



Análise Multicritério Aplicada à Determinação de Áreas de Adequabilidade à Valorização Imobiliária

Multi-Criteria Evaluation Applied to the Determination of Areas of Suitability for Real Estate Appreciation

Daniel Camilo de Oliveira Duarte¹, Júlio Cesar de Oliveira², João Luiz Lani³, Marlene Salette Uberti⁴, Éder Teixeira Marques⁵ e Marcos Vinícius Sanches Abreu⁶

¹ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, Brasil. daniel.duarte@ufv.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9186-1126>

² Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, Brasil. oliveirajc@ufv.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0894-5597>

³ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, Viçosa, Brasil. lani@ufv.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6122-9373>

⁴ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia, Seropédica, Brasil. ubertimarlene@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5643-0304>

⁵ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, Brasil. eder@ufv.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9273-1120>

⁶ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, Brasil. marcos.abreu@ufv.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8978-3248>

Recebido: 04.2020 | Aceito: 12.2020

Resumo: O Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem sido amplamente utilizado no Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) para gerenciar dados e informações acerca dos imóveis e das diversas temáticas relacionadas ao Planejamento Urbano e a Gestão Territorial. Entre as ferramentas presentes em um SIG, a *Multi-Criteria Evaluation* (MCE) é utilizada em várias áreas da ciência e os seus resultados são mapas de susceptibilidade ou adequabilidade, elaborados por meio da combinação de restrições, fatores e pesos que permitem subsidiar a tomada de decisão. No contexto de Goiânia, a MCE foi utilizada para definir áreas de adequabilidade à valorização imobiliária. Para isso foram utilizados dados geográficos das temáticas: Meio Ambiente, Topografia, Transporte e Mobilidade, Educação, Patrimônio Histórico e Cultura, Saúde e Assistência Social, Infraestrutura Urbana e Serviços Urbanos. Todos os dados passaram por técnicas de análise espacial para serem escalonados em fatores em termos de sua adequabilidade a valorização imobiliária por meio das lógicas booleana e *Fuzzy*. Além disso, os fatores foram submetidos a processos de ponderação por meio do método *Analytical Hierarchy Process* (AHP) correlacionado com a Planta Genérica de Valores (PGV), trazendo inovações que permitem minimizar as subjetividades de ponderação inerentes a MCE. Para combinar os fatores da análise foram utilizados os métodos da Combinação Linear Ponderada (CLP) e a Média Ordenada Ponderada (MOP). Os resultados demonstram que as Regiões Central e Campinas apresentaram maior adequabilidade à valorização imobiliária. De modo geral, a metodologia proposta acarretou em inovações quanto a capacidade da MCE de modelagem da influência geográfica nos valores dos imóveis.

Palavras-chave: Análise Espacial, Lógica *Fuzzy*, *Analytical Hierarchy Process*.

Abstract: The Geographic Information System has been largely used in the Multipurpose Territorial Cadastre to manage data and information about properties and the various themes related to Urban Planning and Territorial Management. Among the tools present in a GIS, the Multi-Criteria Evaluation (MCE) is used in several areas of science and its results are maps of susceptibility or suitability, elaborated through the combination of restrictions, factors and weights that allow subsidizing the taking decision-making. In the context of Goiânia, MCE was used to define areas of suitability for real estate valuation. For that, geographical data of the themes were applied spatial analysis techniques to be scaled into factors in terms of their suitability for real estate valuation through the Boolean and Fuzzy logic. In addition, the factors involved in the weighting process using the Analytical Hierarchy Process method correlated with the Plan of Generic Values, bring innovations that can be applied as weighting subjectivities inherent in the MCE. To combine the factors of analysis, the methods of Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Average were used. The demonstrative results that, as the Central and Campinas Regions, presented greater adequacy to the real estate valuation. In general, a proposed methodology allows innovation in capacity superior to the MCE for modeling geographic influence on property values.

Keywords: Spatial Analysis, Fuzzy Logic, Analytical Hierarchy Process.

1 INTRODUÇÃO

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) estão presentes em várias áreas do conhecimento, pois de alguma forma, os dados coletados e as informações derivadas para determinado projeto tem alguma relação com o espaço (ARONOFF, 1989; BURROUGH, 1987; BURROUGH; MCDONELL, 1999; CÂMARA; MEDEIROS, 1998; CÂMARA; MONTEIRO, 2003; LONGLEY et al. 2013).

Na esfera administrativa dos municípios brasileiros, o SIG tem sido amplamente utilizado no Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) para gerenciar dados e informações acerca dos imóveis e das diversas temáticas relacionadas ao Planejamento Urbano, transformando-se em um dos principais instrumentos de Gestão Territorial (SILVA, 2006; CUNHA; ERBA, 2010). Neste contexto, o CTM pode ser estabelecido para finalidades fiscais (Ex.: avaliação e tributação), legais (Ex.: transferências e certidões), administrativas (Ex.: planejamento e controle do uso da terra), ambiental (Ex.: desenvolvimento sustentável e proteção ambiental) (DE CESARE; CUNHA, 2010; AMORIM; PELEGRINA; JULIÃO, 2018; DUARTE, 2019).

Entre as diversas ferramentas de Análises Espaciais presentes em um SIG, a *Multi-Criteria Evaluation* (MCE), possui um conjunto de métodos e ferramentas para a integração de variáveis espaciais (critérios), de modo a obter informações para a tomada de decisão (SAATY, 1987; SILVERMAN, 1986; EASTMAN, 1997; MALCZEWSKI, 1999; BAPTISTA, 2009). Segundo Calijuri, Melo e Lorentz (2002), na aplicação da MCE a forma de combinar (integração) os critérios (restrições e fatores) e a forma como podem influenciar (pesos) no resultado final, assumem grande importância nos resultados e conseqüentemente nas decisões.

Silverman (1986) e Eastman (1997), expõem que os valores de diferentes critérios não podem ser comparados entre si, pois podem apresentar distintas unidades de medidas, o que inviabilizaria a combinação. Contudo, pode-se utilizar a lógica booleana para classificar as áreas em aptas, com o valor 1, e não aptas com valor nulo. Além disso, pode-se utilizar a lógica *Fuzzy*, a qual um conjunto de valores contínuos, expressos numa dada escala, é convertido em outra escala comparável em termos de sua adequabilidade ou susceptibilidade a determinado aplicação (ZADEH, 1965; MALCZEWSKI, 1999; COMINO, et. al., 2014).

Uma das grandes vantagens da MCE é a possibilidade de atribuir pesos a cada um dos fatores no processo de agregação. Tem-se, portanto, a importância relativa dos fatores, o que regula a compensação entre eles (CALIJURI; MELO; LORENTZ, 2002). Dentre as formas para definição destes pesos, destaca-se o método *Analytical Hierarchy Process* (AHP) aplicado à matriz de comparação par-a-par (SAATY, 1987). Segundo Baptista (2009), todo processo de ponderação pode ser validado por meio da Razão de Consistência (RC), sendo necessário o cálculo do autovalor e do correspondente auto vetor para cada conjunto de pesos.

As restrições, fatores e pesos são combinados por meio de processos algébricos e estatísticos, respeitando uma regra de decisão de agrupamento, onde o risco e a compensação são controlados pelo usuário por meio de um espaço estratégico de decisão. Na combinação dos critérios são utilizados diversos métodos, entre eles a Combinação Linear Ponderada (CLP) e a Média Ordenada Ponderada (MOP) (EASTMAN, 1997).

