elevada quantidade de fatores presentes na cidade e na paisagem que integra, pelas suas estreitas relações e diferentes escalas. Para esse enfrentamento, a ciência urbana demanda novas ferramentas que contemporaneamente ganham em rigor geoespacial, possibilidades representativas, e simultaneamente passam a envolver a variável temporal. Associando conceitos e práticas da ciência do espaço, da modelagem urbana e dos sistemas computacionais, o objetivo do trabalho é trazer à tona um conjunto de instrumentos para abordar o ambiente urbano de modo digital, possibilitados a partir de recursos das geotecnologias. O trabalho apresenta aplicações de diferentes sistemas de informações geográficas (SIG) no campo da ciência, dos serviços e para auxiliar no suporte à tomada de decisões. Da convergência entre as geotecnologias, das cidades visuais e da geocomputação, ambientes urbanos do presente, passado e futuro podem ser virtualmente replicados em ambientes digitais, permitindo avanços nos campos analítico e experimental, e podem ser auxiliares na produção de conhecimento a respeito do fenômeno urbano.

Palavras-chave: Geocomputação. Modelagem urbana. SIG.

Abstract

The space-time urban dynamics is a difficult process to understand for its high quantity of factors present in the city and in the landscape it integrates by its close relations and different scales. For this confrontation, urban science demands new tools which contemporaneously gain in geospatial, representative possibilities and simultaneously tend to involve the temporal variable. Associating concepts and practices of space science, of urban modeling and of computational systems, this work aims to bring out a set of tools to approach urban environment from a digital perspective, possible from geotechnology resources. This study presents applications of



different geographic information systems (GIS) in the science field, of the services and as an auxiliary in the decisions-making support. From the convergence between the geotechnologies, visual cities and geocomputation, urban environments of the present, past and future can be virtually replicated in digital environments, allowing advances in the analytical and experimental fields and can be auxiliaries in the production of urban phenomenon knowledge.

Keywords: *Geocomputing. Urban modeling. GIS.*

Introdução

Para melhor compreender o fenômeno urbano é preciso trabalhar com as suas dinâmicas, não só para compreender as suas mudanças, mas também para melhor compreender os processos que a provocam, os fatores que a condicionam e os padrões espaciais recorrentes e intrínsecos à cidade. O paradigma contemporâneo da ciência urbana está em abordar a cidade como um processo dependente de múltiplos fatores, em que se fazem cada vez mais necessárias abordagens que envolvam a perspectiva espaço-temporal. Assim como os sistemas urbanos, que por muito tempo foram abordados como se fossem objetos inertes, os recursos e instrumentos utilizados para representar o fenômeno seguem a uma mesma lógica. Planos, projetos e sistemas de informações sobre as cidades tradicionalmente apresentam limitações no que se refere à escala do tempo, geralmente alcançando um curto ou inexistente horizonte temporal (PORTUGALI, 2000; BATTY, 2007, 2009).

Dessa forma, abordagens contemporâneas sobre o fenômeno urbano, além envolver as tradicionais variáveis geométrico-espaciais, necessariamente devem envolver também a variável temporal. Para questões analíticas sobre o espaço, o processo de evolução urbana, a forma como ocorreria o crescimento espacial e as dinâmicas de reconstruções internas são de fundamental importância. Para a elaboração de planos e projetos, a simulação e a representação de cenários futuros representam e possibilitam que hipóteses sejam previamente testadas. Para a valorização da memória e da identidade urbana, reproduzir, relacionar e experimentar vivências em ambientes urbanos que não mais existem passa a ser possível em ambientes digitais.

Entretanto, o processo da dinâmica temporal urbana é de difícil apreensão pela elevada quantidade de fatores presentes na cidade e na paisagem que

integra, pelas suas estreitas relações e diferentes escalas, pelo grande tamanho da cidade e pela ocorrência de mudança no curto e no longo prazo (LONGLY; BATTY, 2003; ALLEN, 1997, respectivamente). Para isso, este trabalho procura se associar a conceitos e práticas contemporâneas da ciência espacial, da modelagem urbana e dos sistemas computacionais, pressupondo um caminho para abordar a variável temporal, em que o fenômeno possa ser encarado sob a sua perspectiva sistêmica.

O objetivo do trabalho é trazer à tona um conjunto de instrumentações para abordar o ambiente urbano de modo digital, possibilitadas a partir de recursos das geotecnologias, que envolvem recursos de sistemas de informações geográficas (SIG), práticas de modelagem urbana e avanços sobre a representação gráfica digital das cidades. Por fim, o trabalho ainda indica os avanços recentes no que se refere às possibilidades de disponibilização, colaboração e experimentação desses instrumentos a partir dos chamados *planetas digitais*, como o *software* Google® Earth, que são que verdadeiros portais individuais para a imersão nesses ambientes urbanos virtuais.

Recursos teóricos

Este título está organizado em três subtítulos, de modo a facilitar a revisão sobre conceitos em que este trabalho, de caráter prático-descritivo, está apoiado. O primeiro trata de alguns conceitos e distinções do campo das geotecnologias. O segundo fundamenta o campo da modelagem urbana, suas origens, classificações e a associação aos ambientes computacionais e da geocomputação. O último refere-se às múltiplas possibilidades de representação digital do ambiente urbano, que conjuntamente caracterizam o fenômeno das cidades visuais.

Geografia urbana e a computação

Geotecnologias podem ser entendidas como um conjunto de recursos dedicados à compreensão do território, cujas ferramentas e abordagens multidisciplinares permitem uma forma de redescobrir o mundo, o que pode ser particularmente feito em relação à cidade (BATTY, 2009). As geotecnologias são tomadas menos como um conjunto de ferramentas computacionais e mais como um novo paradigma que alicerça estudos espaciais, como sugere Buzai (2003), ao encadear as ações de inventário, diferenciação, interação, significância e temporalidade.

