

Avaliação dos efeitos do novo plano de ordenamento territorial de Teresina/PI sobre seu potencial de ocupação e expansão urbana

Evaluation of the effects of the new territorial planning plan of Teresina / PI on its potential for occupation and urban expansion

Evaluación de los efectos del nuevo ordenamiento territorial de Teresina/PI sobre su potencial de ocupación y expansión urbana

Recebido: 28/06/2022 | Revisado: 13/07/2022 | Aceito: 16/07/2022 | Publicado: 22/07/2022

Lucas Lima Vieira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2243-2002>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Brasil

E-mail: lucasnayron08@hotmail.com

Valdira de Caldas Brito Vieira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1067-0628>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Brasil

E-mail: valdirabrito@ifpi.edu.br

Resumo

Com o acelerado processo de crescimento das cidades, torna-se imprescindível se pensar nas formas segundo as quais o espaço urbano deve se desenvolver, especialmente no tocante ao seu ordenamento territorial, uso e ocupação do solo. Nesse sentido, pode-se citar a criação e implementação dos planos de ordenamento territorial que se destacam como ferramentas de orientação e construção desses espaços e buscam por meio de um olhar criterioso e técnico contribuir para o surgimento de cidades coesas, compactas e planejadas. Diante disso, o presente estudo buscou, por meio do uso de sistemas de informações geográficas, mapear e avaliar os efeitos do novo Plano de Ordenamento Territorial de Teresina – PDOT - (Lei 5.481/2019) sobre o potencial de ocupação e expansão urbana. Aplicando a técnica de Análise Hierárquica Processual (AHP) foi realizada a padronização e organização dos dados geográficos julgados relevantes e que influem diretamente no processo de decisão quanto à ocupação e uso da terra. Para fins de determinação dos valores dos dados realizou-se a atribuição de pesos, segundo graus de importância, em uma matriz de pesos a partir da qual se determinou o Índice de Consistência (IC) e a Razão de Consistência (RC) para validação do AHP. Considerando os resultados obtidos têm-se que se observou efetivamente que o novo PDOT promoveu inúmeras mudanças no uso e ocupação da terra, bem como na forma como a cidade cresce. Assim, foram identificadas muitas áreas passíveis de ocupação, contudo com ressalvas e restrições de natureza ambiental e uma forte tendência a coesão e compactação da cidade.

Palavras-chave: Análise hierárquica processual; PDOT; Planejamento urbano.

Abstract

With the accelerated growth process of cities, it becomes essential to think about the ways in which the urban space should develop, especially regarding its territorial planning, use and occupation of the land. In this sense, we can mention the creation and implementation of territorial planning plans that stand out as tools for guidance and construction of these spaces and seek, through a careful and technical look, to contribute to the emergence of cohesive, compact and planned cities. In view of this, the present study sought, using geographic information systems, to map and evaluate the effects of the new Teresina Territorial Planning Plan - PDOT - (Law 5.481/2019) on the potential for occupation and urban expansion. Applying the technique of Procedural Hierarchical Analysis (AHP) the standardization and organization of the geographic data deemed relevant and that directly influence the decision process regarding the occupation and use of the land was conducted. To determine the data values, weights were assigned, according to degrees of importance, in a weight matrix from which the Consistency Index (CI) and the Consistency Ratio (RC) were determined for validation of the AHP. Considering the results obtained, it has been effectively observed that the new PDOT has promoted changes in land use and occupation, as well as in the way the city grows. Thus, many areas that could be occupied were identified, however with reservations and restrictions of an environmental nature and a strong tendency towards cohesion and compaction of the city.

Keywords: Procedural hierarchical analysis; PDOT; Urban planning.