Os resultados da MCE são mapas, gráficos e tabelas que inferem sobre a adequabilidade ou susceptibilidade de determinada aplicação de cunho geográfico. A MCE vem sendo utilizada em diversos trabalhos para modelar a influência da localização dos dados em análises relacionadas a:

- a) Meio Ambiente: Calijuri, Melo e Lorentz (2002); Zambon et al. (2005); Baptista (2009); Caixeta et al. (2012); Comino et al. (2013); Silva e Machado (2014) e Pinto (2014);
- b) Agricultura: Agrell, Stam e Fischer. (2004); Chen, Yu e Khan (2010) e Akinci e Ozalp (2013);
- c) Urbanização: Santos (2012), Faria Filho e Gonçalves (2015); Duarte et al. (2018); Santos e Ventorini (2017) e Duarte (2019).

No contexto do cadastro fiscal, a MCE pode ser utilizada para definir áreas de adequabilidade à valorização imobiliária. Estas áreas são locais homogêneos em termos de presença e acesso a equipamento urbanos e comunitários. Além disso, são considerados as condições topográficas e ambientais para definir o perfil imobiliário como conforme preconizado por De Cesare, Fernandes e Cavalcanti (2015). A definição de área de adequabilidade a valorização imobiliária pode servir de parâmetro para: o lançamento e aplicação da política tributária; determinação de indenizações para fins de desapropriações ou outras compensações; geração de informação para operações imobiliárias em geral, tais com a compra, venda leilão, locações,

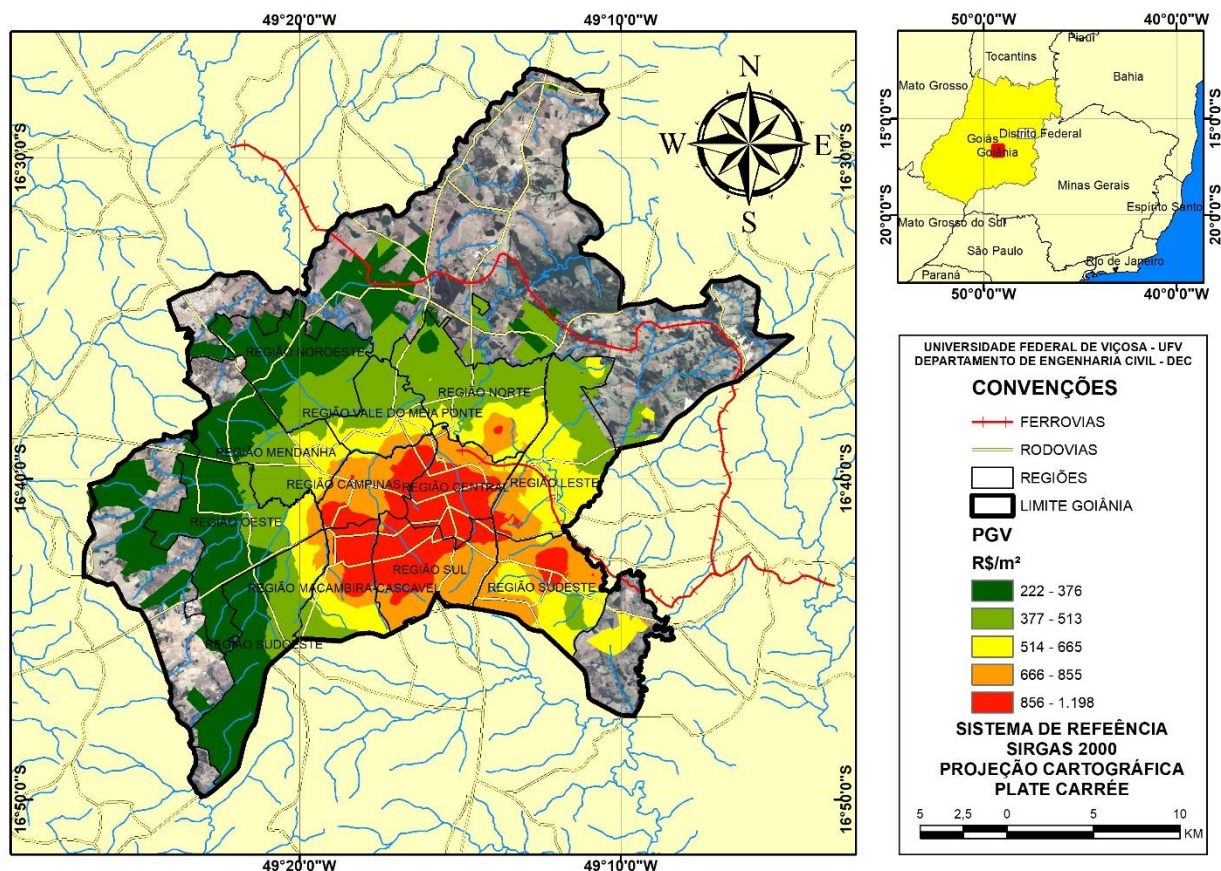
partilhas e arrendamentos imobiliários. Neste contexto, a técnica MCE pode ampliar a capacidade de modelagem da influência geográfica nos valores dos imóveis (COMINO et al., 2014; DUARTE 2014; DUARTE 2016; DUARTE, 2018).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo é o município de Goiânia – Goiás (Figura 1), localizado nas proximidades do paralelo 16°40'43" S e do meridiano 49°15'14" O, com altitude média de 749 metros e área de 728,841 km². Aproximadamente 99% dos habitantes do município vivem na área urbana, com uma densidade demográfica de 1.776 habitantes/km², sendo o município mais populoso do estado e o 12º do Brasil (IBGE, 2014).

Figura 1 – Mapa de localização do município de Goiânia – GO.



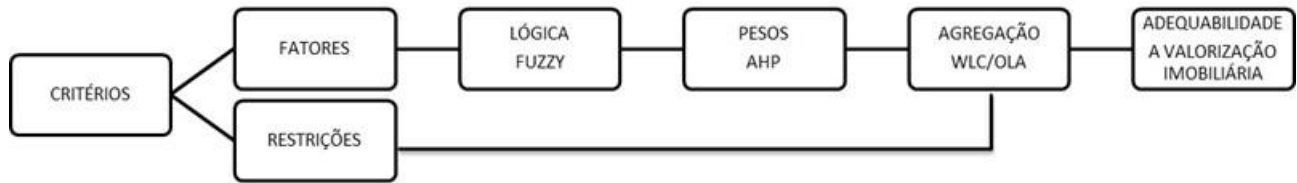
Fonte: Os autores (2021).

O município mantém o Sistema de Informação Geografia de Goiânia de Banco de Dados Espaciais (SIGGO) compilados e mantidos pelas diversas secretarias. O SIGGO foi idealizado para disponibilizar dados e informações para órgãos governamentais, concessionárias de serviços públicos, organizações privadas e instituições de ensino e pesquisa (GOIÂNIA, 2015). O SIGGO contém o Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia com bairros, quadras, lotes, logradouros e a PGV. Além disso, a base de dados espacial apresenta dados de altimetria, hidrografia, zoneamento urbano; transporte e mobilidade, saúde e assistência social, educação, segurança pública e socioeconômica (GOIÂNIA, 2015). Em vista disso, foram selecionadas algumas camadas para construção de um SIG, com objetivo de subsidiar a determinação da adequabilidade a valorização imobiliária.

2.2 Metodologia

A MCE permite a integração de diversos critérios espaciais em uma única análise. Para isso foram definidos restrições, fatores, pesos e métodos de combinação estatísticos para elaborar mapas de adequabilidade imobiliária. A Figura 2 representa genericamente a metodologia aplicada na MCE.