Dentre as possibilidades das geotecnologias, os SIG se destacam no campo técnico e operacional, facilitando a aquisição, o tratamento, as análises e o arquivamento das informações espaciais (CÂMARA, 2001). Dentro dos recursos utilizados pelos SIG existem dois métodos de representação das feições geográficas: os dados vetoriais e os dados *raster*. Na representação vetorial as feições são mapeadas em plano bidimensional, como pontos, linhas ou polígonos, em um sistema de coordenadas. Pontos são definidos por uma única coordenada (como postes e árvores); linhas são constituídas por vários pontos ou vértices interligados, constituindo vetores (como estradas, rios e eixos de ruas); polígonos são áreas delimitadas por várias linhas (como lotes, lagos e edificações). Na representação *raster* as feições são representadas por uma grade retangular (*grid*) ou matriz finita de células, as quais normalmente são retangulares e com qualquer resolução ou tamanho. Cada célula possui um valor associado, que pode representar o tipo de solo, tipo de vegetação, densidade populacional, declividade ou outro dado de interesse para o projeto.

Como comumente tem sido tratada, a aplicação dos SIG (ou GIS – Geographic Information Systems) podem ser melhor descritas a partir das suas vertentes GISystems, GIScience e GIService (LONGLEY et al., 2001; NYERGES; JANKOWSKI, 2010). A vertente dos GISystems pode ser definida a partir de três perspectivas: dos seus componentes (*hardware, software, dados, pessoas, sensores, etc.*), seus processos (coleta, armazenamento, análise, disponibilização, interação, etc.) e suas motivações ou finalidades (consulta, gerar conhecimento, auxiliar na tomada de decisões, etc.). A vertente GIScience, envolve um sistemático tratamento dos dados e do próprio ins-

trumento para testar ou gerar conhecimento, relacionando atributos espaciais, a variável temporal e as inter-relações que ocorrem entre os diferentes subsistemas. Já os serviços possibilitados pelos SIG (GIService) envolvem desde os mais complexos sistemas de suporte à tomada de decisões que rodam em supercomputadores, até o desenvolvimento de aplicativos geográficos (*geographic applications* ou *geo app*) que rodam nos dispositivos móveis, individuais, interativos e com acesso à web.

Associando essas três vertentes de aplicação dos SIG, a geocomputação tem sido referida como o uso de diferentes tipos de dados espaciais e como o desenvolvimento de ferramentas para a ciência espacial, de modo a potencializar a solução de diversos tipos de problemas, assumindo grande importância para a investigação científica (LONGLEY et al., 2001; FOTH, 2009). Essas ferramentas enriquecem as abordagens espaciais com recursos de inteligência artificial e permitem associação a teorias e a verificação de hipóteses, com intenso uso de recursos computacionais (VAN LEEWEN; TIMMERMANS, 2006).

Modelagem urbana

Por seu turno, a ciência urbana, na sua vertente morfológica, espacial (ECHENIQUE, 1975; ALLEN, 1997; BATTY, 2007, dentre outros), tem construído ao longo de cada período da sua curta história diferentes formas de representação e avaliação das cidades. Modelos urbanos são representações do ambiente da cidade, onde, pela captura de uma determinada realidade, o fenômeno urbano pode ser reproduzido, controlado e explorado. A ciência da modelagem urbana tem apresentado significativos avanços nas últimas décadas, principalmente a partir do desenvolvimento e popularização dos sistemas computacionais (ECHENIQUE, 1975; BATTY, 2009).

A partir dos anos 60, a ideia de modelar a cidade passa a estar intimamente relacionada com o desenvolvimento de plataformas computacionais, a popularização dos computadores pessoais e a recente operacionalização da rede mundial da internet. Para a ciência espacial urbana, esses avanços significam a possibilidade de representação abstrata por meio da linguagem matemática, o que permite que modelos passem a ter um significado complementar e até mesmo sinônimo do termo *teoria* (BATTY, 2007). Ou

seja, bons modelos e boas teorias convergem como diferentes maneiras de representar determinadas concepções dos sistemas urbanos, ambos buscam maneiras simplificadas e eficientes de fazer esta representação (ECHENIQUE, 1975). Contemporaneamente, modelos são essenciais para articular o presente e o futuro das cidades; são representações das funções e processos que configuram a estrutura espacial urbana, geralmente relacionados a programas computacionais que permitem alocar teorias a serem testadas ante os dados e explorar finalidades preditivas de padrões locais emergentes (BATTY, 2009).

Batty (2007) indica que modelos podem ser classificados a partir da mídia utilizada para representá-lo, material ou digital, e destaca a classificação dos modelos quanto a sua formalização, se icônicos ou simbólicos. Modelos icônicos seriam representações de um sistema real, geralmente em escalas reduzidas, que pode ser tanto em meio material quanto digital. Já modelos simbólicos são aqueles em que se substitui o sistema físico-material pela lógica matemática e assumem-se capacidades preditivas e exploratórias. Antes do advento da computação digital, tratava-se principalmente de modelos icônicos, construídos com materiais tradicionais e utilizados como representação estática de planejamentos físicos da cidade, entretanto se fazia presente a necessidade de desenvolvimento de ferramentas com capacidades de planejamento urbano (BATTY, 2007).

Atualmente, interage-se com ambientes computacionais quase exclusivamente através de interfaces gráficas (HUDSON-SMITH, 2007), o que indica um caminho a superar a classificação de modelos em icônicos e simbólicos. Modelos urbanos significam estruturas cada vez mais diversas e ricas, com seus poderes analíticos e preditivos cada vez maiores, e buscam articular a abstração da lógica matemática a representações gráficas digitais cada vez mais realistas (BATTY, 2007). O paradigma da modelagem urbana passa então a envolver a ideia de simbolismo e de representação icônica, simultaneamente. O processo de modelagem do ambiente da cidade contemporâneo deve então corresponder a essas diferentes ideias de modelagem; porém, o desenvolvimento de modelos que efetivamente articulem essas ideias ainda é um campo a ser amplamente explorado, com poucos avanços operacionais.

Cidades visuais

No campo da visualização urbana, ao longo da história tem-se buscado diferentes formas de representações da realidade, com diferentes propósitos, para diferentes audiências e por diferentes meios. A possibilidade de representar a realidade a partir de meios digitais e virtuais, graças aos grandes avanços computacionais das últimas décadas e à possibilidade de uma ampla disponibilização destes pela internet, nos permite hoje replicar as experiências visuais dos diferentes ambientes das cidades e facilmente disponibilizarmos a outros usuários, em um fenômeno classificado como *cidades visuais* (HUDSON-SMITH, 2007).

