

Revista Brasileira de Cartografia (2017), Nº 69/8, Edição Especial “Geovisualização, mídias sociais e participação cidadã: apoio à representação, análise e gestão da paisagem”: 1521-1535.
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

AMPLIANDO DO *DATA-DRIVEN* E *KNOWLEDGE-DRIVEN* PARA PROPOR O *VISUAL-DRIVEN* NA ANÁLISE DE MULTICRITÉRIOS: ESTUDO DE CASO DE MODELAGEM EM GRASSHOPPER+RHINO3D

Going Beyond Data-Driven and Knowledge-Driven to Propose Visual-Driven Evaluation in Multicriteria Analysis: Case Study of Modeling in Grasshopper+Rhino 3D

**Silvio Fonseca Motta^{1,2}, Ana Clara Mourão Moura²
& Suellen Roquete Ribeiro²**

¹Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC-MG
Departamento de Arquitetura e Urbanismo
Av. Dom José Gaspar 500 - Belo Horizonte, MG, cep 30535-901
silvio.motta@gmail.com

²Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
Escola de Arquitetura / Laboratório de Geoprocessamento
Rua Paraíba 697, sala 410a, Savassi. Belo Horizonte, MG, cep 30130-140
anaclara@ufmg.br, suellen_ribeiro15@yahoo.com.br

Recebido em 18 de Dezembro, 2016/ Aceito em 2 de Maio, 2017
Received on December 18, 2016/ Accepted on May 2, 2017

RESUMO

O artigo apresenta discussões conceituais sobre análise de multicritérios, um modelo clássico usado em análises espaciais, mas que exige cuidados em sua estruturação e aplicação, entre eles a forma de decisão de variáveis e seus pesos, a forma de verificação das incertezas presentes e a sua adaptação aos motivos de investigação, que incluem atender aos objetivos dos usuários. Nesse sentido, propõe e discute o papel da visualização, que pode atuar como *visual-driven evaluation* na calibração do modelo e resulta em condição de utilização do PPGIS (*Planning Participatory GIS*) como processo de envolvimento do pensamento dos cidadãos. Para que o processo ocorra de maneira eficaz defende-se a recuperação de conhecimentos propostos pela Semiologia Gráfica para tratamento gráfico da informação, alertando para o fato que a produção digital da informação está deixando de cuidar desta importante etapa no processo de comunicação cartográfica. Como metodologia propõe um algoritmo baseado em modelagem paramétrica com a utilização do *Grasshopper* e *Rhino 3D*, que fornece ao usuário a visualização de mecanismo de escolha e definição de pesos de variáveis, seguido de escolha de tratamento gráfico da informação, obtendo como resultado uma cartografia dinâmica que responde às diferentes simulações solicitadas. O resultado é a possibilidade que o usuário, guiado por *visual-driven evaluation*, entenda o impacto de hierarquização de variáveis e aprenda com o processo, o que o capacita ou empodera para a participação em escolhas de políticas públicas e planejamento de seu território.

Palavras-chave: *Visual-Driven Evaluation*, Modelagem Paramétrica, Análise de Multicritérios, Visualização, *Grasshopper*.

ABSTRACT

The article presents conceptual discussions about multicriteria analysis, a classic model applied in spatial analysis, that demands special care in its structure and application, including the selection and the weight of variables, the studies about uncertainty and its adequacy to the motivations of the investigation, in which it is highlighted to meet the needs of the users. In this sense, the paper proposes and discusses the importance of visualization that can contribute as *visual-driven evaluation* in model calibration and results as support to PPGIS (*Planning Participatory GIS*) to include stakeholders' expectations. To work well, it's argued that we must retrieve the concepts proposed by Graphics Semiology to graphic information composition, warning to the fact that digital production of information is not considering this important step in cartographic production. The methodology presents an algorithm based on parametric modeling using *Grasshopper + Rhino 3D*, which provides to the users a mechanism to choose and define values (weights) to the variables, and to choose the graphic treatment of the output maps, getting as results a dynamic cartography that represents the many simulations that can be done by the user. The outcome is a condition to the user, guided by visual-driven evaluation, to learn the meaning of choosing variables and their values, what enables and empower him to take part in public policies decisions and in territorial planning.

Keywords: Visual-Driven Evaluation, Parametric Modeling, Multicriteria Analysis, Visualization, Grasshopper.

1. INTRODUÇÃO E BASE CONCEITUAL

A Análises de Multicritérios é um modelo clássico em estudos urbanos e ambientais quando a intenção é entender as componentes principais que interferem em um sistema, e separá-las em camadas, seguida da promoção da integração dessas componentes avaliando o impacto de ampliação ou redução da importância de cada uma no processo da síntese. Ela está nas origens da abordagem sistêmica e teve seu uso ampliado pelas facilidades das ferramentas de geoprocessamento. Ela é extremamente útil quando o objetivo é a criação de índices, o estabelecimento de uma ordem de prioridade ou potencial, ou para dar apoio a mecanismos de suporte a decisão que necessitem responder onde há a maior combinação de condições de interessam a determinada questão.

Contudo, justamente por seu mecanismo integrador, que é o seu maior potencial, ela apresenta a fragilidade de se apresentar como caixa-preta, de camuflar diferentes pontos de vista por apresentar resultado agregado, ou mesmo por apresentar resposta que pode ser compreendida por muitos como reducionista. Mas a sua intenção é justamente ser reducionista no sentido de ser um modelo – um recorte sobre a realidade que seja capaz de demonstrá-la por seus componentes principais e direcionada a um objetivo. Como todo modelo, é um recorte temporal, espacial, conceitual e metodológico (CHORLEY & HAGGETT, 1974).

Tendo como resultado uma composição de variáveis segundo seus graus de pertinência

e seus pesos em relação ao conjunto, e por isto um resultado já integrado, surgiram, nos estudos científicos, investigações que buscam ampliar o nível confiança nos resultados obtidos, através de melhoria de processos ou de agregação de mecanismos de avaliação do nível de confiabilidade existente no resultado.

Entre os estudos que visam dar maior robustez ao uso das variáveis, há as análises estatísticas do papel de cada variável em relação ao conjunto, estudos de análise multivariada, entre os quais foi comprovado o destaque da Análise Fatorial como a mais indicada para avaliação do papel de cada variável no conjunto e dar suporte à manutenção ou não da variável no estudo (MENEZES, FAISSOL & FERREIRA, 1978; HAIR et. al., 2009; CARVALHO, 2015).

Há estudos que têm como objetivo, uma vez obtido o resultado da Análise de Multicritérios, de avaliar o nível de incerteza contido nos resultados. São modelos baseados em análise de sensibilidade, conhecidos como SASE (*Sensitivity Analysis to Suitability Evaluation*, LIGMANN-ZIELINSKA, JANKOWSKI & WATKINS, 2012; MOURA & JANKOWSKY, 2016). A avaliação das incertezas é etapa fundamental na aceitação de um resultado de integração de variáveis, pois ela demonstra especialmente as combinações de onde foi indicado como alto potencial e há certeza do resultado, mas demonstra também onde foi registrado como de alto potencial mas há incerteza no resultado, o que exige maior aprofundamento nas investigações. Da mesma forma, especializa onde o potencial é baixo mas

carece de verificação pois há incerteza, assim como a presença de baixo potencial e há certeza desta falta de interesse na área.