Resumen

Con el acelerado proceso de crecimiento de las ciudades, es imprescindible reflexionar sobre las formas en que debe desarrollarse el espacio urbano, especialmente en lo que respecta a su uso y ocupación del suelo. En este sentido, podemos mencionar la creación e implementación de planes de uso del suelo que se destacan como herramientas de orientación y construcción de estos espacios y buscan a través de una mirada cuidadosa y técnica contribuir al surgimiento de ciudades cohesionadas, compactas y planificadas. Ante esto, el presente estudio buscó, mediante el uso de sistemas de información geográfica, mapear y evaluar los efectos del nuevo Plan de Ordenamiento Territorial de Teresina -PDOT- (Ley 5.481/2019) sobre el potencial de ocupación y expansión urbana. Aplicando la técnica del Análisis de Procesos Jerárquicos (AHP) se realizó la estandarización y organización de los datos geográficos que se consideran relevantes y que influyen directamente en el proceso de toma de decisiones respecto a la ocupación y uso del suelo. Para determinar los valores de los datos, se asignaron ponderaciones, según los grados de importancia, en una matriz de ponderaciones a partir de la cual se determinó el Índice de Consistencia (IC) y la Relación de Consistencia (RC) para la validación del AHP. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se observó efectivamente que el nuevo PDOT promovió numerosos cambios en el uso y la ocupación del suelo, así como en la forma de crecimiento de la ciudad. Así, se identificaron muchas zonas para su ocupación, aunque con reservas y restricciones de carácter medioambiental y una fuerte tendencia a la cohesión y compactación de la ciudad.

Palabras clave: Análisis de procesos jerárquicos; PDOT; Planificación urbana.

1. Introdução

O crescimento urbano é um processo cada vez mais célere, especialmente nas últimas décadas em que - de acordo com Lima et al. (2019) – o aumento populacional tem propiciado transformações significativas e que levam a expansão das cidades. Nessa perspectiva, segundo Glaeser (2011), constatou-se a necessidade da elaboração de instrumentos, planos e estratégias capazes de lidar com o aumento populacional e o consequente crescimento urbano.

De um modo geral para toda nação é salutar que se haja um planejamento de suas cidades, uma vez que nesse sentido as ações tornam-se mais assertivas do ponto de vista social e ambiental (Silva & Santos, 2021). O planejamento precede a contemplação de estratégias futuras e auxilia no processo de tomada de decisões no sentido de assegurar medidas condizentes com a realidade constatada.

No contexto brasileiro existem diversos mecanismos de planejamento e desenvolvimento urbano, dentre os quais se destacam: o Estatuto das Cidades (Lei 10.257/2001) que estabelece as diretrizes gerais de desenvolvimento da política urbana; e os planos municipais, como por exemplo, o Plano Diretor e a Lei de Uso e Ocupação do Solo, que buscam orientar o crescimento das cidades; o estabelecimento do potencial construtivo; e adensamento urbano (Bento, Conti, & Ghobril, 2018).

Entre as capitais brasileiras o município de Teresina, capital do Piauí, destaca-se como a primeira cidade do país a ser planejada desde sua fundação, contudo, ao longo do tempo, tais características foram se modificando dando origem a traçados mais diversificados; e, com a inserção dos primeiros conjuntos habitacionais, a malha urbana tornou-se espaçada (Reis Filho, 2012). No entendimento de Silva & Santos (2021) a elaboração de políticas públicas é algo difícil, contudo, tornar o plano uma realidade e alcançar o objetivo é ainda mais difícil.

No entendimento de Rodrigues e Veloso Filho (2016) a cidade de Teresina apresenta um longo histórico de planejamento urbano, o que enseja a conclusão que um dos maiores problemas do município não reside na ausência de propostas de planejamento, mas em sua falta de aplicação, má gestão e outros aspectos de natureza estrutural.

Nesse mesmo entendimento, Reis Filho (2012) afirma que os planos diretores da cidade pouco foram aplicados ou chegaram a ser concluídos o que propiciou o estabelecimento de uma cidade cujas atividades se concentram no centro urbano, definindo desse modo um modelo radio concêntrico. Ou seja, Teresina historicamente apresenta um descompasso entre suas políticas urbanas e o que vem efetivamente sendo feito o que propicia o surgimento de muitas problemáticas.

Segundo Melo (2009), o que se observou foi o crescimento desordenado da cidade, caracterizado pela construção de habitações em desconformidade com o tecido urbano consolidado o que passou a ser a principal característica do processo de urbanização da cidade. Face essa Teresina distante e desconectada é que a partir do ano de 2016 iniciou-se o processo de

revisão do plano diretor da cidade (Pessoa, 2019).

De acordo com Lima, Lopes e Façanha (2021) Teresina se caracteriza por um crescimento urbano acelerado, com um contínuo espraiamento de sua área urbana. Nesse contexto pode-se evidenciar um descompasso entre o que efetivamente vem sendo ocupado em relação ao solo e seu crescimento populacional. Outro ponto importante nesse processo diz respeito, segundo Reis e Viana (2021), ao crescimento vertical da cidade de Teresina pautada essencialmente no capital privado e especulação imobiliária que favorece uns em detrimento de outros, o que provoca questões de natureza social e ambiental.