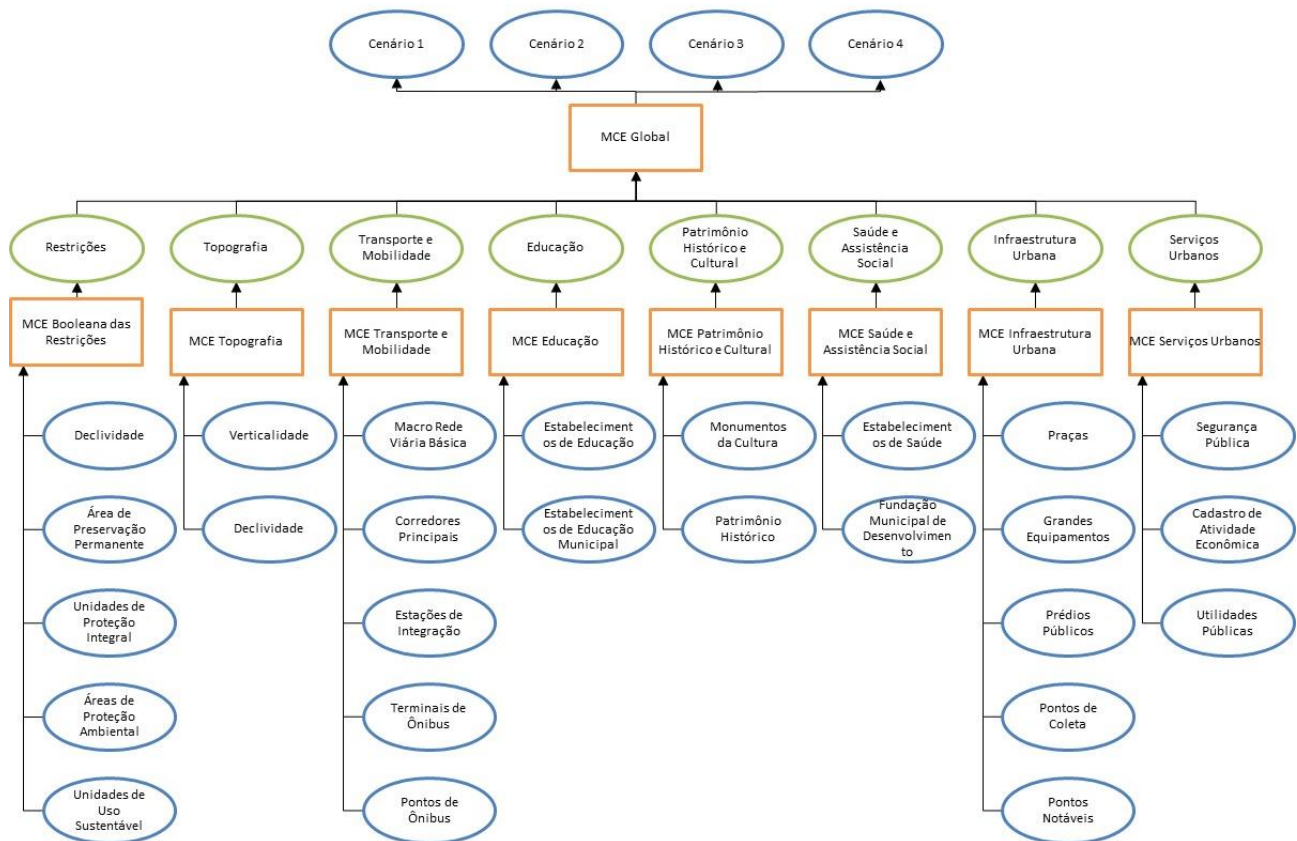
Figura 2 – Esquema metodológico genérico de aplicação da técnica MCE.



Fonte: Os autores (2021).

No presente estudo, a MCE destinada à valorização imobiliária foi realizada em blocos (paralelização) com o intuito de sistematizar todo o procedimento. Primeiramente, foi realizada a análise de restrições. Em seguida, foram realizadas análises multicritério individuais para as temáticas: Topografia (TOP), Transporte e Mobilidade (MOB), Educação (EDC), Patrimônio Histórico e Cultura (PHC), Saúde e Assistência Social (SAS), Infraestrutura Urbana (INF) e Serviços Urbanos (SER). Por fim todas as análises foram integradas em uma MCE Global, onde foram elaborados cenários variando o Risco e a Compensação, conforme Figura 3.

Figura 3 – Esquema das estratégias de processamento utilizadas nas análises MCE.



Fonte: Os autores (2021).

2.2.1 RESTRIÇÕES

As restrições à valorização imobiliária foram elaboradas por uma MCE Booleana, onde os critérios aptos são assinalados com o valor 1 (um) e os critérios não aptos com o valor 0 (zero). No contexto desta pesquisa, as restrições foram elaboradas em consonância com o Plano Diretor Municipal (GOIÂNIA, 2007),

Lei de Parcelamento do Solo (BRASIL, 1979) e legislações ambientais de âmbito federal (BRASIL, 2012).

Brasil (1979), estabelece que “*em terrenos com declividade igual ou superior a 30%, não será permitido o parcelamento do solo*”. Assim, áreas com esta característica foram consideradas inaptas para fins imobiliários. Como indicado por Goiânia (2007) e Brasil (2012), as Áreas de Preservação Permanente, Unidades de Proteção Integral, Áreas de Proteção Ambiental e Unidades de Uso Sustentável foram consideradas inaptas para novos empreendimentos imobiliários. Assim, os conceitos e as ferramentas de álgebra de mapas foram utilizados para sobrepor e integrar as cinco camadas selecionadas em um único mapa de restrições.

2.2.2 FATORES

A Topografia natural ou artificial desempenha função básica nos processos de ocupação humana. A Declividade é um critério importante em relação à valorização dos imóveis, pois, terrenos planos pressupõem menor movimentação de terra e conseqüentemente menor custo para empreendimentos imobiliários (TULER; SARAIVA, 2014). Assim, Declividades variando entre 0% e 30% foram consideradas um fator na análise.

A Verticalização urbana associada à densidade de edificações locais, tem se demonstrado um critério condicionante de demanda por imóveis (SOMEKH, 2015). Para determinar o fator de Verticalização foi utilizada uma nuvem de pontos tridimensional referentes as edificações. Em seguida foi utilizada a técnica da densidade de Kernel (SILVERMAN, 1986) para elaborar um raster de densidade de edificações ponderado por meio dos valores de variação de altitude entre o terreno e a cobertura das edificações (ESRI, 2014).

O tema do Transporte e a Mobilidade Urbana foi idealizado devido a sua importância no desenvolvimento imobiliário e pela vocação de expressar a capacidade de acessibilidade em atendimento às necessidades de deslocamento das pessoas e de bens (BRASIL, 2015). Os critérios considerados foram: Macro Rede Viária Básica, Corredores Principais, Estações de Integração, Terminais de Ônibus e Pontos de Ônibus.

O acesso a serviços de Educação foi representado por entidades produtoras e fornecedoras de conhecimento acadêmico à sociedade goianense, como os Estabelecimentos de Educação Municipal e os Estabelecimentos de Educação Privados.

Além disso, os equipamentos comunitários relacionados com a temática do Patrimônio Histórico e Cultural foram alocados nas camadas Monumentos da Cultura e Patrimônio Histórico. Os quais refletem um pouco da história municipal e ainda contribuem para a preservação da memória da cidade. Geralmente, eles simbolizam acontecimentos que marcaram a história local e homenageiam pessoas que foram importantes para sociedade, além de serem pontos turísticos locais. Além disso, registra as construções, praças, casas, prédios e outros bens que foram tombados ou protegidos pelo seu valor histórico.