Segundo o autor, cidades visuais seriam representações do ambiente construído da cidade, por meio dos equivalentes de tijolos e argamassas em ambientes virtuais, que nada mais são que linhas, polígonos, texturas e principalmente dados. Cidades visuais são uma nova possibilidade de representar o espaço da cidade de forma cada vez mais rápida, com cada vez mais precisão. Quando tratamos de cidades visuais, estamos concentrados na busca por formas de representações que nos permitam gerar melhor compreensão do ambiente construído. A representação e distribuição das cidades visuais passa pela revolução dos mundos digitais, a reemergência da geografia ou a neogeografia (HUDSON-SMITH, 2007), em que computadores pessoais *online* na internet possibilitam usuários explorar o globo terrestre através de *softwares* como Google Maps, Google Earth, Microsoft's Virtual Earth, ESRI's ArcExplorer, e o NASA World Wind, dentre outros (HUDSON-SMITH, 2007).

Esses "planetas digitais" que disponibilizam informações geográficas de diferentes maneiras vêm a suprir uma alta demanda de representação dos ambientes geográficos e avançam, em suas mais recentes versões, nas possibilidades da representação tridimensional, questão central para a compreensão e percepção das cidades visuais. Hudson-Smith considera que a plataforma Google Earth tem capitaneado os avanços das possibilidades de representação geográfica desses programas e correntemente é o mais utilizado – nele, recentemente emergem possibilidades de explorar o ambiente geográfico em três dimensões, simular a incidência solar e o enriquecer do ambiente com a disponibilização de modelos tridimensionais e mosaicos de imagens de múltiplas resoluções, avanços

que representam grandes possibilidades de explorar a visualização do ambiente urbano.

Recursos instrumentais

Neste título estão apresentados recursos associados às geotecnologias e dedicados à representação digital do ambiente urbano. Buscando maior unidade aos dados apresentados, todos os recursos estão aplicados ao ambiente da cidade de Pelotas, RS. São diversas aplicações, desenvolvidas e publicadas por diversos pesquisadores associados à Universidade Federal de Pelotas. Os recursos são, na maioria dos casos, desenvolvidos pela célula do Laboratório de Geoprocessamento (LabGeo) e aplicados como auxiliares às práticas de ensino, pesquisa e extensão no Laboratório de Urbanismo (LabUrb), ambos sediados na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da referida universidade.

Sistemas de Informações Geográficas

Cada vez mais se utiliza recursos dos SIG, nos mais diversos campos da ciência, pelas mais variadas pessoas e organizações pelo mundo. No contexto urbano suas aplicações vão desde simples base de dados para consulta, passando por aplicações na ciência espacial urbana, até o desenvolvimento de sistemas de suporte à tomada de decisões (GISystems, GIScience e GIService, respectivamente).

SIG cadastrais, consultivos

A aplicação mais simples que se pode ter de um SIG é para o simples cadastro e consulta de dados geográficos. O ambiente geográfico digital permite o armazenamento de informações em que o atributo espacial é de fundamental importância, como ocorre com todos os dados referentes à realidade urbana. Diferentemente da simples aplicação dos recursos geométricos da linguagem CAD (computação aplicada ao desenho), o mapeamento urbano associado aos recursos SIG permitem ampliar o conjunto de dados geométricos, associando a eles textos, tabelas, fotografias e vídeos. Ainda, ao assumir uma forma de georeferenciamento permite que um determinado SIG

seja relacionado com outro, mantendo sua posição relativa no globo terrestre (LONGLEY et al., 2001).

No caminho dos SIG cadastrais, com motivações de armazenamento e consulta, desde o ano de 2001 vem sendo desenvolvido no LabGeo um SIG do Patrimônio Cultural e Ambiental de Pelotas, RS. Dentro do conjunto de informações sobre o ambiente da cidade de Pelotas, o "SIG evolução" compila um conjunto de documentos e dados geográficos que representam o processo de evolução urbana (SILVA; POLIDORI, 2004). Os mapas aerofotogramétricos, plantas e cadastros estão neste SIG espacialmente relacionados, permitindo um panorama morfológico e dinâmico sobre a evolução urbana da cidade. A partir da vetorização dos dados dos loteamentos e imagens originais no formato *raster*, conforme Figuras 1B e 1C, mantidas as informações referentes à escala temporal, conjuntamente é possível a descrição espacial do processo de evolução urbana, conforme Figura 1A.

SIG interativo, *web-based*

Outra aplicação de recursos SIG à documentação do ambiental urbano que vem sendo desenvolvido é a sistematização do inventário do patrimônio cultural. A realização de um inventário do patrimônio visa a contribuir como ferramenta de resguardo do patrimônio, bem como colaborar com processos de educação patrimonial, facilitando o autoconhecimento de uma comunidade e o fortalecimento de sua identidade. Nesse sentido, a sistematização em um ambiente SIG, se amplamente disponibilizado à sociedade, pode contribuir fortemente para atingir os objetivos do inventário (POLIDORI et al., 2001).

O SIG do Inventário do Patrimônio Cultural de Pelotas compila dados de naturezas distintas, referentes ao patrimônio edificado e da paisagem natural da cidade, reunindo um conjunto de dados bidimensionais, mapas, textos, fotos e vídeos. O SIG está disponibilizado na Internet (<http://faurb.ufpel.edu.br/siphpel>), mediante integração de linguagem HTML (*Hypertext markup language*), Flash e MapView SVG (marcas registradas da Adobe e ESRI, respectivamente). No ambiente *web*, o usuário da web interage com o SIG, realizando a consulta desejada, inclusive possibilitando correlações entre os dados. A Figura 2 apresenta as interfaces: principal (Figura 2A) e dados bidimensionais no formato de mapas e de