O Novo Plano de Ordenamento Territorial de Teresina (PDOT) traz em seu cerne inúmeras restrições e observações quanto ao uso e ocupação do solo urbano, além disso, define o macrozoneamento da cidade segundo critérios de natureza tanto técnica como ambiental, em suma por meio desse instrumento busca-se coordenar de forma mais efetiva o processo de urbanização de Teresina de forma a se alcançar uma cidade coesa, compacta e ambientalmente viável (Lei 5.481/2019).

De forma a se entender o impacto de tais medidas é importante se buscar técnicas para se avaliar os efeitos espaciais destas, considerando não apenas um único aspecto, mas diversos aspectos de forma integrada; a fim de se alcançar uma interpretação do todo. Desta forma, de acordo com Collins, Steiner e Rushman (2001), as técnicas de análise multicritério têm sido as mais utilizadas para o planejamento, ocupação e uso da terra, tanto para fins de escolha de áreas adequadas a implementação de construções privados ou públicas, até a aptidão a outros diferentes usos.

O processo de planejamento, segundo Garcia e Filho (2019), é um processo de tomada de decisões visando o futuro; de modo que uma determinada região alcance os seus objetivos de crescimento e desenvolvimento. Ainda de acordo com os autores, com o desenvolvimento das tecnologias da informação os processos de planejamento urbano foram modernizados por meio da geração e análise das informações espaciais.

Nesse sentido, segundo Castro, Costa, Barbosa, Assemany e Calijuri (2015), no uso das ferramentas de SIG na tomada de decisão um método que se destaca é o da análise multicritério. Por meio do levantamento dos elementos que condicionam a análise são determinados os critérios que auxiliam na tomada de decisões (Barros & Marques, 2009).

Dentre os inúmeros métodos de análise multicritério o que mais se destaca é o Processo Analítico Hierárquico, em inglês *Analytic Hierarchy Process* (AHP), desenvolvido por Saaty (1997) trata-se de uma metodologia voltada para solução de questões que dependem de escolhas (Gomes & Bias, 2018). Segundo Pimenta, Beltrão, Gemaque e Tavares (2019) o método AHP é uma técnica viável a solução de problemas de localização, quanto a identificação de áreas adequadas a determinados usos.

Além disso, segundo Sousa, Jerônimo, Melo e Aquino (2017), o AHP é um método relativamente simples, consistindo em três operações principais, que vão desde a construção das hierarquias, até a análise de prioridades e verificação da consistência. Salienta-se ainda que por meio da integração desta técnica com ferramentas SIG's é possível se alcançar bons resultados e respostas a problemas de planejamento urbano (Castro, et al., 2015). Para Miranda (2010) os SIG são importantes para estudos diversos, em especial ambientais, pois possuem a possibilidade de gerar, tratar e integrar informações espaciais e alfanuméricas para subsidiar a tomada de decisões.