Nos estudos relativos à importância que se dá a cada variável há diferentes metodologias de suporte à definição dos seus pesos, com objetivo de se evitar a atribuição aleatória e não justificada. *Bonham-Carter (1994) separa as formas de definição de pesos das variáveis entre data-driven evaluation, quando a decisão é tomada por processos de avaliação dos comportamentos dos dados, e em knowledge-driven evaluation, quando a decisão é baseada em opiniões e conhecimentos de especialistas. Entre as técnicas de data-driven merecem destaque os processos de mineração de dados, nos quais são definidos alvos no território onde aconteceu a conformação de um potencial, e a partir deles são investigados os comportamentos das variáveis para identificar quais variáveis de fato interferiram na composição e hierarquizar entre as variáveis de importância quais foram as mais significativas (FAYYAD, SHAPIRO & SMYTH, 1996; WHITE, KUMAR & TCHENG, 2005; CASTRO & MOURA, 2010). Entre os processos de knowledge-driven destacam-se os métodos de consultas a especialistas que favorecem a construção de uma maximização de consenso sobre a importância das variáveis, sendo os mais conhecidos a AHP (Analytic Hierarchy Process), também conhecida como Análise Hierárquica de Peso (SAATY, 1980, 1988) e o método Delphi (DALKEY & HELMER, 1963; DALKEY, 1969; LINSTONE & TUROFF, 2002).*

É necessário ter claras as etapas principais no emprego da Análise de Multicritérios. Segundo Moura (2003) elas são: clara definição dos objetivos (pois o resultado é um mapa de distribuição das áreas mais propícias àquele objetivo); seleção das variáveis componentes principais para os motivos de investigação; composição da base de dados; composição de superfícies potenciais de cada variável (que são mapas que distribuem o potencial daquela variável no território avaliando o quanto aquela condição é adequada ou não ao motivo de investigação); atribuição de pesos para as camadas de variáveis (indicando o grau de importância daquele tema para o motivo de investigação). O resultado da integração de variáveis é um mapa que indica a

distribuição espacial de valores, do pior para o melhor, em função do motivo de investigação. Mas é necessário conferir se o resultado é um retrato da realidade investigada, avaliar o grau de incerteza, e ter a liberdade de verificar outros possíveis resultados. Isto significa calibrar e validar.

Há diferentes formas de se realizar a validação de resultados, e caso sejam necessários ajustes (sejam eles revisão das variáveis escolhidas, revisão das superfícies potenciais de cada variável, sejam eles a revisão dos pesos aplicados a cada variável), é realizada a calibração do modelo. Uma forma de validação é a comparação do nível de assertividade da Análise de Multicritérios, comparando uma amostra de registros de ocorrência do fenômeno investigado com as áreas indicadas no mapa como de tendência de eles acontecerem. Esta seria uma forma de validação baseada em *data-driven*, pelo comportamento do dado.

Contudo, é justamente no processo de validação e calibração de resultados que o presente artigo traz a sua contribuição. Ele defende o *visual-driven evaluation* para a escolha de pesos para as variáveis componentes de análise multicritérios. Em lugar de se basear no comportamento dos dados, a validação e calibração é realizada a partir da percepção que o usuário tem da realidade investigada. Assim, é de certa forma um *knowledge-driven*, pois o usuário apresenta a sua opinião com base nos conhecimentos que ele tem sobre o fenômeno e sobre o território, mas é uma investigação baseada em cartografia dinâmica e no apelo do potencial da visualização. O usuário pode testar diferentes combinações de valores de pesos e ter, por processo de visualização em cartografia dinâmica, os diferentes resultados, e assim calibrar suas decisões até que a síntese represente a percepção ou o mapa mental que ele tem sobre o tema.

O potencial de visualização cartográfica tem sido expressivamente explorado com o advento da WebGis, pois a necessidade de comunicar com diferentes grupos de usuários exige que as informações sejam mais bem codificadas. Nos processos de planejamento a visualização cartográfica resultou no desenvolvimento de aplicativos de PPGIS - *Planning Participatory GIS* (CRAIG et al., 2002). Os aplicativos

que serão demonstrados no artigo podem ser classificados como PPGIS, pois se destinam a facilitar a tomada de opiniões e eventualmente a tomada de decisões por parte dos usuários em ações de planejamento, com base no suporte de tecnologia de sistemas de informações geográficos, mas devidamente trabalhada para favorecer a visualização de processos e deixar o usuário mais confortável em sua participação.

Destaca-se, contudo, o potencial do *visual-driven evaluation* na calibração de resultados segundo expectativas e valores cidadãos. Atualmente, existem vários esforços de desenvolvimento de ferramentas de *visual-driven evaluation* (ROBINSON, 2008). Elas são inseridas como apoio a tomada de decisão colaborativa (ZURITA, ANTUNES, et al., 2008). Esta é a contribuição do presente trabalho, que visa ampliar a visualização de resultados para o envolvimento dos diferentes atores da sociedade. É necessário que os participantes - sejam eles pessoas do lugar, técnicos de profissões de projeto ou de ciências geográficas, profissionais de tecnologias de informação, ou servidores de órgãos públicos – tenham pleno acesso aos dados, consigam entender a transformação de dados em informação, e possam transformar a informação em conhecimento. Nesse sentido, a visualização de resultados é fundamental como um mecanismo de suporte ao planejamento.

A questão da visualização de possíveis respostas às combinações das variáveis resulta como modo de apropriação da informação que pode se transformar em conhecimento, ou seja, o usuário, por cartografia dinâmica, recebe as possíveis respostas ao seu motivo de investigação. Quando a visualização é bem trabalhada, ele constrói mentalmente relações lógicas que extrapolam a informação inicial, e constrói um aprendizado que o empodera no processo decisório, usando termos hoje muito atuais. O termo vem do inglês *empowerment*, que significa o aumento do poder que ultrapassa as noções de democracia e inclui a equitabilidade (*equity*) através da possibilidade de compreensão a respeito da realidade, o que favorece que ele possa tomar iniciativas para melhorar a sua própria condição (BOELEN & DAVILA, 1998).

O usuário consegue entender, pelo processo apresentado, o que significa escolher um conjunto de variáveis, e o que significa dar

prioridade a uma em relação à outra. Entendendo esta lógica, ele entende sobre política de escolha de priorização de ações urbanas e aprende a posicionar. É o caso, por exemplo, de visualizar o impacto de ampliação da importância do transporte em uma região e ver o quanto isto muda em relação ao seu motivo de investigação, por exemplo crescimento urbano, ou mesmo descobrir que a variável não faz diferença no resultado. É a lógica do *if-then*, mas que está de acordo com a lógica de Karl Popper que defendeu que o conhecimento humano é de natureza conjectural, dedutiva e hipotética, o que significa que o conhecimento é um saber empírico baseado na experiência, descritivo e explicativo, de observações simples que podem ser repetidas e eventualmente generalizadas (POPPER, 1934, 1970). E soma-se a isto o poder heurístico do experimento, que é entender as lógicas e valores através do manuseio dos dados.

Segundo Moura (1994) a cartografia que apresenta caráter temático (e não cadastral, e de certa forma um produto de Análise de Multicritérios é um produto temático) é uma “obra aberta” pois, ao mesmo tempo em que fornece informações básicas sobre diferentes características da área, possibilita que outros profissionais, de posse dos dados existentes, componham novas sínteses e produzam suas avaliações da realidade enfocada. Essa possibilidade faz da cartografia temática um instrumento adequado à visão integrada do espaço, holística e não atomística, promovendo a percepção da realidade, não de forma linear e, sim, marcada pela complexidade.

Cabe, ainda tratar da importância da Semiologia Gráfica na apresentação de resultados nesse mecanismo de possibilidades da composição da Análise de Multicritérios. A proposta da Semiologia Gráfica baseia-se nas propriedades da percepção visual, dos sistemas de sinais carregados de significados. O objetivo é que os mapas promovam a clara interpretação dos dados, funcionando com suas plenas potencialidades de veículo de comunicação. Ela foi proposta por Bertin ainda nos anos 60, e ele assim a justifica: “Como toda ciência, a Semiologia Gráfica desenvolveu-se a partir das dificuldades encontradas, e de constatação de fracassos. Crê-se, realmente, que o único erro cartográfico possível seja trocar a posição geográfica. Esse erro é quase

inexistente, exceto, infelizmente, entre aqueles milhares que confundem cartografia e decoração... O erro mais corrente, e ainda o mais grave porque surge de más decisões, consiste em trocar não de posição, mas de característica, pois é trocar a representação de uma ordem de quantidades por uma não-ordem, ou por uma desordem, dando, assim, uma falsa imagem, o que quer dizer uma falsa informação” (BERTIN, 1980, p. 2, tradução nossa).

Aplicar a metodologia da Semiologia Gráfica é atuar como um redator gráfico que escolhe signos de modo a evitar ruídos em comunicação, buscando aqueles que realmente possam representar as características mapeadas. Isto significa trabalhar segundo níveis de organização (seletivo, associativo, quantitativo e ordenado), avaliar o comprimento dos componentes de legenda (o número de subdivisões de legenda) e definir o modo de implantação dos componentes (pontual, linear e zonal), e para cada composição desses critérios avaliar a melhor forma de emprego das variáveis visuais (tamanho, forma, orientação, cor, valor e granulação) (BERTIN, 1967).