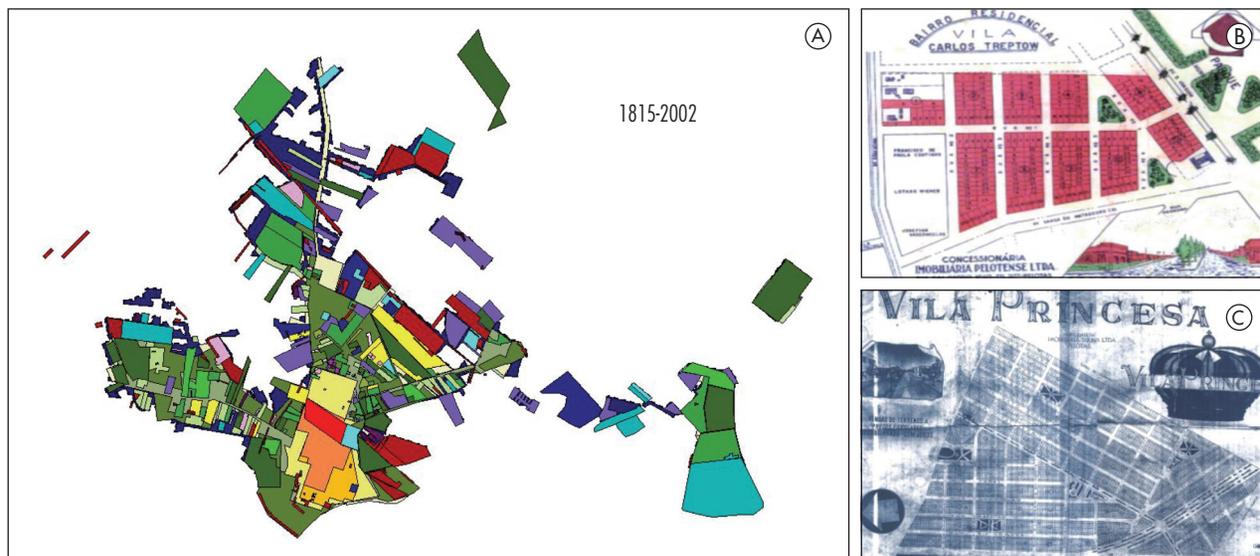


Figura 1 - Mapas da evolução urbana da cidade de Pelotas, compilados em um SIG
Fonte: SILVA; POLIDORI, 2004.



Figura 2 - Interfaces do SIGweb do Inventário do Patrimônio Cultural de Pelotas
Fonte: UFPE, 2001.

disponibilização de imagens associada aos mapas (Figura 2B).

Historiografia, modelagem e simulação urbana

Em estudos dedicados ao histórico processo de crescimento urbano, uma das grandes limitações está na consistência dos dados, principalmente pelo grande intervalo temporal e pelo nível de agregação espacial em que geralmente ocorre a documentação histórica, impossibilitando assim um melhor enten-

dimento sobre o processo de mudança. Paradigmas contemporâneos da historiografia urbana são muito semelhantes ao da ciência urbana, haja vista que o objeto em questão é o mesmo, a cidade, e mesmo em campos disciplinares distintos a questão contemporânea está em observar o fenômeno como um sistema emergente e dinâmico (JANSEN, 2001).

Nesse caminho, a historiografia urbana sistêmica tem se desenvolvido como um campo teórico que busca novas formas de recuperar e/ou reconstruir os processos urbanos históricos, no qual se incluem estudos da historiografia a partir da prática da modelagem de sistemas (JANSEN, 2001), assim como a

emergência do uso das narrativas da história oral e imaginária (PESAVENTO, 2007), os estudos da história ambiental e da ecocrítica (DRUMMOND, 1991).

Reconstrução do tecido urbano passado através da exclusão das centralidades mínimas

Associado ao quadro teórico da historiografia urbana sistêmica, a seguir está apresentado um procedimento metodológico, com desenvolvimento ainda em caráter exploratório, mas de real potencialidade para auxiliar na reconstrução de padrões espaciais urbanos do passado. O procedimento está proposto para inferir, simular, capturar tecidos urbanos a partir de mapas de eixos atuais e configurações espaciais do histórico processo do crescimento das cidades, procurando um caminho para superar as tradicionais limitações dos intervalos temporais em que ocorrem a documentação direta da evolução urbana, potencial para aproximar estudos da historiografia urbana tradicional à teoria de sistemas, a morfologia e a modelagem urbanas.

O procedimento se utiliza do *software* Medidas Urbanas e do modelo de Potencial-Centralidade. Apoiada na lógica da teoria dos grafos, a medida de centralidade é um modelo de diferenciação espacial baseado em conectividades, distâncias e interações entre espaços urbanos, considerando a distribuição desigual de estoques edificados. Em um dado tecido urbano, a medida de centralidade trata da distribuição desigual de matéria urbana sobre o espaço, a qual conduz o sistema a um estado de desequilíbrio espacial. A medida não deve ser tomada apenas como a descrição espacial de uma dada morfologia, mas sim como um indicador de desequilíbrio do sistema espacial, capaz de configurar um conjunto de forças que enunciam vetores de crescimento urbano futuros. Dessa forma, a distribuição de centralidades também pode configurar uma paisagem de oportunidades de produção econômica do espaço urbano, onde os locais de menor centralidade caracterizam as oportunidades de desenvolvimento de áreas urbanas ainda pouco agenciadas, portanto disponíveis.

Embora originalmente concebida como uma medida estática, é evidente a possibilidade de abordagem dinâmica, pois a partir da adição de estoques construídos em locais de maior potencialidade ao

crescimento o processo torna-se iterativo, permanente e dinâmico, uma vez que as vantagens iniciais tendem a mudar com a dinâmica urbana (POLIDORI, 2004). No sentido inverso, se tomarmos a descrição das centralidades atual de um determinado sistema, os eixos de menor centralidade representam os locais onde ocorreria o crescimento urbano.

Partindo de um atual mapa de ruas da cidade, o procedimento trata da exclusão das centralidades mínimas, com o intuito de replicar o processo de evolução urbana da cidade. O processo se deu em três etapas. Na primeira, foram excluídos 75% dos 400 eixos de menor centralidade, onde foram realizadas nove iterações e o processo de exclusão se deu de modo aleatoriamente distribuído pelo sistema de eixos. Logo na segunda etapa, em três iterações foram excluídos 80% dos 100 eixos de menor centralidade. Por fim, passou-se a excluir 100% dos 30 eixos de menor centralidade, em três iterações.

Com estágios intermediários registrados, um conjunto de 15 interações forma um processo de simulação do tecido urbano passado, alcançando significativas correlações visuais, conforme apresentado nas seis iterações na Figura 3. Como o processo ainda ocorre em caráter experimental, demanda maior aprofundamento nas correlações numéricas, operacionais, indicando ampliar o experimento para outros casos, nos quais a construção de um procedimento computacional capaz de replicar o processo automaticamente seria de grande auxílio.