A temática da Saúde e Assistência Social foram contempladas na análise por meio das camadas Estabelecimentos de Saúde e Unidades da Fundação Municipal de Desenvolvimento Comunitário. Os Estabelecimentos de Saúde são entidades como: Hospitais, Maternidades, Posto de Saúde, Centro de Atenção Integrada à Saúde, Centro Integrado de Atenção Médico-Sanitária; Unidade Básica de Saúde, Centro de Saúde da Família e Centros de Atenção Psicossocial. As Unidades da Fundação Municipal de Desenvolvimento Comunitário são estabelecimentos de assistência social que englobam os Centros de Referência em Assistência Social, Centros Municipais de Assistência Social, Centros Comunitários e Rede de Atendimento Secundário.

A Infraestrutura Urbana caracterizada pelos equipamentos urbanos desempenha um papel importante perante a sociedade, e conseqüentemente, a qualidade ao acesso, pode ser considerada um critério de demanda no mercado imobiliário. De modo geral, são voltadas para funções ou atividades estruturais da cidade como Praças, Grandes Equipamentos, Prédios Públicos, Pontos de Coleta e Notáveis.

Além disso, os Serviços Urbanos foram idealizados para suprir a análise com a disponibilidade dos serviços ofertados por parte do poder público e da iniciativa privada, visto que a facilidade de acesso a serviços e produtos traz comodidade para a sociedade. A Segurança Pública engloba a presença constante de policiamento, delegacias e sistemas de monitoramento. O Cadastro de Atividade Econômica é composto de agentes econômicos que estão engajados na produção de bens e serviços, podendo compreender estabelecimentos de empresas privadas ou públicas, instituições sem fins lucrativos e agentes autônomos. Além disso, as Utilidades Públicas são as instituições que prestam serviços à coletividade, como por exemplo: feiras;

igrejas; hotéis, grandes lojas e supermercados; shoppings; teatros; cinemas e pontos de táxi.

Para cada critério foram calculadas faixas de distâncias e as densidades de Kernel. Os fatores foram padronizados em um mesmo intervalo de valores em termos de sua adequabilidade de valorização imobiliária. A padronização dos diferentes temas utilizados, expressos em grandezas variadas, é realizada para que possam ser comparados. Para padronização dos dados foram utilizados os conceitos que envolvem a lógica *Fuzzy*. Na lógica *Fuzzy* a variação entre um membro e um não membro de uma localização é gradual e indica o quão valorizado é uma área, em uma escala que varia de 0 a 255 e ajustadas por meio de funções do tipo *J shaped*, *Linear* e *Sigmoidal*. A forma da função de associação foi estipulada de acordo com o coeficiente de correlação entre o fator e a Planta Genérica de Valores sendo Monotonicamente Crescente no caso do coeficiente de correlação positivo e Monotonicamente Decrescente para coeficiente de correlação negativo.

2.2.3 PESOS

Uma das grandes vantagens da MCE é a capacidade de atribuir diferentes pesos aos fatores. Contudo, a atribuição de pesos é um processo complexo e por essa razão em algumas aplicações são utilizados pesos iguais. Nesta pesquisa, uma das formas de atribuição de pesos utilizada foi o método dos pesos iguais.

Porém, na prática, existem fatores mais importantes que os outros para a valorização imobiliária. Assim, dentre as diversas formas de definição de pesos, destaca-se o método AHP aplicado à matriz de comparação par-a-par (SAATY, 1987). Na matriz de comparação par-a-par do método AHP, os analistas avaliam quantas vezes um fator é mais importante do que o outro, o que muitas vezes se torna subjetivo ou dependente da experiência do grupo. Assim, para minimizar as subjetividades inerentes ao processo, foi proposto um método híbrido, ou seja, realizar esta avaliação por meio do coeficiente de correlação entre a Planta Genérica de Valores e os fatores padronizado pela lógica *Fuzzy*. Metodologicamente, os valores de coeficientes de correlação de cada fator para cada pacote temático foram ordenados da menor correlação para a maior correlação e calculadas as razões entre os coeficientes de correlação dos fatores subsequentes. O resultado da razão determina quantas vezes o coeficiente de correlação de um fator é maior que o outro, de modo que foi possível realizar o preenchimento da matriz de comparação pareada e calcular os pesos relativos.

A validação do processo de ponderação se deu por meio da Razão de Consistência, ou seja, pela comparação da matriz de pesos com uma matriz aleatória de consistência lógica. Como parâmetro foi utilizado o valor menor que 10% (CALIJURI; MELO; LORENTZ, 2002; BAPTISTA 2009), garantindo assim que os pesos definidos no processo de análise pareada fossem obtidas de forma consistentes lógica.

2.2.4 COMBINAÇÃO

Na combinação dos fatores temáticos foi utilizado a Combinação Linear Ponderada para elaborar mapas de adequabilidade à valorização imobiliária. Em seguida foram realizadas duas Combinações Lineares Ponderadas Globais (CLP-G) e duas Média Ordenada Ponderada Globais (MOP-G).

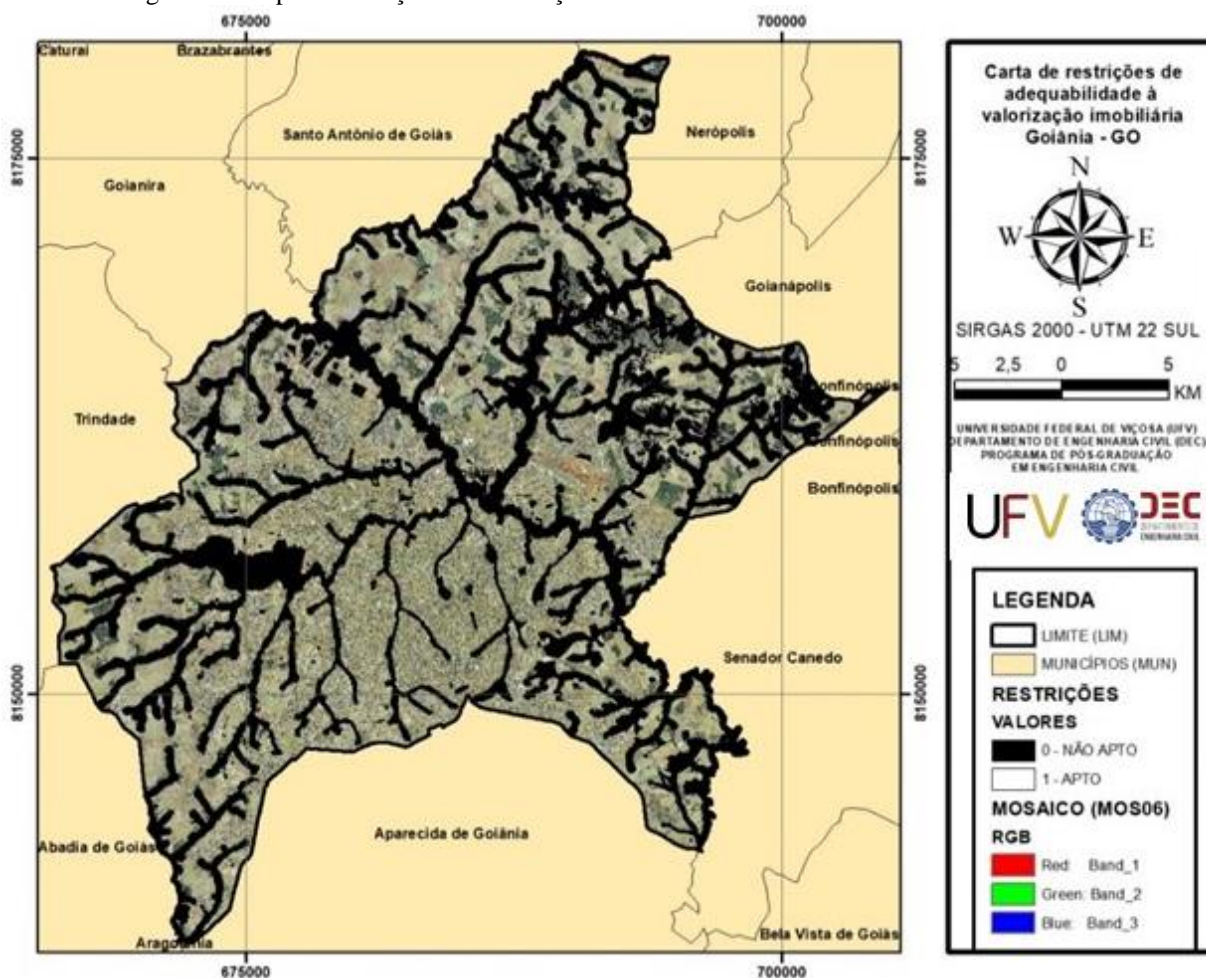
O Cenário 1 de adequabilidade à valorização imobiliária foi obtida a partir das sete MCE temáticas elaboradas com pesos iguais, onde também foram utilizados pesos iguais. O Cenários 2 foi obtido a partir das sete MCE temáticas elaboradas com pesos AHP, onde também foram utilizados pesos AHP. No Cenário 3 e 4 foram obtidos a partir das sete MCE temáticas elaboradas com pesos AHP, também foram utilizados pesos AHP e foram utilizados pesos ordenados variando os riscos e a compensação.