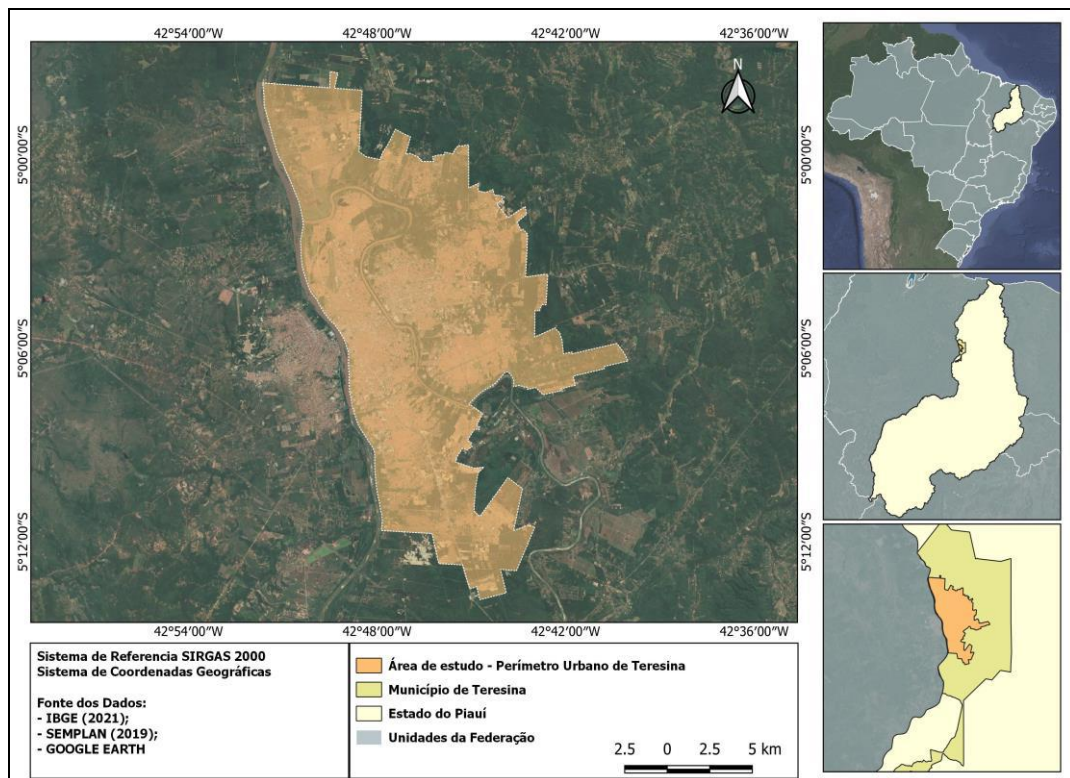
Diante dos expostos, o presente trabalho busca por meio do uso da técnica AHP realizar a avaliação do potencial de ocupação e expansão urbana de Teresina, levando em consideração os limites do seu atual perímetro urbano e as implicações do novo PDOT sobre as áreas identificadas como passíveis de serem ocupadas. Assim, os produtos cartográficos gerados propiciaram o entendimento acerca desse potencial de expansão urbana, bem como, a sua distribuição espacial e posterior quantificação.

2. Metodologia

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A metodologia deste artigo foi realizada tendo como área de estudo a porção urbana do município de Teresina-PI, localizado entre as latitudes - 05°12'00" e - 5°00'00" e as longitudes - 42°54'00" e - 42°36'00". A área pertence à Mesorregião Centro-Norte Piauiense e se caracteriza por sua posição estratégica entre os rios Poty e Parnaíba. A Figura 01 apresenta a área analisada.

Figura 1 – Mapa de localização espacial de Teresina-PI.



Fonte: Autores (2022).

Teresina foi fundada em 1852, tendo seu projeto de desenho urbanístico idealizado pelo Conselheiro Saraiva, o fundador de Teresina, definido como um traçado geométrico semelhante a um tabuleiro de xadrez, o que tornou o município piauiense a primeira capital brasileira a ser planejada (Reis Filho, 2012).

Desde seu início e ao longo do decorrer de sua história, Teresina modificou-se, expandindo suas áreas de ocupação e sua população que, paulatinamente, foi tornando-se cada vez mais urbana, especialmente em decorrência do impulso de seu processo de industrialização ocorrido no século XX e dos programas habitacionais surgidos nesse mesmo período (Melo, 2009).

No que tange aos conjuntos habitacionais observa-se que a partir de 1940 houve uma tendência crescente a ocupação na direção Norte-Sul, o que ao longo do tempo foi se modificando com a crescente valorização dos terrenos das zonas Sul e Leste e tendência das populações de baixa renda a ocuparem imóveis na porção Centro-Norte da cidade, especialmente nas áreas com terrenos irregulares e sujeitos a enchentes e inundações (Reis Filho, 2012).

Como consequência desses processos de ocupação, segundo a Silva, Silva e Vieira (2017), o atual perímetro urbano de Teresina configurou-se tal da forma como hoje se apresenta, com o agravante da ocupação da franja urbana da cidade e surgimento dos vazios urbanos decorrentes da exploração imobiliária e busca por terrenos mais baratos nas porções periféricas

do município. Ainda nesse sentido, com o artigo 5º da Lei Complementar 3.561/2006 esse processo de expansão urbana tornou-se ainda mais expressivo uma vez que por meio desse dispositivo era possível incorporar áreas rurais lindeiras ao perímetro urbano da cidade.

Contudo, com a criação da Lei 4.851/2015, tais ações foram extintas uma vez que por meio desse novo dispositivo legal estabeleceu-se um zoneamento denominado urbanização específica por meio da qual os empreendimentos fora do perímetro urbano seriam viabilizados sem, contudo, integrarem a porção urbana da cidade.