Quando o tratamento gráfico da informação e a própria produção cartográfica exigiam muito empenho e tempo, o cuidado com a expressão gráfica era mais observado. Paradoxalmente, em uma fase em que os aplicativos digitais favorecem o amplo e facilitado acesso ao tratamento gráfico, cuidados no tratamento gráfico têm sido negligenciados, com redução do poder de comunicação. O investimento em possibilidades de emprego de tratamento gráfico pode trazer mais condição de comunicação para os mapas resultantes de Análise Multicritérios. Embora deva se reconhecer que o usuário possa, também, realizar a escolha de tratamento gráfico que melhor favoreça a sua hipótese ou valor, pois há sempre o risco de mentir com mapas, “*lie with maps*” (MONMONIER, 1991).

O presente trabalho coloca a sua contribuição para os desafios apresentados, entre os quais destacamos o potencial existente na Análise de Multicritérios para o planejamento espacial e identificação de potencialidades e restrições, a importância de compor esta análise de modo que ela realmente funcione como suporte à decisão e contemple também a percepção e os valores do usuário, mas diante

também da necessidade de considerar que o tratamento gráfico muda a visualização e a compreensão da informação. Ele apresenta uma modelagem paramétrica com uso de um aplicativo de programação que favorece a elaboração de Análise de Multicritérios de modo dinâmico, no qual o usuário testa diferentes composições de variáveis e seus pesos, e pode ainda escolher a expressão gráfica de saída de resultados.

É Modelagem Paramétrica porque adota parâmetros e hierarquias em variações paramétricas por processo de programação que explora potencialidades de modelagem geométrica (FLORIO, 2011). São estruturados algoritmos que se conectam, contendo em cada etapa lógicas de manuseio de variáveis e processos de alterações e combinações de seus valores. A Modelagem Paramétrica é hoje muito usada em arquitetura, para gerar as novas formas nos projetos contemporâneos que exploram criativamente as possibilidades matemática, tendo sido também um pouco usada em planejamento urbano, mas também por grupos ligados ao desenho urbano, entre os quais se destacam o escritório de Zaha Hadid (SCHUMACHER, 2009). Contudo, a referida modelagem é pouco conhecida em cartografia e mecanismos de visualização espacial, podendo ser citada apenas entre aqueles que exploram as possibilidades de PPGIS (Planning Participatory GIS) como mecanismo de produção de paisagens futuras (LEACH, 2009) e de simulação de alterações de parâmetros para produção de cartografia dinâmica por Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial (MPOT) (MOURA, 2012).

No presente artigo é apresentado um processo de composição de Análise Multicritérios no qual o usuário, por interface programada no software Grasshopper© e visualizada no Rhino3D©, escolhe variáveis que serão integradas e escolhe os pesos que serão aplicados nas variáveis, obtendo como resultado, em processo dinâmico, o mapa da composição solicitada. Contudo, mais do que ver os resultados, o usuário pode escolher a interface gráfica de saída de resultados, e com isto explorar a melhor forma de visualização e comunicação de resultados. Assim, a ampliação da visualização tanto no tratamento gráfico da informação como nas simulações de

possibilidades de pesos das variáveis na Análise de Multicritérios favorece que, por *visual-driven*, o usuário calibre a composição que represente a realidade percebida, ou mesmo investigue quais seriam as consequências de se dar maior importância para uma variável. Esta última simulação, em essência, é base para a escolha de políticas e estratégias de planejamento territorial.

A nossa contribuição é a ampliação do poder de visualização de resultados, por programação no *Grasshopper* e visualização no *Rhino3D*, através de testes de diferentes formas de representação da informação. As avaliações dos resultados obtidos são orientadas pela metodologia da Semiologia Gráfica, proposta por Bertin (1967) para avaliação do poder de comunicação dos mapas

2. METODOLOGIA

A Análise de Multicritérios (MCA) parte da escolha de uma unidade territorial de integração para a combinação de variáveis. Isto significa escolha de estruturação dos mapas no formato de grid regular que apresenta a lógica de estrutura *raster* (ainda que em formato vetorial) ou em unidades territoriais que possam ser representativas nas variáveis escolhidas para a composição, sejam elas setores censitários, lotes, quadras, áreas homogêneas ou outras.

Escolhido o modo de representação espacial para a integração, para o algoritmo programado que apresentamos no presente artigo, a base deve ser vetorial, aceitando que as camadas de informação estejam em formato *geojson* ou *shapefile* (*shp*), mas existe também a possibilidade de entrada de dados em formato tabelas (*csv*) no qual as linhas são as entradas das unidades territoriais e as colunas são os atributos referentes aos mapas que compõem a análise.

Caso os arquivos necessitem de alguma conversão *shp/geojson* indica-se a ferramenta online *Mapshaper*, e indica-se um certo cuidado com o formato gerado pelo *ArcGis*, posto que ele segue a lógica *json* e não puramente *geojson*, de modo que há diferenças, por exemplo, no número de casas decimais, o que pode ser problema em algumas aplicações.

O aplicativo *Grasshopper* é de uso gratuito, mas a sua visualização requer o aplicativo *Rhinoceros 3D* (*Rhino 3D*), de uso comercial. O *Grasshopper* é uma linguagem de programação

visual desenvolvida por David Rutten e Robert McNeill Associados que trabalha como um *plugin* na plataforma *Rhino 3D* (TODESCHI, 2010, 2011). A sua programação é bastante facilitada, pois se trabalha com escolha e otimização de componentes disponíveis, em montagem de fluxograma lógico. Como há um grande número de usuários no mundo, à medida que são desenvolvidos novos componentes eles são disponibilizados para a comunidade de usuários, em modo crescente de colaboração. Suas aplicações mais interessantes estão relacionadas à programação de algoritmos generativos e a representações tridimensionais.

O fluxograma de montagem das etapas no *Grasshopper* se apoia em editor baseado em nós, com passagem das informações entre os componentes que são as etapas de cálculos e processos. Ao longo das etapas dos processos são armazenados parâmetros e são produzidas visualizações de cada passo realizado, de modo que o programador possa controlar os resultados de seus pacotes de atividades.

A entrada do arquivo *shp* no algoritmo do *Grasshopper* (GH) pode ser realizada através de comandos do *plugin* “@it” ou do *plugin* “heron”. Ambos carregam o arquivo *shp* georreferenciado, mas o *plugin* “heron” permite reposicionar a referência de coordenadas do *Rhinoceros* para as proximidades da área do mapa através do comando “*anchor point*”. Esse reposicionamento facilita o uso pelo usuário.

O algoritmo do GH lê as informações geométricas georreferenciadas (*grids* ou elementos espaciais) e associa o valor obtido na análise de multicritérios a cada elemento gráfico, seja ele um ponto ou célula no grid, ou polígonos de projeções de elementos a exemplo as quadras ou lotes. Os valores da análise de multicritérios (MCA) são usados como atributo da escala “z” para gerar as diferentes formas de visualização dos resultados.

A relação entre os valores da MCA e os parâmetros geométricos da forma de visualização é modelado de modo a permitir que o usuário controle o comportamento e relação entre eles. O usuário pode escolher um comportamento linear em relação a curva de distribuição original dos valores da MCA ou definir exageros ou suavizações de valores extremos, e visualizá-los em alguma geometria. O usuário pode também escolher uma escala de cor a ser aplicada na geometria de visualização.

Entre as formas de visualização foram testadas as seguintes possibilidades, com o objetivo de analisar suas potencialidades e limitações: extrusão, criação de superfície, aplicação de cores e aplicação de gradiente de cores.

No caso da simples extrusão, os elementos da camada (*grid* ou elemento espacial) são elevados segundo uma cota “z”, referente ao valor ajustado a partir da MCA. A extrusão pode ser tanto diretamente da projeção de elementos cartográficos (lotes ou quadras), como pode ser realizada a partir de primitivas gráficas de *grids* (Figura 1). No exemplo de *grids*, foram testadas formas circulares cujo diâmetro se alteram em função do valor da MCA, ao mesmo tempo que a altura também é ampliada em Z em função desses mesmos valores. É possível escolher qualquer tipo de polígono para simbolização dos *grids* (Figura 2).