Por fim, é importante destacar que as hipóteses estabelecidas na análise para definição da importância relativa dos fatores dentro do modelo e os riscos assumidos, foram propostas por meio de uma série de sugestões, elaboradas por uma equipe multidisciplinar de especialistas, por meio de revisões de literatura de trabalhos semelhantes e de índices e indicadores estatísticos normatizados, como o coeficiente de correlação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises booleanas foram aplicadas para caracterizar áreas como aptas ou não aptas à valorização imobiliária. A Figura 4 ilustra o mapa de restrições.

Figura 4 – Mapa de restrições à valorização imobiliária da MCE Booleana de Goiânia – GO.



Fonte: Os autores (2021).

A área total das restrições é equivalente à de 200 km², ou seja, aproximadamente 28% da área total do município. A Macro Zona Construída apresentou o maior percentual de áreas aptas, 77%, contra 23% das Macro Zonas Rurais. As Regiões Administrativas Sul, Centro e Sudeste apresentaram o maior percentual de áreas aptas, com 87%, 85% e 82% respectivamente. Em relação aos Distritos, 16 deles possuem menos que 10% de suas áreas inaptas e as Microrregião Jardim Petrópolis, Vila Romana, Santo Antônio e Residencial Aldeia do Vale apresentaram mais de 50% de áreas inaptas.

Em relação a MCE temáticas, ao nível do limite municipal, a Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas dos valores de adequabilidade imobiliária para cada CLP utilizando os pesos iguais e utilizando os pesos provenientes do método AHP.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas das MCE de adequabilidade à valorização imobiliária dos pacotes em relação ao limite municipal de Goiânia – GO.

Pacote	Pesos	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Topografia	Iguais	1	255	142	56
	AHP	0	255	114	67
Transporte e Mobilidade	Iguais	10	210	85	28
	AHP	10	222	87	30
Educação	Iguais	1	248	125	38
	AHP	0	246	123	37
Patrimônio Histórico e Cultural	Iguais	2	244	125	35
Saúde e Assistência Social	Iguais	0	192	106	25
	AHP	0	246	109	32
Infraestrutura Urbana	Iguais	2	244	125	35
	AHP	2	245	119	34
Serviços Urbanos	Iguais	1	218	83	35

Fonte: Os autores (2021).

É possível observar, que nas MCE realizadas com os pacotes Transporte e Mobilidade, Educação e a Saúde e Assistência Social, os valores de adequabilidade foram semelhantes, seja com pesos iguais ou pelo método AHP. Por outro lado, os pacotes Topografia e Infraestrutura Urbana apresentaram variações que explicitam as diferenças entre os dois métodos de ponderação utilizados. É importante ressaltar que o Patrimônio Histórico e Cultural e Serviços Urbanos apresentaram as razões entre os coeficientes de correlação semelhantes e, portanto, a matriz de comparação pareada apresentou valores iguais e pesos iguais. Outro ponto de destaque é que em todas as matrizes de pesos as Razões de Consistência foram iguais ou menores que 1%.

Do ponto de vista metodológico, uma MCE com a definição de pesos relativos iguais para todos os fatores da análise é menos complexa do que determinar os pesos por meio do método de análise hierárquico AHP. Entretanto, alguns fatores podem ter maior influência do que os outros em um processo de tomada de decisão, demandando assim uma análise adequada da relação entre os fatores que compõem uma MCE.

Os mapas resultantes das MCE realizadas em cada um dos sete temas foram integrados por meio de uma análise multicritério global. Ao final foram elaborados quatro mapas relativos a diferentes cenários com grau de risco e compensação distintos. A metodologia empregada para a composição do Cenário 1 foi a que exigiu menor interferência dos analistas, pois foram utilizadas as MCE de cada tema com pesos ponderados iguais e para realizar a MCE global também foram utilizados pesos ponderados iguais. Os Cenários 2, 3 e 4 foram construídos com as MCE dos temas que utilizaram pesos provenientes do método AHP. Para estes cenários também foi elaborado uma matriz de comparação par-a-par baseada na razão dos coeficientes de correlação, Quadro 1. As Figuras 5a, 5b, 5c e 5d apresentam os Cenários 1, 2, 3 e 4 respectivamente. Além disso, na Tabela 2 são apresentadas as estatísticas descritivas de cada mapa de adequabilidade a valorização imobiliária com os seus respectivos valores de risco e compensação obtida em cada cenário, e a correlação com a PGV.

Quadro 1- Pesos AHP utilizados nos Cenários 2, 3 e 4.

	EDC	SAS	MOB	TOP	SER	PHC	INF	Pesos Relativos
EDC	1	1	1	1	1/2	1/2	1/2	10%
SAS	1	1	1	1	1	1/2	1/2	11%
MOB	1	1	1	1	1	1	1	13%
TOP	1	1	1	1	1	1	1	14%
SER	2	1	1	1	1	1	1	15%
PHC	2	2	1	1	1	1	1	17%
INF	2	2	2	1	1	1	1	19%

Fonte: Os autores (2021).

Figura 5 - Mapas de adequabilidade à valorização imobiliária de Goiânia – GO.

Figura 5a: Cenário 1.