Simulações do crescimento urbano celular: passado e futuro

A medida de Potencial-Centralidade também está aplicada no Simulador do Ambiente da Cidade (SACI), apoiada na lógica da modelagem a partir de autômatos celulares, onde crescimento urbano pode ser simulado a partir da distribuição de tensões e diferenças de centralidade, permitindo reproduzir morfologias do crescimento e experimentar cenários de futuro para uma determinada realidade. A Figura 4 apresenta dois procedimentos de simulação do crescimento para a cidade de Pelotas para um horizonte temporal de 40 anos. A Figura 4A representa o cenário de preservação do patrimônio cultural e ambiental, de onde emergem morfologias fragmentadas e descontínuas; já a Figura 4B, representa o cenário de

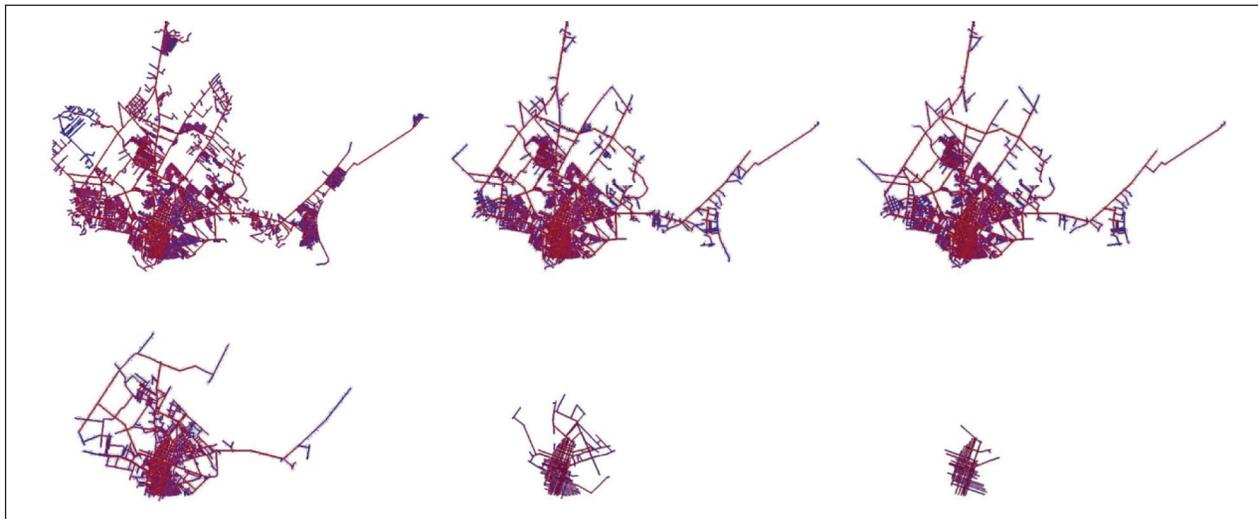


Figura 3 - Reconstituição do processo de crescimento urbano da cidade de Pelotas, RS

Fonte: Elaboração dos autores. Mostradas seis, de um total de 15 interações.

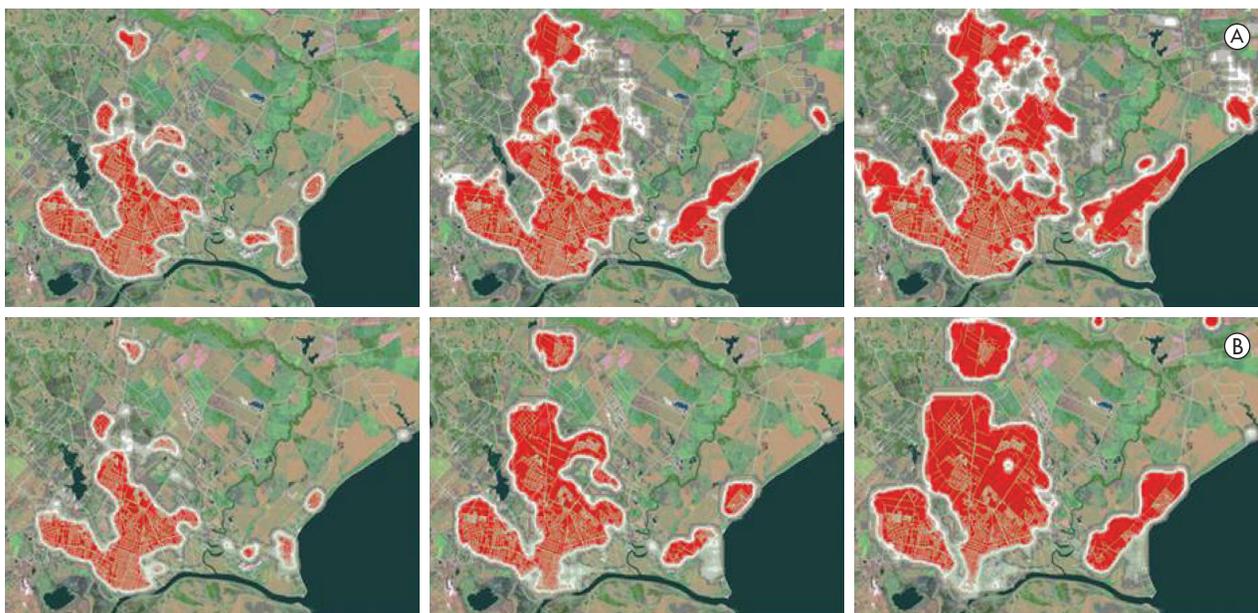


Figura 4 - Diferentes cenários de crescimento urbano futuro explorados de Pelotas

Fonte: POLIDORI, 2004.

crescimento concêntrico, permitindo assim análises comparadas (POLIDORI, 2004).

A partir de um modelo de simulação de crescimento operando em um ambiente de geoprocessamento, cientificamente calibrado e validado para uma determinada realidade, experimentos a respeito dos padrões urbanos passados podem ser realizados tanto com a finalidade de auxiliar na tomada de decisões (GIService), como é o caso da aplicação na elabora-

ção de um plano para a cidade de Torres, quanto de proporcionar avanços no campo teórico-científico (GIScience), como ocorre o trabalho de Peres (2010).