Tais medidas tomadas no sentido de ordenar Teresina foram significativas, contudo, era necessário redesenhar as formas através das quais a cidade deveria ser organizada, o que resultou na atual Lei 5.438/2019 que trata do novo Plano de Ordenamento Territorial da cidade e busca por meio de um regramento técnico e rigoroso coordenar as formas através das quais a cidade deve crescer.

2.2 Procedimentos metodológicos

Para realização do presente trabalho procedeu-se uma revisão bibliográfica acerca do tema em estudo e o levantamento dos dados cartográficos necessários e sua posterior adequação e tratamento para implementação da técnica de análise utilizada. Dentro dessa etapa destacam-se a origem da fonte dos dados empregados, seu tratamento e adequação, bem como, a descrição do método.

Pautando-se no modelo de Saaty (2008), a aplicação do método AHP é composta pelas seguintes atividades: 1. Definição dos critérios (mapas temáticos) que compõem a matriz de decisão hierárquica; 2. Construção do conjunto de matrizes de comparação pareada com os atributos selecionados na etapa anterior; 3. Atribuição de julgamentos/ pesos aos critérios previamente definidos, seja com base em dados previamente levantados ou por meio de painel de especialistas.

Obtenção dos Dados Cartográficos

Esta etapa constitui uma das mais importantes, pois diz respeito a obtenção dos dados que, em sua grande parte, foram obtidos em páginas de órgãos oficiais que fornecem informações cartográficas em meio digital. As informações coletadas foram:

- Imagem de radar do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30 m, obtido na página da USGS (*United States Geological Survey*) - arquivo no formato *GeoTIFF*;
- Mapa de cobertura e uso da terra, com resolução espacial de 30 m e escala de 1:250.000, obtido na página do MapBiomias – arquivo no formato *GeoTIFF*;
- Mapa de pedologia e geologia - versão 2021- na escala de 1:250.000, obtido na página do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e estatística) - arquivo no formato *shapefile*;
- Perímetro urbano de Teresina – versão 2015 – obtido na página da SEMPLAN (Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação) – arquivo no formato *shapefile*;
- Macrozoneamento urbano – versão 2019 - obtido na página da SEMPLAN (Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação) – arquivo no formato *shapefile*;
- Equipamentos públicos e infraestrutura – versão 2020 - obtido na página da SEMPLAN (Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação) – arquivo no formato *shapefile*;

Padronização dos dados

Antes da realização da padronização dos dados, fez-se necessária a criação do arquivo de declividade a partir da imagem de SRTM por meio da aplicação do algoritmo de declividade implementado no QGIS. No que tange os dados de

restrição quanto ao uso e ocupação do solo estes foram retirados a partir do arquivo de macrozoneamento da cidade e constituem a Macrozona de Interesse Ambiental (MZIA) caracterizada por sua susceptibilidade a alagamentos e importância ambiental, além deste destaca-se os corpos d'água (rios e lagos) qualificados como área de restrição.

Os dados de infraestrutura utilizados dizem respeito as vias – estradas, ruas, avenidas e BRs – que foram mapeadas mediante dados obtidos na SEMPLAN e posteriormente aplicando-se o algoritmo de *buffer* no QGIS pode-se determinar as áreas que já possuem maior aptidão do ponto de vista de implementação de novas estruturas urbanas (escolas, hospitais, ruas etc.), a partir da disponibilidade de vias. Ou seja, a aptidão sob a ótica da infraestrutura está relacionada a disponibilidade de vias de circulação bem estruturadas.

Após as etapas anteriores a padronização dos dados foi realizada mediante a inserção deste no *software* QGIS 2.18.28 a partir do qual inicialmente foi aplicado parâmetros de transformação afim de reprojeter as informações para o sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) e SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), fuso 23S.

Definição dos pesos de aptidão a expansão urbana por critérios

Para definição dos pesos de aptidão a expansão urbana por critérios, primeiramente criou-se um projeto no QGIS dentro do qual foram reunidas todas as informações padronizadas referentes aos dados necessários a geração do produto. Posteriormente, foi realizada a definição dos pesos parciais, ou seja, a normalização das classes constituintes de cada critério (solo, pedologia, declividade, uso e ocupação da terra, áreas de restrição a ocupação e equipamentos urbanos e infraestrutura) considerado na análise. Salienta-se que os valores dos pesos, nessa etapa, foram definidos no ambiente SIG seguindo uma escala numérica que varia de 1 a 10 e cujos valores estão correlacionados com as classes: alto, médio, baixo e nulo; considera-se os valores numéricos 5, 4 e 3, 1 e 0 respectivamente, seguindo a metodologia de Moura (2007).