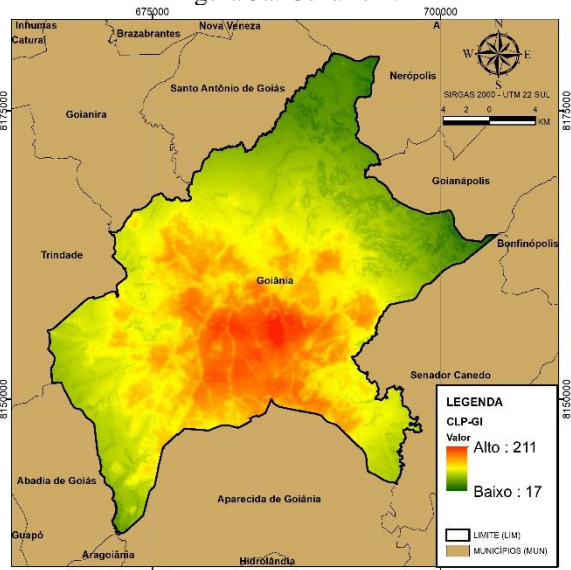


Figura 5b: Cenário 2.

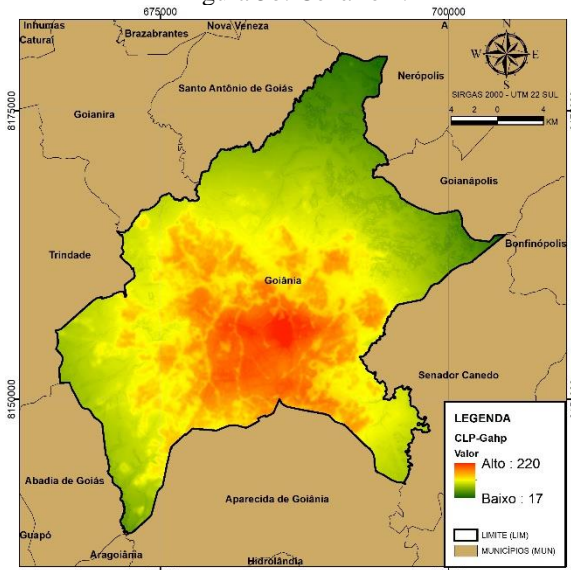


Figura 5c: Cenário 3.

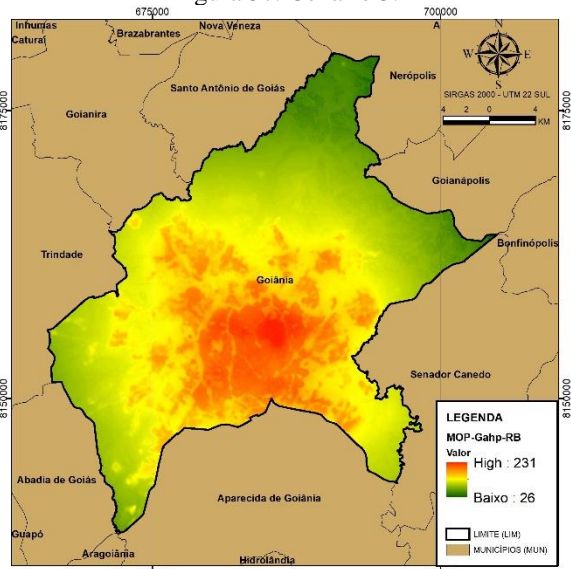
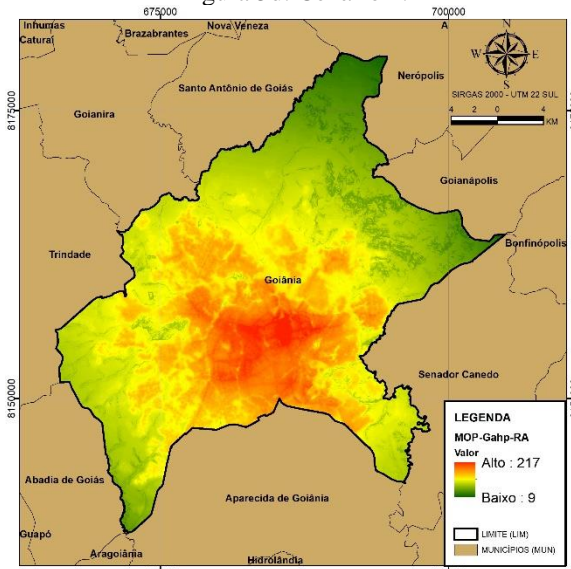


Figura 5d: Cenário 4.



Fonte: Os autores (2021).

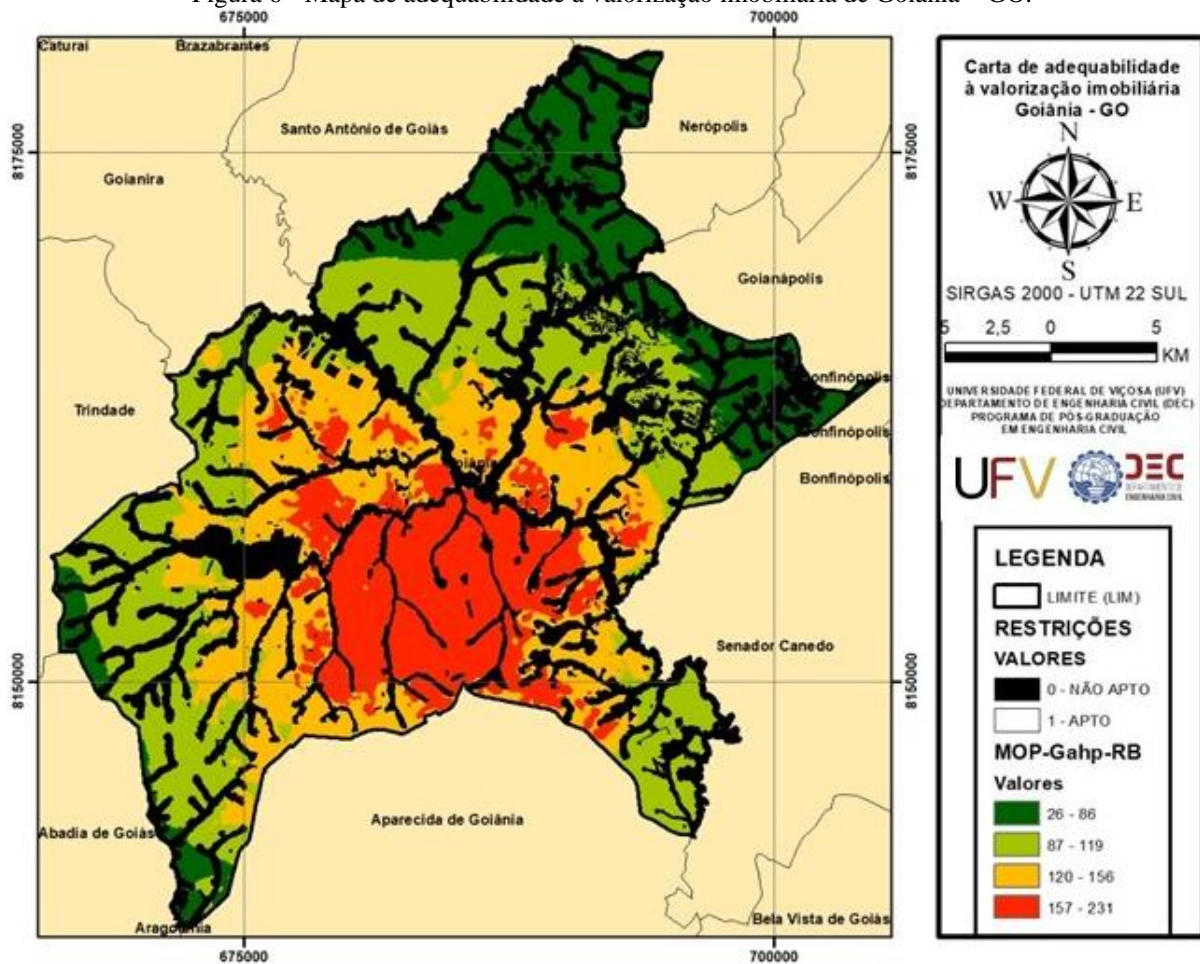
Tabela 2 - Estatísticas básicas e parâmetros utilizados para elaboração dos cenários de adequabilidade a valorização imobiliária do município de Goiânia – GO.