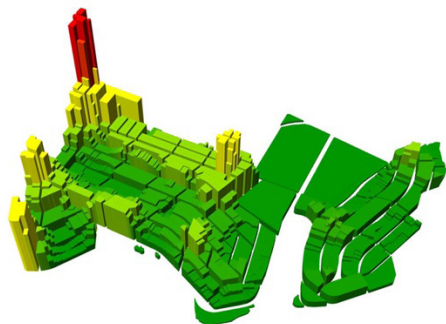


Fig. 1 –Extrusão por unidade territorial (ex. quadras).

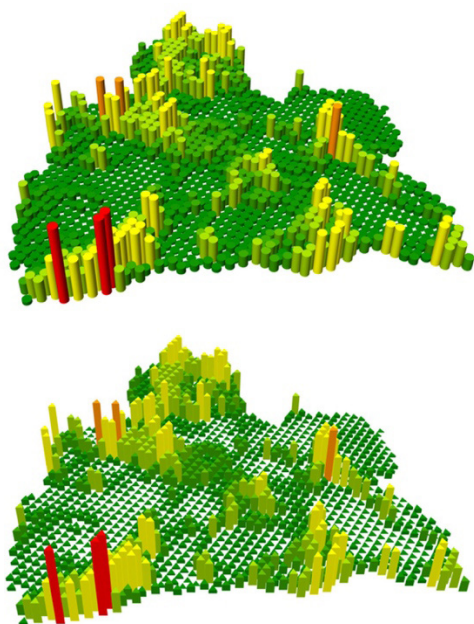


Fig. 2 – Representação por grid que se transforma em diferentes geometrias (exemplo círculos e triângulos).

No caso da visualização por superfície é gerada uma malha NURBS interpolada em pontos cujos “X” e “Y” coincidem com os centros de cada elemento da camada (*grid* ou elemento espacial) e o parâmetro “Z” são os valores ajustados a partir da MCA (Figura 3). NURBS significa *non uniform rational basis-splines*, e é gerada a partir do emprego das curvas de B-spline e de curvas de Bézier que ligam os vários nós de informações e geram uma representação gráfica em superfície (PIEGI & TILLER, 1995).

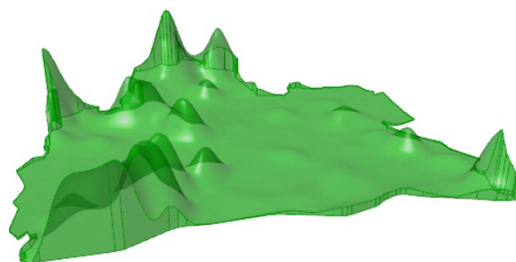


Fig. 3 – Exemplo de NURBS.

Uma vez escolhida se a visualização será em superfície ou em elemento gráfico (seja ele extrusão de uma unidade territorial ou extrusão de um *grid* regular), em todas as formas de visualização pode ser aplicada uma escala ordenada de cor ou uma escala de cores que o usuário compreenda como de interesse seletivo (diferenciar respostas) ou ordenado (hierarquizar respostas) (Figura 4).

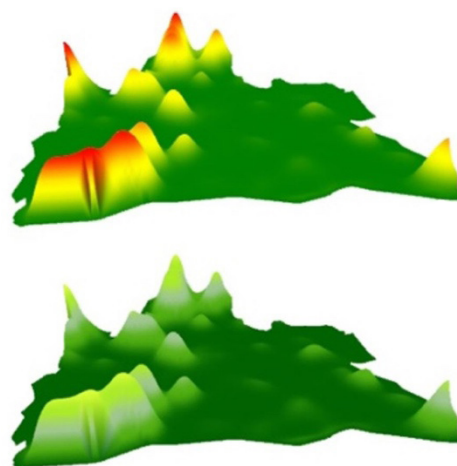


Fig. 4 - Figura em cores diferenciadas em escala que espera ser ordenada e ao mesmo tempo seletiva, e figura em cores ordenadas.

Uma vez obtido o resultado da visualização, o usuário pode realizar ajustes de ampliação ou

redução de contrastes, exagerando ou suavizando a curva de comportamento. O usuário pode ainda escolher outras escalas de cores. O processo finaliza com a aceitação do usuário do modelo de visualização. O objetivo é escolher a forma mais eloquente de compreensão da informação. (Figura 5).

O algoritmo programado apresenta como contribuições:

- Possibilitar que o usuário escolha diferentes pesos para as variáveis da Análise Multicritérios. Isto significa que ele escolhe também as variáveis que vão compor a multicritérios, pois se no elenco apresentado ele der peso “zero” para uma delas, ela não é considerada na integração. Uma vez escolhido o conjunto de variáveis e seus respectivos pesos, o usuário obtém a visualização simultânea da combinação, em cartografia dinâmica;

- Possibilitar que o usuário escolha as saídas de visualização para a sua Análise de Multicritérios, seja ela por superfície contínua, extrusão de elementos gráficos ou aplicação de cores, ou mesmo combinação dos recursos mencionados;

- Pelo poder da visualização o usuário pode construir uma compreensão sobre a realidade investigada, e por processo heurístico. Trata-se da lógica do descobrimento e de aprendizado

intuitivo e informal a partir da manipulação dos dados, até que os resultados apresentados retratem a realidade percebida, ou mesmo favoreçam a compreensão do *if-then* na Análise de Multicritérios, desta forma baseada em *visual-driven*;

- Demonstrar que os clássicos estudos de semiologia gráfica precisam ser revistos pelos usuários de hoje. Dos tempos em que se empregava muito tempo para se elaborar uma composição gráfica, usando mecanismos analógicos, aos dias de hoje em que se tem ampla possibilidade de representação digital, observa-se uma perda nos cuidados com este aspecto da cartografia. Cabe favorecer que o usuário compreenda os impactos de suas escolhas na expressão gráfica, que podem resultar em compreensão limitada ou mesmo equivocada por parte de seus interlocutores.

3. DESENVOLVIMENTO

Cabe detalhar os passos já realizados na programação em *Grasshopper*, pois o maior ganho no uso da ferramenta é a existência de uma expressiva rede de colaboradores que trocam conquistas, oferecendo à comunidade seus desenvolvimentos e contando com colaborações quando necessário.

O algoritmo desenvolvido é aqui apresentado em sua íntegra, para visualização

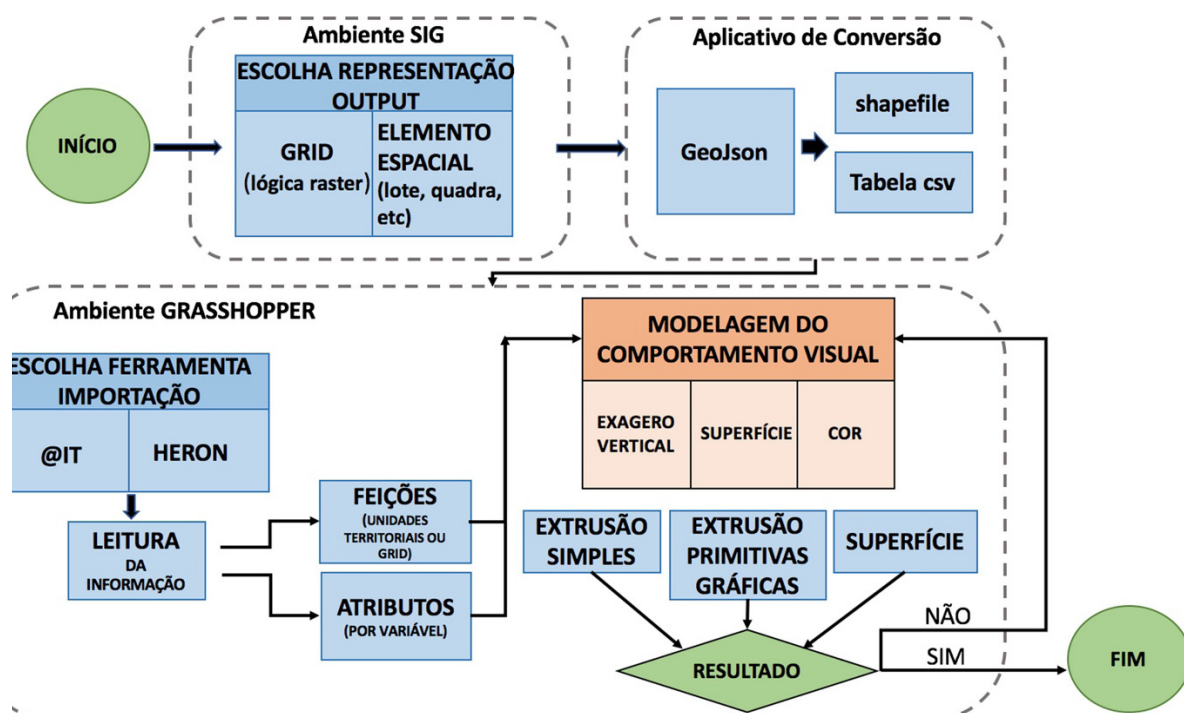


Fig. 5 – A lógica na programação *Grasshopper*.

de como é composto um fluxograma, mas cabe também apresentar cada passo, para que se compreenda melhor como é estruturada uma programação de modelagem paramétrica, cujas entradas são variáveis e seus parâmetros que, submetidas a lógicas de transformação resultam em visualizações geométricas e tridimensionais dos resultados. (Figura 6).