Dedicado a capturar a influência dos atributos da hidrografia na descontinuidade espacial urbana da cidade de Pelotas, o SACI está aplicado para replicar o processo de crescimento da cidade entre os anos de 1835-1965, sensível a capturar os parâmetros e influência dos atributos dos recursos hídricos no pro-

cesso de evolução urbana. A Figura 5 apresenta um paralelo com significativas correlações visuais e numéricas entre os dados do crescimento urbano real, documentado (Figura 5A), e os estágios da morfologia urbana capturada por simulação (Figura 5B).

Modelos tridimensionais

As inúmeras possibilidades de modelagem, simulação, representação e visualização dos ambientes digitais urbanos, que envolvem recursos da linguagem SIG, CAD (*Computer Aided Design*), modelagem numérica tridimensional de terrenos (MNT) e da fotografia digital, vêm sendo reconhecidas como o movimento das cidades visuais (HUDSON-SMITH, 2007). Cidades visuais significam novas possibilidades de representar o espaço da cidade, de forma cada vez mais rápida, cada vez com mais precisão.

Buscando reduzir ao máximo os tempos de produção de conjuntos tridimensionais, o Google® desenvolve paralelamente suas duas plataformas Earth e SketchUp. Embora o processo ainda ocorra prisma por prisma, construção por construção, o desenvolvimento do processo de criação de cidades virtuais por meio dos *softwares* Google® tem sido facilitado

pelo desenvolvimento de um ambiente repositório de objetos tridimensionais, chamado 3D Warehouse.

A prática de geração e disponibilização de modelos 3D gerados por meio do Google® SketchUp e posteriormente disponibilizados para visualização por meio do Google® Earth, não se trata de um processo que mereça uma única e exclusiva referência, pois trata-se de um processo que emerge do desenvolvimento desses diferentes aplicativos computacionais e é amplamente estudado por diversos autores e centros de pesquisa. Neste trabalho, como os exemplos estão dedicados à cidade de Pelotas, cabe destacar práticas como Modela Pelotas e Modela UFPel, realizadas pelo Grupo de Estudos para o Ensino/aprendizagem de Gráfica Digital (Gegradi) da Universidade Federal de Pelotas.

A plataforma SketchUp apresenta um conjunto de ferramentas que facilitam o georeferenciamento (função *get current view*), a disponibilização na plataforma 3D Warehouse (função *share model*) e exportar para o formato nativo do Google® Earth (função para exportar modelo como *.kml e *.kmz). Para a obtenção de um modelo urbano otimizado, devem-se modelar apenas as formas básicas dos objetos edificados, em que a abstração dos detalhes é fundamental para que o modelo se torne de fácil disponibilização

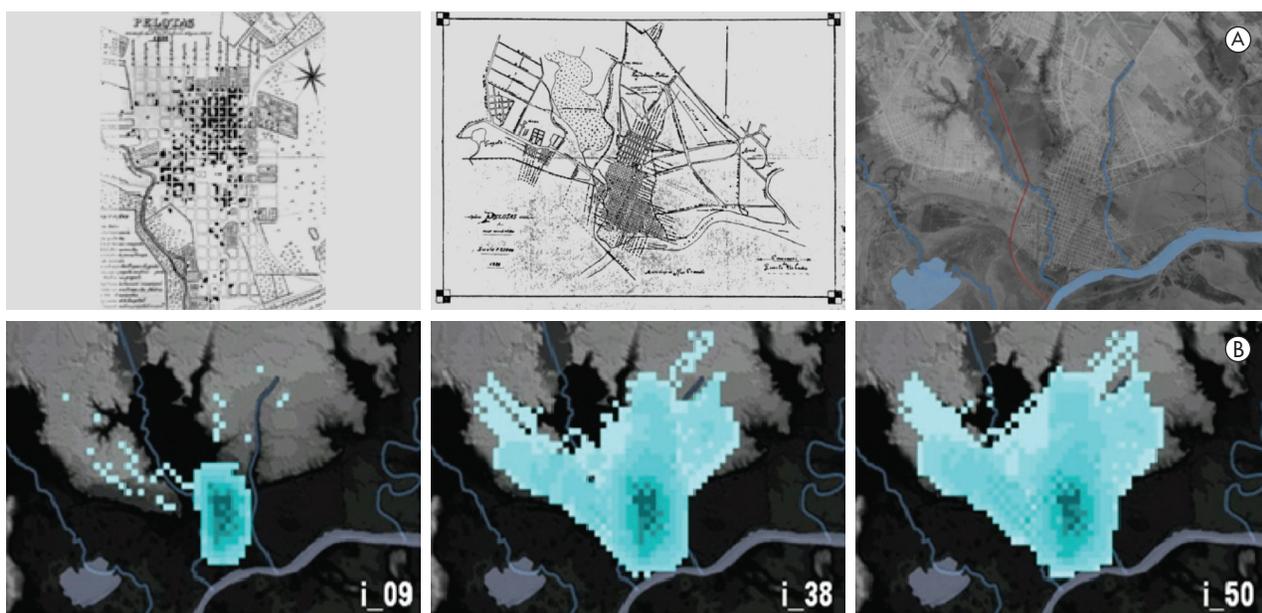


Figura 5 - Correlação entre a evolução urbana real (anos de 1835, 1927 e 1965) e cenários do passado simulados pelo SACI para aferir o papel da hidrografia na dinâmica urbana

Fonte: PERES, 2010.

e navegação na internet. Os detalhes do objeto são produtos da etapa da chamada modelagem visual (GEGRADI, 2008), na qual o modelo passa por uma transformação da sua aparência, adicionando-se cor e texturas às superfícies. Comumente têm sido utilizadas fotografias do próprio objeto para aplicá-las como textura, gerando a ilusão de que os elementos estão efetivamente modelados. A Figura 6 apresenta uma imagem de uma etapa do processo de modelagem tridimensional na plataforma SketchUp, sobre imagens de satélite capturadas por meio da plataforma Earth (Figura 6A), bem como um modelo tridimensional, produto do projeto Modela Pelotas, disponível na plataforma 3D Warehouse.