Para definição dos valores dos pesos levou-se em consideração os trabalhos de Crepani et al. (2001), de modo que foi se observando os graus de importância de cada característica das classes referentes aos critérios, tendo como elemento definidor a capacidade de ocupação urbana ou não. Assim sendo tais elementos foram definidos:

Declividade: no caso da declividade os pesos das classes foram definidos de acordo com Valente (1996) em que declividades menores que 3% representam áreas inadequadas para o uso urbano em decorrência de sua baixa capacidade de carga – de sustentação das edificações - mas adequada a usos como lazer e agricultura, contudo, dentro do presente trabalho essa faixa de declividade foi considerada como adequada a expansão urbana dentro da realidade teresinense haja vista o PDOT o classificar como tal. Entre 3 e 15% têm-se áreas adequadas a expansão urbana. Entre 15 e 30% não apresenta proibições, contudo sua ocupação dependerá de intervenções técnicas elaboradas com fins de permitir a ocupação. Já em áreas com declividade maior que 30% o solo é tido como inapto a ocupação urbana. Face a isso definiu-se os pesos das classes para declividade conforme apresentado no Quadro 1:

Quadro 1 - Definição dos pesos para as classes do critério declividade.

Declividade (%)	Relevo	Peso
0 - 3	Plano	5
3 - 8	Suave-Ondulado	5
8 - 20	Ondulado	4
20 - 45	Forte - Ondulado	4
45 - 75	Montanhoso	1
> 75	Escapado	1

Fonte: Autores (2022).

Pedologia: dentro da área urbana de Teresina foram identificados os seguintes solos: Latossolo Amarelo, Plintossolo Pétrico, Plintossolo Argilúvico, Neossolo Flúvico, Neossolo Litólico, Água e Chernossolo Argilúvico. Tomando o trabalho realizado por Crepani et al. (2001) determinou-se que o Latossolo Amarelo é um solo propício a ocupação, haja vista suas características condicionarem a ocupação urbana. No caso dos dois tipos de Plintossolo e Neossolos identificados, estes apresentam uma alta fragilidade no que diz respeito a ocupação urbana. Por fim, o Chernossolo apresenta uma aptidão média a ocupação, enquanto a água é tida como nula. Em suma os pesos para essa classe foram definidos de acordo com o Quadro 2:

Quadro 2 – Definição dos pesos para as classes do critério pedologia.

Pedologia	Peso
Latossolo Amarelo	5
Plintossolo Pétrico	1
Plintossolo Argilúvico	1
Neossolo Flúvico	1
Neossolo Litólico	1
Chernossolo Argilúvico	4
Água	0

Fonte: Autores (2022).

Geologia: para determinação dos pesos das classes referentes à geologia levou-se em consideração o grau de coesão das rochas constituintes das unidades geológicas. Nesse sentido, de acordo com Crepani et al. (2001), as rochas mais estáveis são aquelas que apresentam maior grau de coesão, enquanto as menos estáveis são aquelas com menor grau de coesão. Deste modo, tem-se que a classe Pedra de Fogo é uma unidade sedimentar que por suas características apresenta condições menos propícias à ocupação face sua baixa estabilidade. No caso da unidade geológica Piauí, rica em arenitos médios, essa apresenta condições mais favoráveis a ocupação do solo; os Depósitos Aluvionares Holocênicos por apresentar alta susceptibilidade a erosão em decorrência de sua formação, é tida como uma área de alta fragilidade a ocupação. Desse modo, os pesos das classes para geologia ficaram definidas segundo o Quadro 3:

Quadro 3 – Definição dos pesos para as classes do critério geologia.

Geologia	Peso
Piauí	5
Pedra de Fogo	3
Depósitos Aluvionares Holocênicos	1
Água	0

Fonte: Autores (2022).