Os usuários do aplicativo *Grasshopper* podem se beneficiar pelo modo como são apresentados os passos no presente trabalho, que permitem a identificação de mecanismos e ferramentas, tornando o processo reproduzível. Esta tem sido uma forma utilizada nos artigos

sobre a ferramenta, o que cria um código compartilhado de troca de informações.

O primeiro passo no algoritmo é carregar o arquivo de dados, que pode ser um *SHP* ou uma tabela *CSV*. Em geral, trabalhar com a tabela facilita muito, pois é um formato otimizado que diz que as linhas são os registros de unidades territoriais e as colunas contêm os atributos, no caso os valores das superfícies potenciais de cada variável que pode ser usada na Análise de Multicritérios. Realizado o *input*, são associadas informações sobre projeções e coordenadas e é selecionada toda a coleção de dados. (Figura 7).

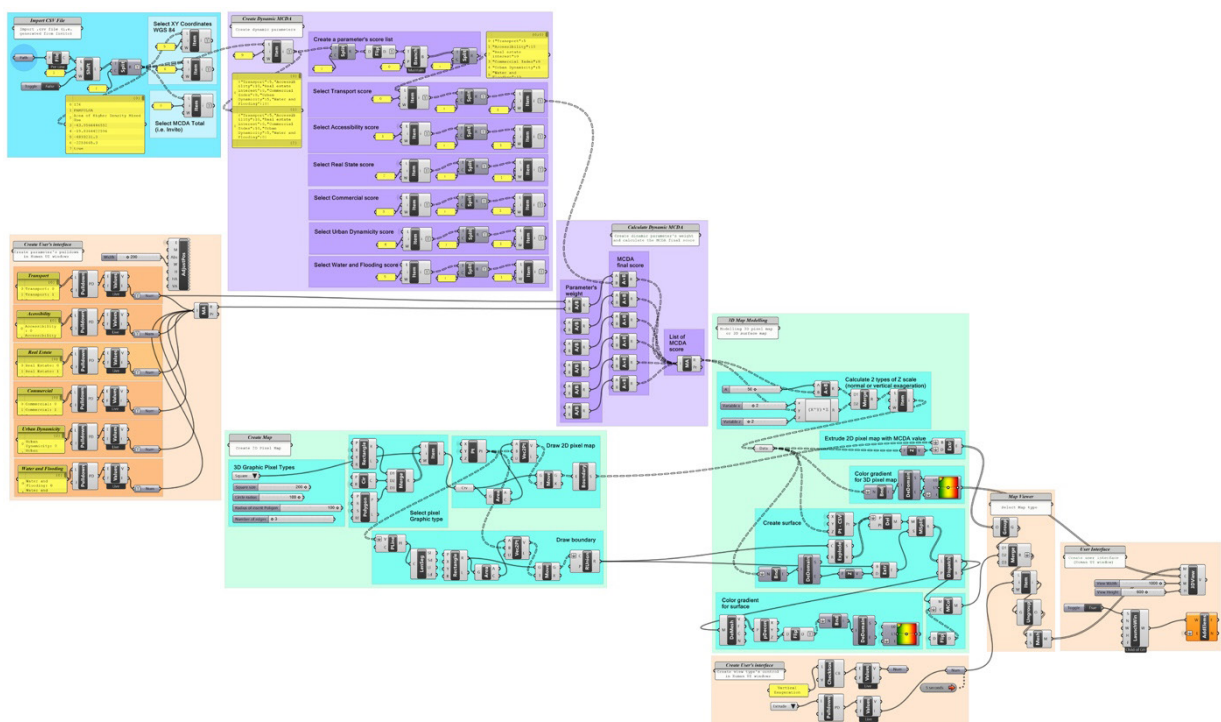


Fig. 6 – Framework do algoritmo criado no *Grasshopper*.

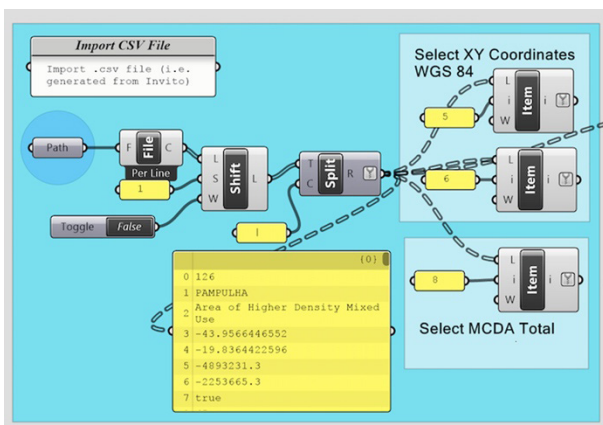


Fig. 7 – *Input* inicial.

O passo seguinte é preparar o carregamento das variáveis para que o usuário possa escolher as que irão compor a integração de multicritérios e atribuir o peso a cada uma. (Figura 8). Uma vez definidos os valores de peso das variáveis, o algoritmo calcula o resultado da análise de multicritérios. Para facilitar a compreensão do usuário ele é solicitado a informar, em escala de zero a dez, a importância da variável, evitando que precise pensar em um percentual para cada e, conseqüentemente, que a soma de todos os percentuais deve ser 100%.

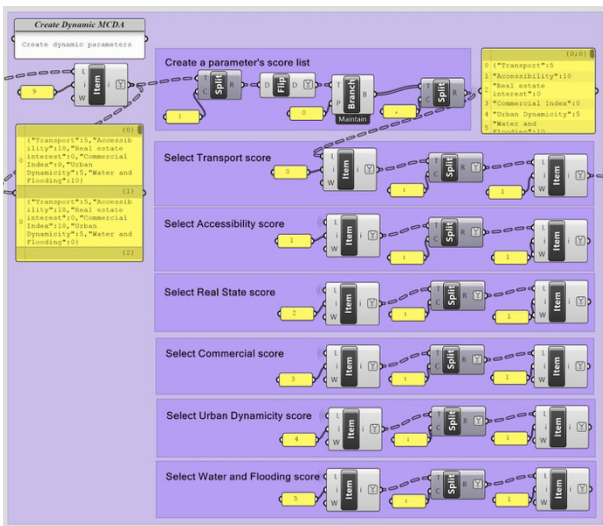


Fig. 8 – Seleção de variáveis que irão compor a multicritérios. Preparo para que o usuário possa escolher o peso a ser atribuído a cada uma.

O algoritmo recebe o valor em escala de importância decimal e converte para se obter a proporção em relação ao conjunto (exemplo, se 'a' recebeu 10, 'b' recebeu 10 e 'c' recebeu 10, o resultado é 33,33% para cada; mas se 'a' recebeu 8, 'b' recebeu 10 e 'c' recebeu 5, o resultado é 34,78%, 43,48% e 21,74%) (Figura 9). É composta uma interface para que o usuário receba as barrinhas para tomada de decisões sobre os pesos, em escala decimal (Figura 10).