Cenário	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Risco	Compensação	Correlação com a PGV
1	17	211	113	33	0,50	1,00	0,37
2	17	220	109	35	0,50	1,00	0,40
3	26	231	118	36	0,36	0,82	0,41
4	9	217	95	34	0,68	0,77	0,36

Fonte: Os autores (2021).

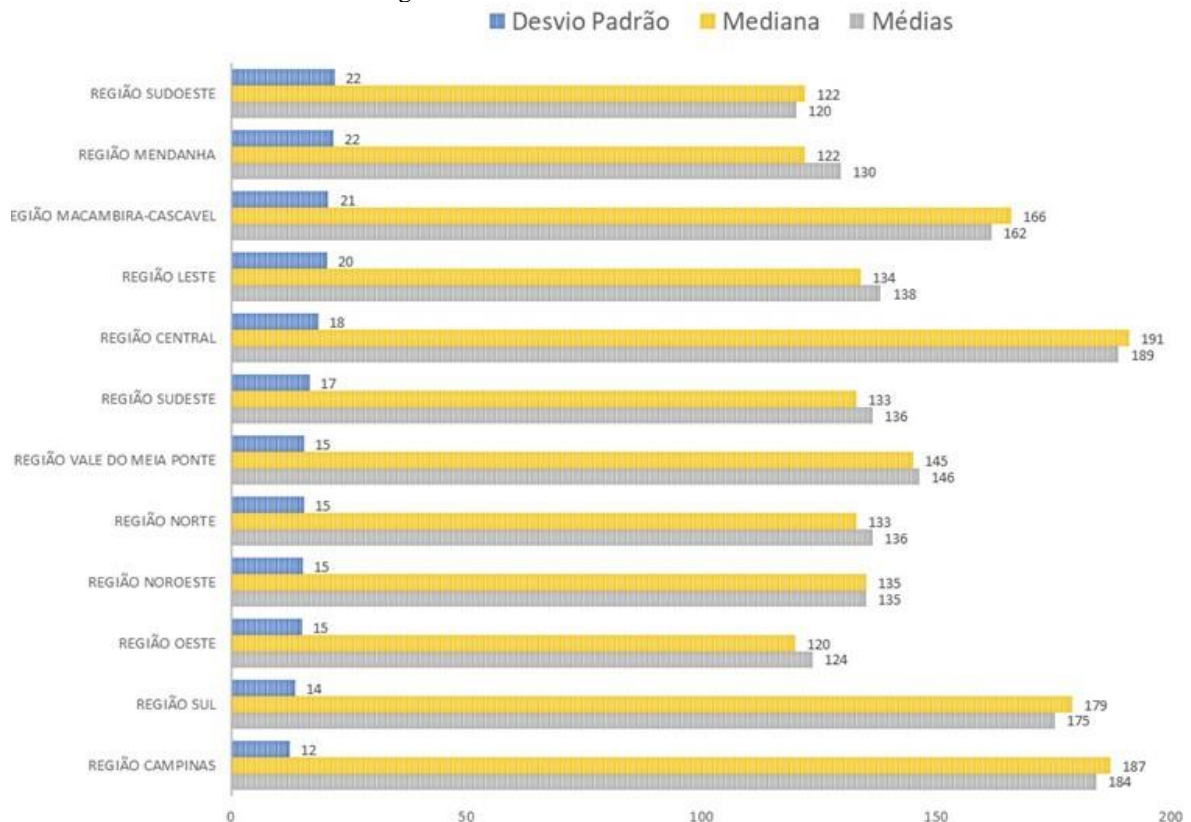
Nota-se que, entre os Cenários 1 e 2 não houve grande variações das estatísticas descritivas nos valores adequabilidade. Nos Cenário 3 e 4, a atribuição de pesos ordenados e consequente variação do risco e compensação, acarretou mudanças entre os cenários. Além disso, é possível observar que o coeficiente de correlação entre os cenários e a PGV foram semelhantes nos quatro métodos. Assim, diante dos parâmetros de baixo risco, alta compensação e melhor coeficiente de correlação, o Cenário 3 foi definido para elaborar o mapa de adequabilidade a valorização imobiliária integrado com as análises de restrição. A Figura 6 apresenta o mapa em classes discretas classificado por meio do agrupamento natural e inerente. Além disso, foram realizadas a análises espaciais em relação as Regiões Administrativas, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 6 - Mapa de adequabilidade à valorização imobiliária de Goiânia – GO.



Fonte: Os autores (2021).

Figura 7 - Gráfico das estatísticas descritivas básicas dos valores de adequabilidade a valorização imobiliária para Regiões Administrativas de Goiânia – GO.



Fonte: Os autores (2021).

As Regiões Central e Campinas são as que apresentam os valores de média e mediana superiores às demais. Em contrapartida, as Regiões Sudeste e Oeste apresentaram os valores de média e mediana inferiores entre todas as Regiões. Em relação aos Distritos ou Microrregiões, os maiores valores de adequabilidade seguiram a tendência geral de valorização das regiões centrais. Porém, pode-se observar que 47% dos 81 Distritos analisados apresentaram desvio padrão menor que 10, e o maior valor de desvio padrão (20) foi o da Microrregião Novo Horizonte.

4 CONCLUSÕES

A MCE foi capaz de captar uma série de variáveis locais de caráter extrínsecos aos imóveis. Isto se deve a utilização das Faixas de Distâncias, da Densidade de Kernel e da aplicação da lógica Fuzzy. Contudo, a quantidade de fatores tem relação direta com a complexidade da modelagem e na definição da importância relativa dos fatores.

Normalmente, a importância relativa dos fatores é realizada por equipe multidisciplinar de especialistas. Contudo, no presente estudo foi proposto um método híbrido que utiliza o coeficiente de correlação entre os fatores e PGV para embasar quantitativamente a definição dos pesos de importância relativa no método AHP permitindo a definição com menor subjetividade.

Como proposta para trabalhos futuros, é recomendado aplicar o método *Multi-Criteria Evaluation* em outras tipologias de imóveis, como por exemplo os tipos de edificações e sua localização geográfica.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 01, Prefeitura Municipal de Goiânia – GO, Núcleo de Estudos Planejamento e Uso da Terra (NEPUT) e ao Grupo de Engenharia para Gestão Territorial (GENTE) pelo apoio e contribuição no desenvolvimento desta pesquisa.

Contribuição dos Autores

Todos os autores participaram nas etapas de conceptualização, metodologia, validação e redação – revisão e edição. O primeiro e segundo autores participaram da curadoria dos dados, análise formal, administração do projeto, supervisão, fornecimento de recursos e softwares. O primeiro autor realizou a investigação, visualização e redação da minuta inicial.