A partir da associação entre os *softwares* do Google®, as possibilidades de representação e visualização e compartilhamento são inúmeras, sendo recorrentes atualizações dedicadas a facilitar a construção das cidades visuais, com destaque para mais

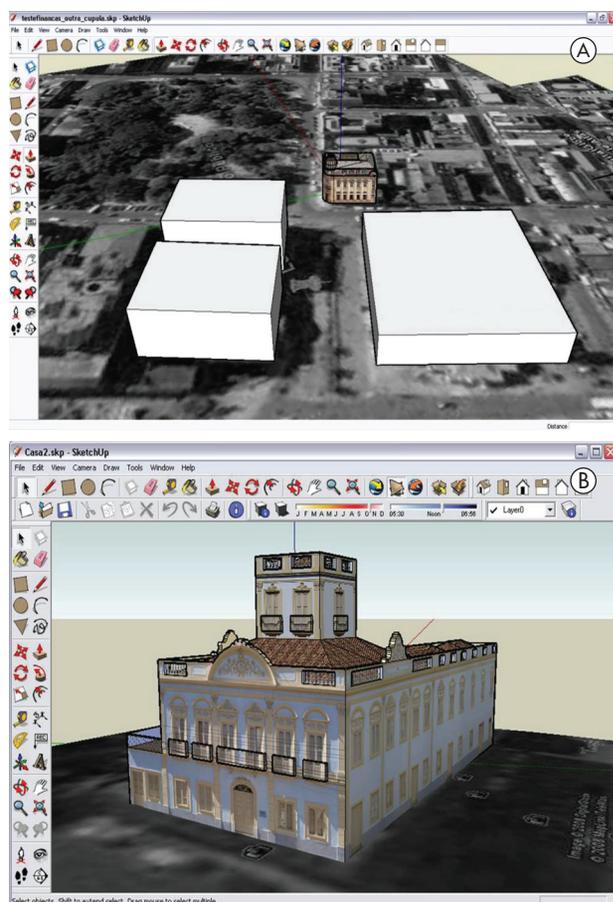


Figura 6 - Ambiente de modelagem gráfica tridimensional do Google® SketchUp

Fonte: Elaboração dos autores.

a recente atualização, o Modelador de Edifícios (Building Maker). Recentemente foi disponibilizado a partir da plataforma do 3D Warehouse (<<http://sketchup.google.com/3dwh/buildingmaker.html>>) um ambiente *online* para auxiliar a modelar edifícios, onde, a partir da integração das plataformas Earth e Sketch Up, tem-se a pretensão de modelar colaborativamente o mundo inteiro.

Mesmo com o avanço das técnicas de computação gráfica lideradas por avanços associados à modelagem tridimensional aplicando a tradicional linguagem CAD, a modelagem tridimensional da paisagem natural representa outra vertente de grandes possibilidades de avanço na representação do ambiente urbano digital, porém com avanços mais restritos. Esse tipo de modelagem ocorre a partir de dados geralmente capturados por sensoriamento remoto, associada a práticas de geoprocessamento, para construir os arquivos digitais que carregam informações sobre o terreno. A partir desses Modelos Numéricos de Terreno (MNT) ou Modelos Digitais de Elevação (DEM), *softwares* específicos são responsáveis pelo processo de ambientação e *render* dos dados de elevação.

A Figura 7 apresenta resultados de um estudo exploratório de modelagem tridimensional da paisagem natural da cidade de Pelotas, RS. Essas imagens são construídas a partir de modelos de elevação, dados de altitudes da agência norte-americana USGS (United States Geological Survey) e pelo *software* TerragenTM v. 0.9, desenvolvido pela PlanetSide Software®.



Figura 7 - Recriação da paisagem natural da cidade de Pelotas, RS:

A) a partir da Av. Duque de Caxias, sentido NO-SE; B) a partir do Laranjal, sentido L-O

Fonte: Elaboração dos autores.

Sobreposição de fotografias: georeferenciamento, panorâmicas e imersão

No caminho das cidades visuais, complementarmente aos objetos tridimensionais, a disponibilização de fotografias a partir de sua georreferência pode aumentar as possibilidades de representação do ambiente urbano digital. Na plataforma Google® Earth, fotografias podem ser sobrepostas sobre a superfície do globo, da mesma forma que são disponibilizadas as imagens de satélites nativas do *software*. Esse recurso é possível a partir da função “adicionar sobreposição de imagem”, e a localização, ajuste e distorção são feitos manualmente, o que tem sido útil para disponibilizar planos e projetos representados bidimensionalmente, geograficamente localizados. Outra utilidade do recurso é aplicar cartas, imagens aerofotogramétricas ou imagens capturadas por satélite diferentes das disponibilizadas pelo Google® Earth.

Outra forma de disponibilização dessas imagens é como se estivessem suspensas, flutuantes, acima da superfície do globo. Para esse modo de disponibilização é preciso antes criar um modelo geométrico que posteriormente é suporte para aplicar a fotografia. A partir da disponibilização de imagens suspensas, um recurso de grande efeito visual é a disponibilização de imagens panorâmicas, sejam elas de projeção retangulares, cilíndricas ou até esféricas.

O primeiro registro do uso de composição panorâmica de imagens data do ano de 1787 (HUDSON-SMITH, 2007). Uso que tem sido atualmente ampliado graças aos avanços e à popularização dos recursos

da fotografia digital, somados ao surgimento de ferramentas computacionais que facilitam o processo de composição e distorção das fotografias. A visualização de imagens panorâmicas não trata de visualização realmente tridimensional, porém o processo de composição de uma série conjunta de fotos aproxima-se da realidade da visualização e percepção humana, de modo a aproximar-se da imersão digital e da navegação a partir de uma visão periférica, possibilitando a movimentação semelhantes ao olho humano. Com o avanço no processo de composição de imagens panorâmicas e da sua visualização dinâmica em ambientes computacionais, surgem as chamadas panorâmicas $360 \times 180^\circ$ ou panorâmicas esféricas, as quais permitem a representação, em uma única imagem, de todo um ambiente de visualização esférica a partir de um único ponto focal, conforme ilustrado nas imagens da Figura 8, obtidas na cidade de Pelotas, RS.

A disponibilização destes ambientes visuais com imagens panorâmicas $360 \times 180^\circ$ projetadas em superfícies esféricas, chamados de *floating panoramas* (panoramas flutuantes), está disponível a partir da versão 4.2 do Google® Earth disponibilizada a partir de 2008, conforme ilustrado na Figura 9. Esse processo pode ser assumido também como uma forma de cidade virtual, o que será explorado na sequência deste artigo.