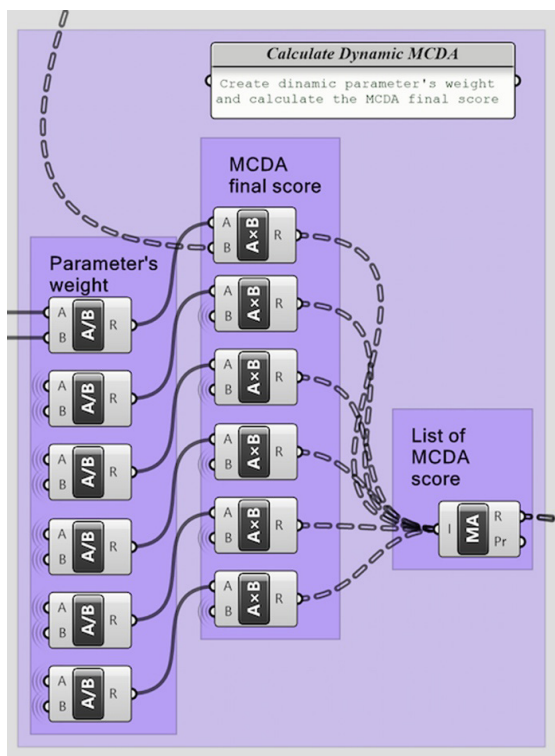


Fig. 9 – Recebimento do peso das variáveis em escala decimal, conversão do peso em proporção e cálculo do resultado de multicritérios.

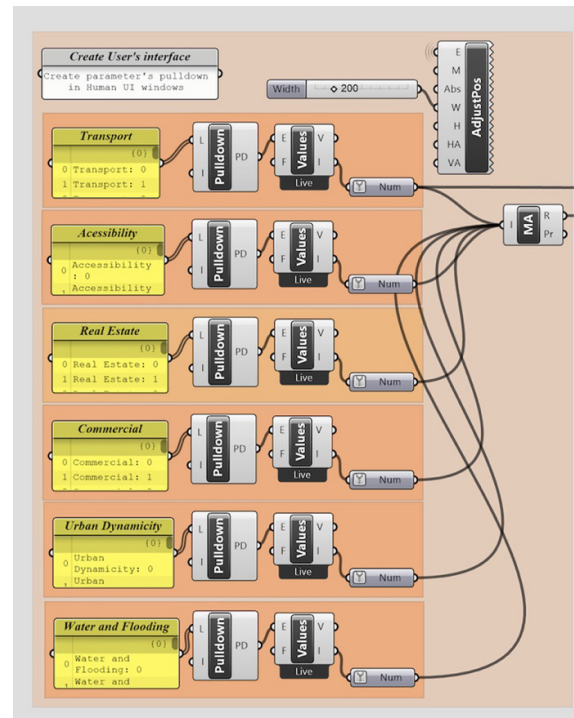


Fig. 10 – Interface que favorece que o usuário escolha os pesos das variáveis.

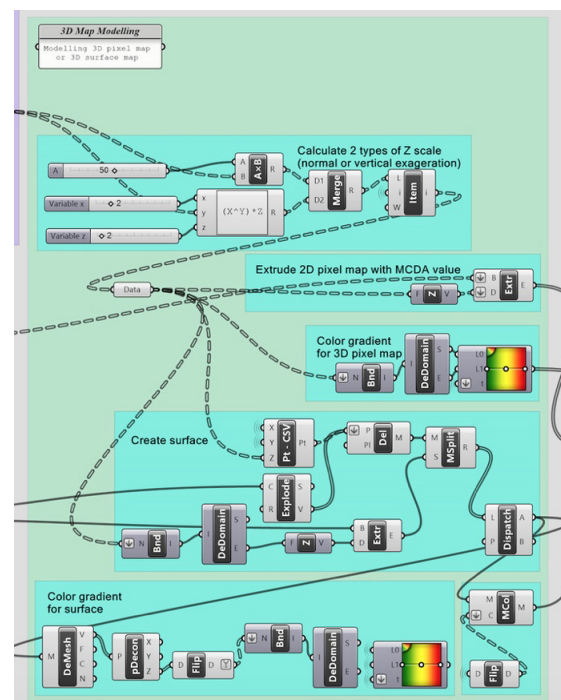


Fig. 11 – Definição da composição gráfica para o output.

Realizado o cálculo da Análise de Multicritérios, é iniciada a etapa de escolha do formato de visualização. O algoritmo é preparado para que se possa escolher entre extrusão e superfície, e entre aplicação de gradiente de diferentes cores ou gradiente de saturação de uma cor (Figura 11). No processo de extrusão, se a origem é um ponto, empregando a lógica de

distribuição homogênea do *pixel* ou *grid* regular, o usuário pode ainda escolher em que tipo de polígono o ponto será transformado. Ele define o número de lados e escolhe a forma geométrica. (Figura 12). Para facilitar o uso, é criada janela de interface em que se escolhe o tipo de expressão gráfica de modo bastante claro (Figura 13).

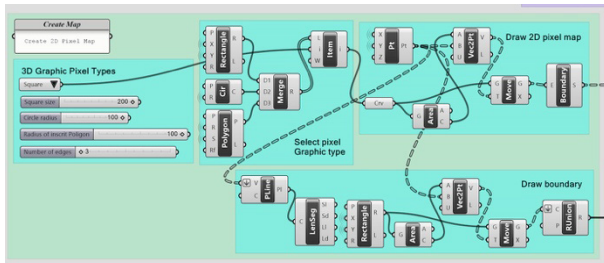


Fig. 12 – Escolha da geometria de extrusão do ponto.

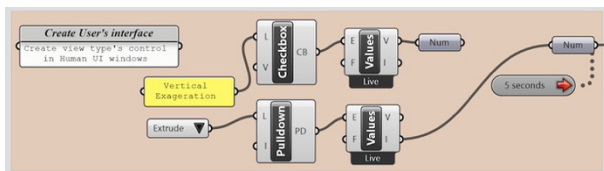


Fig. 13 – Criação da janela de escolha de expressão gráfica, em interface para o usuário.

Finalmente, é estruturada a janela final, na qual o usuário recebe o output de seu mapa de Análise de Multicritérios, por cartografia dinâmica. Há cuidado na composição desta janela para que o mecanismo realmente seja atue como um PPGIS (*Participatory Planning GIS*) baseado em visualização, evitando ruídos de comunicação e promovendo o *visual-driven evaluation* (Figura 14).

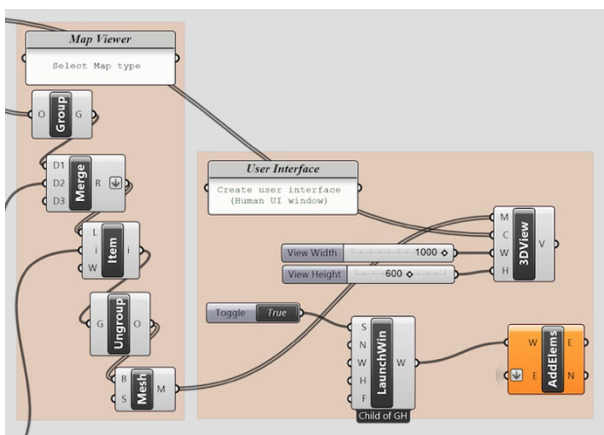


Fig. 14 – Criação da interface final para o usuário, em janela na qual ele verá os botões de escolha e atribuição de pesos de variáveis, a escolha da expressão gráfica e a saída final do mapa, em cartografia dinâmica.

Caso esta etapa da interface não tivesse sido desenvolvida, o usuário teria o *output* de suas simulações no software *Rhinoceros 3D*, aplicativo comercial. A saída no *Rhino* atende muito bem a usuários técnicos, acostumados com a interface de programação e visualização tridimensional, mas ela poderia ser de difícil utilização para outros grupos de usuários. Nesse sentido, se investe plenamente em facilitação da visualização para o usuário (figuras 15 e 16).