Conflitos de Interesse

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

Referências

- AGRELL, P.; STAM, A.; FISCHER, G. W. Interactive multiobjective agro-ecological land use planning: The Bungoma region in Kenya. **European Journal of Operational Research**, v. 158, n. 1, p. 194-217, 2004. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00355-2.
- AKINCI, H.; OZALP, A. Y.; TURGUT, B. Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. **Computers and electronics in agriculture**, v. 97, p. 71-82, 2013. DOI: 10.1016/j.compag.2013.07.006.
- AMORIM, A.; PELEGRINA, M. A.; JULIÃO, R. P. **Cadastro e gestão territorial: uma visão luso-brasileira para a implementação de sistemas de informação cadastral nos municípios**. São Paulo: Editora Unesp Digital, 2018. ISBN: 9788595462823.
- ARONOFF, S. **Geographic information systems. A management perspective**. Geocarto International. v. 4,

1989. DOI: 10.1080/10106048909354237.

- BAPTISTA, A. C. **Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa, erosão e escoamento superficial em Nova Friburgo**. 352 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2009.
- BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979 – Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 243, 20 dez. 1979. Seção 1, p. 1.
- BRASIL. Lei 12.651 de 25 de maio de 2012 – Código Florestal Brasileiro. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 mai. 2018. Seção 1, p. 1.
- BRASIL. PLANMOB - **Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana**. Brasília: Ministério das Cidades - Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana, 2015.
- BURROUGH, P. A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. **Oxford University Press**, v. 8, n. 4, p. 675-681, 1987.
- BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. Principles of Geographical Information Systems (Book Review). **The Geographical Bulletin**, v. 41, n. 1, p. 59, 1999.
- CAIXETA, P. R. C., et al. Análise *multi-criterio* (MCE) aplicada ao mapeamento de áreas susceptíveis a movimentos de massa na área urbana de Viçosa-MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLÓGICAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2012, Recife. **Anais...** v. 9, p. 1-9.
- CALIJURI, M. L.; MELO, A. L. O.; LORENTZ, J. F. Identificação de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários com Uso de Análise Estratégica de Decisão. **Informática Pública**, v.4, n.2, p231-250, 2020.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, JS. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. São José dos Campos, SP, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à modelagem dinâmica espacial**. São José dos Campos, SP, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.
- DE CESARE, C. M.; FERNANDES, C. E.; CAVALCANTI, C. B. Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU): **Coleção Cadernos Técnicos de Regulamentação e Implementação de Instrumentos do Estatuto da Cidade**. Brasília, DF, Ministério das Cidades e *Lincoln Institute of Land Policy*, 2015.
- DE CESARE, C. M.; CUNHA, E. M. P. **Questões Cadastrais: discussão, análise e identificação de soluções para problemas e casos práticos**. Brasília, DF, Ministério das Cidades, 2010.
- CHEN, Y.; YU, J.; KHAN, S. Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. **Environmental Modelling & Software**, v. 25, n. 12, p. 1582-1591, 2010. DOI: 10.1016/j.envsoft.2010.06.001.
- COMINO, E., et al. Exploring the environmental value of ecosystem services for a river basin through a spatial multicriteria analysis. **Land Use Policy**, v. 36, p. 381-395, 2014. DOI: 10.1016/j.landusepol.2013.09.006.
- CUNHA, E. M. P.; ERBA, D. A. **Diretrizes para a criação, instituição e atualização do cadastro territorial multifinalitário nos municípios brasileiros - manual de apoio**. Brasília: Ministério das Cidades, 2010.
- DUARTE, D. C. de O. **Cadastro Territorial Multifinalitário com uso de sistema de informação geográfica aplicado à gestão pública de municípios de pequeno porte**. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2014.
- DUARTE, D. C. O. Cadastro Territorial Multifinalitário com uso de sistema de informação geográfica aplicado à gestão pública de municípios de pequeno porte. Inc: CONGRESSO DE CADASTRO MULTIFINALITÁRIO E GESTÃO TERRITORIAL. 12, 2016. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2016.
- DUARTE, D. C. O. Análise espacial multicritério aplicada à delimitação de áreas homogêneas de adequabilidade à valorização imobiliária. Inc: CONGRESSO DE CADASTRO MULTIFINALITÁRIO E GESTÃO TERRITORIAL. 13, 2018. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2018.

- DUARTE, D. C. O. **Análise multicritério e geostatística aplicadas na avaliação em massa de imóveis urbanos**. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2019.
- EASTMAN, J. R. **IDRISI for Windows: User's Guide**. Version 2.0. Worcester - MA: Clark University - Graduate School of Geography, 1997.
- ESRI. **Guide ArcGIS Desktop**: Release 10.3. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2014.
- FARIA FILHO, R. F.; GONÇALVES, R. L. Uso de SIG na identificação de áreas aptas para expansão urbana de Rio Paranaíba/MG. **Revista Territorium Terram**, v. 3, n. 5, p. 41-48, 2015.
- IBGE. **Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2014**. Rio de Janeiro – RJ: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2014.
- LONGLEY, P. A. et al. **Sistema e Ciência da Informação Geográfica**. (Tradução de André Schneider et al.). Porto Alegre: Bookman, 2013.
- MALCZEWSKI, J. **GIS and Multicriteria Decision Analysis**. New York – NY: John Wiley & Sons, 1999. ISBN: 978-0-471-32944-2
- PINTO, F. Análise multicritério para a seleção de uma área de conservação na maior savana da Amazônia. **Acta Geográfica**, v. 8, n. 17, p. 50-70, 2015. DOI: 10.5654/acta.v8i17.1735
- GOIÂNIA. Lei Complementar nº 171, de 29 de maio de 2007. Dispõe sobre o Plano Diretor e o processo de planejamento urbano do Município de Goiânia e dá outras providências. **Diário Oficial de Goiás**, Goiânia, GO. nº 4.147. 26 jun. 2007.
- GOIÂNIA. **A Região Metropolitana**. Prefeitura Municipal de Goiânia. Disponível em: <<https://www.goiania.go.gov.br/shtml/siggo/>>. Acesso em: 17 dez. 2015.
- SAATY, T. L. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987. DOI: 10.1016/0270-0255(87)90473-8.
- SANTOS, A. P. S. et al. O uso da análise multicritério no mapeamento da fragilidade social da área urbanizada do Município de Viçosa-MG. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 64, n. 3, 2012.
- SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. Análise Multicritério: modelos de interesse ambiental e de áreas propícias à expansão urbana na bacia do córrego do Lenheiro. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n. 64, p. 60-77, 2017.
- SILVA, E. **Cadastro Territorial Multifinalitário: base fundamental para avaliação em massa de imóveis**. 220 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2006.
- SILVA, V. B.; MACHADO, P. D. SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego Mutuca, Nova Lima–Minas Gerais. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 31, n. 2, 2014.
- SILVERMAN, B. W. **Density estimation for statistics and analysis**. London: Monographs on Statistics and Applied Probability, 1986.
- SOMEKH, N. A. **A Cidade Vertical e o Urbanismo Modernizador**. São Paulo: Studio Nobel, EDUSP e FAPESP, 2015.
- TULER, M.; SARAIVA, S. **Fundamentos de Topografia - Série Tekne**. Editora Bookman. 2014.
- ZADEH, L. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, p. 338-353, 1965. DOI:10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
- ZAMBON, K. L. et al. Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoeletricas utilizando SIG. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 2, p. 183-199, 2005. DOI: 10.1590/S0101-74382005000200002

Biografia do autor principal



Daniel Camilo de Oliveira Duarte, nascido em 1983 em Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais, Brasil. Possui graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), mestrado em Engenharia Civil na Área de Concentração de Informações Espaciais UFV e Doutorado em Engenharia Civil na Área de Concentração de Informações Espaciais UFV. Possui experiência profissional em Cartografia, Topografia, Geodésia e Fotogrametria com ênfase no Cadastro Territorial Multifinalitário e na Avaliação em Massa de Imóveis. Atualmente é Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil, Área de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da UFV.



Esta obra está licenciado com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.