Para a geração de panorâmicas esféricas, a primeira questão passa pela obtenção de fotografias que possibilitam esse tipo de composição, como o uso de lentes grandes angulares conhecidas como olho de peixe. A imagem panorâmica é montada em *softwares*



Figura 8 - Panorâmicas esféricas capturadas na cidade de Pelotas, RS

Fonte: Elaboração dos autores.



Figura 9 - Floating panoramas do entorno da Praça Coronel Pedro Osório de Pelotas, visualizados a partir do Google® Earth

Fonte: Elaboração dos autores.

específicos, como PTGui 8.0.2, o qual identifica os pontos comuns das imagens capturadas e as sobrepõem. A imagem $360 \times 180^\circ$ trata-se de uma imagem plana, bidimensional, que representa o campo esférico de um determinado ponto de vista do ambiente urbano, como pode ser visto na Figura 9. Para a projeção desta imagem em uma superfície esférica e geração de arquivo compatível com o software Google® Earth, utiliza-se o software PhotoOverlay Creator 1.0 desenvolvido pelo CASA (Centre for Advanced Spatial Analysis, UCL), que automaticamente transforma um arquivo de imagem em um arquivo kml, para ser visualizado no Google® Earth.

Com o desenvolvimento de panorâmicas $360 \times 180^\circ$ surge uma aproximação entre as visualizações bi e tridimensionais, uma vez que esse tipo de imagem panorâmica pode ser projetado em sólidos esféricos, e se o visualizador puder “entrar” no centro dessa esfera e mover o ponto de vista a partir de um ponto central fixo, a visualização do ambiente urbano se aproximará da visualização da realidade.

Discussões

Do ponto de vista teórico, recursos associados às geotecnologias têm apresentados significativos avanços operacionais ao campo da geografia urbana. A popularização dos sistemas de informações geográficas associada ao desenvolvimento dos chamados planetas digitais, softwares como o Google® Earth, contribui para que informações do ambiente urbano estejam geoespacialmente relacionados, mantidas as suas posições relativas no globo terrestre.

Simultaneamente, o desenvolvimento dos recursos da gráfica digital e da linguagem CAD é absorvido por essas geotecnologias, permitindo ganhos significativos na representação gráfica desses ambientes digitais. A associação de dados de natureza distinta em SIG permite que objetos geométricos, espaciais, estejam associados à variável temporal, permitindo uma leitura da sua dinâmica espacotemporal urbana.

A geocomputação é o campo em que convergem recursos da modelagem urbana, com suas possibilidades analíticas e preditivas, e da modelagem gráfica digital, associada ao movimento e popularização das cidades visuais. A partir de recursos da geocomputação, os ambientes urbanos do presente, do passado e do futuro urbano podem ser virtualmente replicados, permitindo ganhos analíticos e experimental, capazes de auxiliar na produção de conhecimento e na compreensão do fenômeno urbano.

Referências

- ALLEN, P. **Cities and regions as self-organizing systems: models of complexity**. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 1997.
- BATTY, M. **Complexity in city systems: understanding, evolution and design**. CASA Working Paper 117, 2007.
- BATTY, M. Urban modeling. In: KITCHIN, R.; THRIFT, N. (Ed.). **Encyclopedia of Human Geography**. Oxford: Elsevier, 2009. v. 12, p. 51-58.
- BUZAI, G. D. **Mapas sociales urbanos**. Buenos Aires: Lugar Editorial, 2003.

- CÂMARA, G. **Análise espacial de dados geográficos**: uma visão introdutória. São José dos Campos: INPE, 2001.
- DRUMMOND, J. A. A história ambiental: temas, fontes e linhas de pesquisa. **Estudos Históricos**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 8, p. 177-197, 1991.
- ECHENIQUE, M. Modelos: una discusión. In: MARTIN, L.; MARCH, L.; ECHENIQUE, M. **La estructura del espacio urbano**. Barcelona: GG, 1975. p. 235-248.
- LONGLEY, P. et al. **Geographic information systems and science**. Chichester: John Wiley and Sons, 2001.
- LONGLEY, P.; BATTY, M. **Advanced spatial analysis: the CASA Book of GIS**. Cambridge: CASA; Esri Press, 2003.
- FOTH, M. **Urban informatics: the practice and promise of the real-time city**. New York: Information Science Reference, 2009.
- GEGRADI. **Oficina de GPS 3D**: modelagem geométrica e visual. UFPel, 2008. Texto não publicado.
- JANSEN, H. **The Construction of an urban past**: narrative and system in urban history. Traduzido do Alemão para o Inglês Feike de Jong. New York: Oxford, 2001.
- HUDSON-SMITH, A. **Digital urban: the visual city**. CASA Working Paper, 2007. Disponível em: <<http://www.bartlett.ucl.ac.uk/casa/latest/publications/working-papers>>. Acesso em: 25 maio 2011.
- NYERGES, T.; JANKOWSKI, P. **Regional and Urban GIS: a decision support approach**. New York: The Guilford Press, 2010.
- PESAVENTO, S. J. Cidades visíveis, cidades sensíveis, cidades imaginárias. **Revista Brasileira de História**, v. 27, n. 53, p. 11-23, 2007.
- PERES, O. M. **Crescimento urbano e hidrografia**: dinâmicas morfológicas e articulação à paisagem natural. 2010. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.
- POLIDORI, M. C. **Crescimento urbano e ambiente**: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade. 2004. 352 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- POLIDORI, M. et al. **Geoprocessamento e preservação Patrimonial**. Pelotas: UFPel-FAUrb., 2001. Relatório de Pesquisa FAPERGS.
- PORTUGALI, J. **Self-organization and the city**. Berlin: Springer, 2000.
- SILVA, J. G.; POLIDORI, M. C. **Evolução urbana e parcelamento do solo em Pelotas, RS**. Pelotas: UFPel – FAUrb, 2004.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS – UFPE. **Interfaces do SIGweb do Inventário do Patrimônio Cultural de Pelotas**. 2001. Disponível em: <<http://faurb.ufpel.edu.br/siphpel>>. Acesso em: 5 jan. 2011.
- VAN LEEUWEN, J. P.; TIMMERMANS, H. J. **Innovations in design & decision support systems in architecture and urban planning**. Netherlands: Springer, 2006.

Recebido: 15/04/2011
Received: 04/15/2011

Aprovado: 07/07/2011
Approved: 07/07/2011