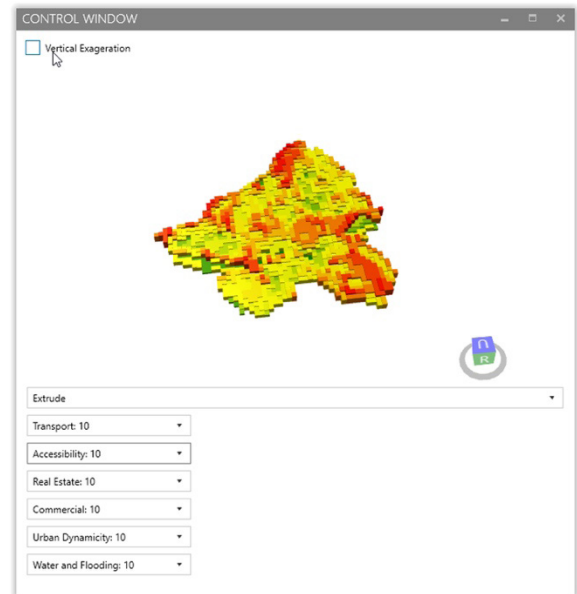


Fig. 15 – Exemplo de janela de escolha de pesos, expressão gráfica e output de resultados. Escolha por extrusão, sem exagero vertical, e escala de diferentes cores ordenadas.

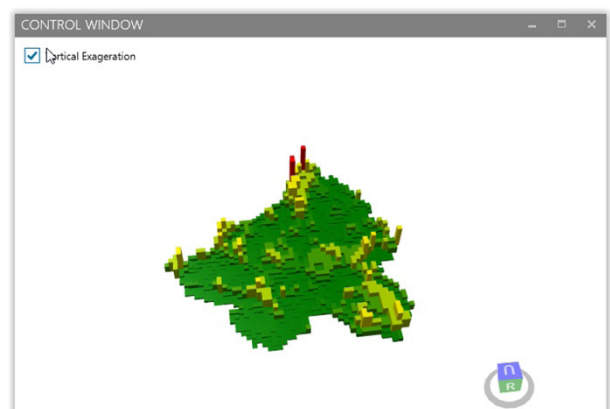


Fig. 16 – Exemplo de janela de output de resultados. Escolha por extrusão, com exagero vertical, e escala de diferentes cores ordenadas.

4. RESULTADOS

A análise dos resultados seguiu a lógica proposta por Bertin para a Semiologia Gráfica (1967). O autor propôs uma tabela de escolhas

de tratamento gráfico da informação com vistas a alcançar a melhor eloquência possível pelo tratamento gráfico, em função dos objetivos principais que se quer comunicar (Figura 17). Bertin (1967) e Bonin (1975) defendem que a comunicação visual é desenvolvida do geral para o particular, porque a apreensão da forma total acontece primeiro que a observação de detalhes. Assim, a comunicação gráfica segue processo inverso à comunicação falada e escrita, que vão do particular (letras, sílabas, palavras) para o geral (a construção da oração e sua compreensão). Segundo os autores, em qualquer momento desse processo, tanto na comunicação verbal e escrita como na expressão gráfica, há o risco de ruído na compreensão.

VARIÁVEIS VISUAIS	PROPRIEDADES DE ORGANIZAÇÃO			MODO DE IMPLANTAÇÃO		
	Q	O	≠	PONTUAL	LINEAR	ZONAL
TAMANHO	Q	O	≠	• • •	— — —	•••••
VALOR INTENSIDADE		O	≠	○ ● ●	— — —	•••••
GRANULAÇÃO		O	≠	▢ ▢ ▢	— — —	•••••
ORIENTAÇÃO			≠	/ —	— — —	•••••
COR			≠	● ● ●	— — —	•••••
FORMA			≠	▲ ● ■	— — —	•••••

SENDO Q QUANTITATIVO O ORDENADO ≠ SELETIVO ≡ ASSOCIATIVO

Fig. 17 - Tabela de interpretação de Semiologia Gráfica (Adaptada de Bertin, 1967).

Porém, a visualização cartográfica é uma “Obra Aberta” no sentido de Eco (1962), pois ainda que recebamos uma informação inicial comum a todos, podemos, no processo de construção mental da visualização, associarmos informações adicionais em função de nossas expectativas de análise. Nesse sentido, segundo Moura (2015) a comunicação visual é inicialmente monossêmica, no sentido de “onde”, “como”, “quanto”; mas também é polissêmica quando o desafio é a compreensão e a decodificação sobre “por que” e “e se”.

As visualizações foram elaboradas, para fins de comparação de resultados e análise das expressões gráficas mais favoráveis a objetivos específicos de visualização, nos formatos: grids (regulares ou na forma de círculos) ou unidades territoriais (no exemplo quadras ou lotes). Eles foram trabalhados por simples extrusão, por ampliação do elemento e extrusão, por composição de superfície, e por aplicação de cor.

Observa-se que a composição de uso do elemento gráfico pode ser caracterizada como uso de “forma”, e que a Semiologia Gráfica relaciona à informação de “associativo” (Figura 18a). O associativo, como a palavra diz, associa uma informação a referências já existentes, como é o caso de associar o símbolo da cruz de lados iguais a farmácias. Nesse sentido, a mente do observador associa a representação 3D à altura de prédios, e imagina que o crescimento se dará na forma de ampliação dos edifícios, e não por coeficientes ou potenciais que têm diferentes maneiras de acontecerem no espaço.

Ainda na Figura 18a, aplica-se a “valor/intensidade” no tratamento gráfico, o que favorece a compreensão de escala ordenada, e isto é muito positivo para a visualização da análise de multicritérios. Contudo, quando se aplica “tamanho” e diferenciação de “cores” na mesma base de representação (Figura 18b), o tamanho favorece a compreensão “quantitativa”, ao passo que as cores diferentes quebram a noção de ordenação e levam à compreensão de diferenciação, pois cor é “seletivo”. De imediato se pergunta o que significa uma cor em específico na figura.

Na figura 18d observa-se que o elemento é a superfície, e que ela é tratada com “tamanho”, adequado para variáveis quantitativas, e que se, ao mesmo tempo, fosse aplicado uma escala de “valor/intensidade” de cores, poderia ser representado também o critério de “ordenado”. O fato de na figura 18e ter sido usado o tratamento de “cor”, com cores diferentes, apresenta o risco de fatiamento de classes, menos do que de ordenação de escala. Cabe verificar se esta era a intenção do usuário.

Na figura 18c é observado o emprego de grid regular (no caso cilindros) em que se aplicou o “tamanho” para representar o resultado “quantitativo” e “cor” para separar faixas de valores em representação “seletiva”. Caso o usuário empregasse “valor/intensidade” o caráter de “ordenado” ficaria mais claro. Na figura 18f trabalhou-se com redundância na comunicação, ou seja, a escala de tamanho foi usada tanto em “z” como em “x/y”, reforçando a intensão de mostrar valores quantitativos. (Figura 18).

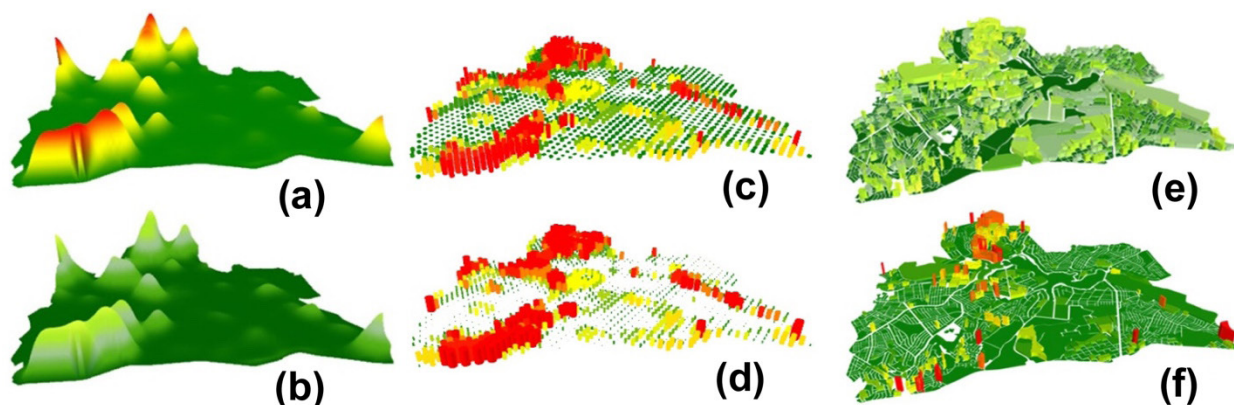


Fig. 18 - Visualization. (a) surface+size+colour; (b) surface+size+value/intensity; (c) grid + size z+ colour; (d) grid + size xyz+ colour; (e) spatial element + value/intensity (f) spatial element + vertical exaggeration + colour.

5. CONCLUSÕES

É necessário entender que a análise de multicritérios se destina à escolha estratégica por política de favorecimento de variáveis, que atuam como se fossem eixos de importância na simulação de futuros possíveis. Um usuário pode, por exemplo, entender que o aumento da importância da variável de distribuição de comércio pode levar a resultados mais interessantes em uma determinada área do que, por exemplo, o incremento das condições de transporte. Por isto é um apoio à tomada de decisões.

A modelagem paramétrica que favoreceu que o usuário realizasse simulações de diferentes valores e obtivesse como resposta uma cartografia dinâmica é um mecanismo de visualização com o objetivo de favorecer a compreensão do que significa favorecer uma variável em relação às demais quando se elabora uma análise de multicritérios. O objetivo é ampliar o poder de visualização da informação e testar as formas mais adaptadas aos diferentes objetivos.

A proposta apresentada é baseada em *visual-driven evaluation*, pois não é só a tomada de opinião especialista (que seria *knowledge driven evaluation*), e não é a busca de respostas a partir do comportamento espacial dos dados (que seria *data-driven evaluation*), mas sim uma forma de fazer o usuário testar livremente as possibilidades de composição e verificar as respectivas respostas.

O processo não só amplia a compreensão dos resultados, sobretudo com as possibilidades de escolha de expressão gráfica, como também

constrói uma base de conhecimento sobre como funciona a lógica espacial. Isto, usando palavra e conceito muito em moda, pode resultar em “empoderamento” no processo participativo e na tomada de opiniões e decisões.

Em trabalhos futuros, que se estão em desenvolvimento, os estudos serão ampliados na programação do *Grasshopper* de modo a aplicar a lógica de *opinion-driven evaluation*, na qual um conjunto de diferentes representantes da sociedade simulam decisões coletivas e verificam futuros alternativos para um lugar de interesse em comum.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Prefeitura de Belo Horizonte pelo amplo acesso às informações, cedidas mediante acordo do GGIU – Grupo de Gestão da Informação Urbana.

Os autores da publicação agradecem ao CNPq o apoio através do projeto “Geodesign e Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial: novos recursos das geotecnologias para gestão da paisagem da Regional Pampulha, Belo Horizonte”, Processo 471089/2014-1, e projeto “Geodesign e Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial: Geoprocessamento para a proposição de um Plano Diretor da Paisagem para a região do Quadrilátero Ferrífero-MG” Processo 401066/2016-9, Edital Universal 01/2016; e à Fapemig pelo Processo PPM IX, TEC - PPM-00059-15.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTIN, J. **Sémiologie graphique: les diagrammes, les réseaux, les cartes**. Paris, Mouton et Gauthiers-Villars, 1967, 431 p.
- BERTIN, J. **Cartes et figures de la Terre**. Paris, Centre Georges Pompidou, 1980. p. 2-8.
- BOELENS, R.; DAVILA, G. **Searching for equity: concepts of justice and equity in peasant irrigation**. Netherlands, Van Gorcum, 1998, 472 p.
- BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: modelling with GIS**. Ottawa, Pergamon, 1994. 398 p.
- BONIN, S. **Initiation à la graphique**. Paris, Epi, 1975, 172 p.
- CARVALHO, G.A. Contribuições metodológicas ao Planejamento Urbano: comparação de métodos de análise multivariada e modelos de mudança da paisagem urbana - aplicações na Regional Pampulha - Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil. **Tese de Doutorado**, Instituto de Geociências, UFMG. 2015, 155 p.
- CASTRO, D.; MOURA, A. C. M. Procedimentos de data mining na definição de valores para as análises de multicritérios como apoio à tomada de decisões e análise espaciais urbanas. **Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia**, Aracaju-SE, 2010, p. 186-192.
- CRAIG, W. J.; HARRIS, T. M.; WEINER, D. **Community Participation and Geographic Information Systems**. London, Taylor and Francis, 2002. 416 p.
- DALKEY, N.; HELMER, O. An experimental application of the Delphi method to the use of experts. **Management Science**, v. 9, n. 3, 1963. p. 458-467.
- DALKEY, N. C. **The Delphi Method: an experimental study of group opinion**. United States Air Force Project, RAND Corporation, 1969. 79 p.
- ECO, U. **Opera aperta**. Milano, Bompiani, 1962, 370p.
- OFLORIO, W. Modelagem paramétrica, criatividade e projeto: duas experiências com estudantes de arquitetura. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 6, n. 2, 2011. p. 43-66.
- HAGGETT, P.; CHORLEY, R. **Modelos Integrados em Geografia**. Rio de Janeiro, LCT Livros Técnicos e Científicos, 1974. 222 p.
- HAIR JR, J. F.; BLACK, William C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre, Bookman, 2009. 688 p.
- LEACH, N. Special Issue: Digital Cities. **Architectural Design**, v. 79, n. 4, 2009. 135 p.
- LIGMANN-ZIELINSKA, A.; JANKOWSKI, P.; WATKINS, J. Spatial Uncertainty and Sensitivity Analysis for Multiple Criteria Land Suitability Evaluation. **Geoscience 2012 – Seventh International Conference on Geographic Information Science**, Ohio State University, 2012. 4p.
- LINSTONE, H. A.; TUROFF, M. **The Delphi Method: Techniques and Applications**. Linstone, 2002. 620 p.
- MENEZES, A.C.F.; FAISSOL, S.; FERREIRA, M.L. Análise da matriz geográfica: estruturas e inter-relações. In: IBGE. **Tendências atuais na geografia urbano-regional: teorização e quantificação**. Rio de Janeiro, 1978. p. 67-109.
- MONMONIER, M. **How to lie with maps**. The University of Chicago Press, 1991. 176 p.
- MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. (1a. ed. 2003), 286 p.
- MOURA, A. C. M. Learning topics in urban planning at UFMG: geoprocessing to support analysis, planning and proposal of the urban landscape at neighborhood scale. **Paranoá**, v. 7, 2012, p. 51-59.
- MOURA, A. C. M. O papel da cartografia nas análises urbanas; tendências no urbanismo pós-moderno. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, n.2, 1994, p. 41-73.
- MOURA, A. C. M. Parametric modeling and visualization in decoding of collective values: from absolute to relative values. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 8, 2015, p. 1607-1625.
- MOURA, A. C. M.; JANKOWSKI, P. Contribuições aos estudos de análises de

- incertezas como complementação às análises multicritérios - “Sensitivity Analysis to Suitability Evaluation”. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 4, Edição Especial Geoinformação e Análise Espacial, 2016, p. 665-684.
- PIEGE, L. A.; TILLER, W. **The NURBS book**. New York, Springer-Verlag, 1995. 646 p.
- POPPER, K. **Logica della scoperta scientifica**. Torino, Einaudi, 1970. 550 p. (primeira edição em alemão, 1934).
- ROBINSON, A. C. **Design for Synthesis in Geovisualization**. [S.l.]: The Pennsylvania State University, 2008. 141p.
- SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. N. York, McGraw-Hill, 1980. 267p.
- SAATY, T. L. What is Analytic Hierarchy Process. In.: MITRA, G.; GREENBERG, H. J.; LOOTSMA, F. A.; RIJKAERT, M. J.; ZIMMERMANN, H. J. (Eds). **Mathematical Models for Decision Support**. Springer Berlin Heidelberg, 1988, p. 109-121.
- SCHUMACHER, P. Parametricism: a new global style for architecture and urban design. **Architectural Design**, v. 79, n. 4, 2009, p. 14–23.
- TODESCHI, A. **AAD Algorithms Aided Design: Parametric Strategies using Grasshopper**. Brienza, Le Penseur, 2011. 496 p.
- TODESCHI, A. **Parametric Architecture with Grasshopper**. Brienza, Le Penseur, 2010. 208 p.
- WHITE, A. B.; KUMAR, P.; TCHENG, D. A data mining approach for understanding topographic control on climate-induced inter-annual vegetation variability over the United States. **Remote Sensing of Environment**, v. 98, 2005, p. 1-20.
- ZURITA, G.; ANTUNES, P.; BALOIAN, N.; BAYTELMAN, F.; FARIAS, A. **Visually-Driven Decision Making Using Handheld Devices**. 2008 conference on Collaborative Decision Making: Perspectives and Challenges. Amsterdam: IOS Press Amsterdam. 2008. p. 257-269.