Uso e ocupação da terra: as classes definidas como de solo exposto, agricultura e vegetação foram definidas como de potencial ocupação, uma vez que apresentam condições de serem exploradas. Contudo, salienta-se que no caso das vegetações encontradas nas margens dos rios estas foram desconsideradas uma vez que integram áreas de Área de Preservação Permanente (APP). A área urbana, rios e lagos foram desconsiderados uma vez que não apresentam condições de serem ocupados face suas características. Desse modo, o Quadro 4 apresenta os valores de pesos definidos:

Quadro 4 – Definição dos pesos para as classes uso e ocupação do solo.

Uso e ocupação do Solo	Peso
Vegetação, solo exposto, agricultura	5
Área urbana,	0
Rios, lagos	0

Fonte: Autores (2022).

Áreas de restrição a ocupação: dentro deste critério destacam-se as Áreas de Preservação Permanente (APP's). A APP considerada foi aquela relativa as margens dos rios – Poty e Parnaíba - e corpos de água menores como as lagoas. Estas áreas foram definidas como de restrição a ocupação, portanto receberam peso 0. Com está informação foi realizada a diferença algébrica entre o mapa final e este dado. O Quadro 5 apresenta os valores para essa classe:

Quadro 5 – Definição dos pesos para as classes do critério área de restrição a ocupação.

Restrição a ocupação	Peso
APP	0

Fonte: Autores (2022).

Área de abrangência da infraestrutura (vias): neste critério levou-se em consideração as vias de circulação da cidade – ruas, avenidas e BRs – que atuam como elementos de impulsão ao crescimento da cidade. Por conseguinte, a partir da criação de *buffer* da área de influência das vias foi definido o peso – potencial de ocupação para cada classe de área de abrangência definido conforme o Quadro 6:

Quadro 6 – Definição dos pesos para as classes do critério geologia.

Vias (m)	Peso
500	5
1000	4
1500	4
2000	4
2500	4
3000	4

Fonte: Autores (2022).

Aplicação do Modelo de Reclassificação de Variáveis (MRV)

Com a realização das etapas anteriores foi realizada a tomada de cada plano de informação, considerada na análise, e a conversão dos arquivos do formato *raster* para o formato *vetor* de modo que se pudesse identificar dentro de cada critério suas respectivas classes de variáveis por meio da criação de uma coluna numérica dentro da tabela de atributos.

Com a tabela de atributo criada foi realizada a conversão dos planos de informação do formato vetorial para raster, desse modo, foi utilizado o algoritmo *vector to raster*. Com isso partiu-se para associação dos pesos que definem os graus de importância de cada classe, para tanto foi criado um bloco de notas dentro do qual foi atribuída a cada classe seu respectivo peso. Para implementação dessa reclassificação dessas informações foi aplicado o algoritmo *r.recode* que efetivamente associou a cada classe seu respectivo peso de importância, a partir da combinação entre os arquivos raster e os valores definidos no bloco de notas.

Aplicação do método AHP

Por meio da utilização do *plugin* do QGIS – *Easy AHP* – foi realizada a aplicação do método AHP. Nessa etapa, de posse dos planos de informação devidamente reclassificados, partiu-se para determinação dos pesos. Para tanto, realizou-se a construção de Matriz de Comparação Pareada (MCP); a obtenção do índice de consistência e razão de consistência.

Para construção da MCP foi utilizada a escala de pesos definida por Saaty (1977), levando em consideração a ordem de importância apresentada no Quadro 7.

Quadro 7 – Escala de comparação com os respectivos pesos de importância.

VALORES	IMPORTÂNCIA MÚTUA
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: Adaptado de Saaty (1977).

Com a MCP criada, partiu-se para o cálculo do Índice de Consistência (IC) que de acordo com Rezende, Marquês e Oliveira (2017) é utilizado para estimar um valor em relação aos pesos estatísticos advindos do AHP. Desse modo para que se possa definir o valor do IC é aplicada a seguinte equação 01:

$$IC = (\lambda_{\max} - n) / (n-1) \quad \text{(Equação 01)}$$

Onde:

IC: índice de Consistência;

λ_{\max} : número principal de Eigen;

n: número de critérios da matriz.

Com o valor do IC definido realizou-se o cálculo da Razão de Consistência (RC), taxa está utilizada para definir se a matriz de julgamentos obtida – MCP – é consistente ou não. O RC é aceitável para valores menores ou iguais a 0,10 ($RC \leq$

0,10). Para valores maiores que 0,10 ($RC > 0,10$) os 423 julgamentos da matriz de comparação paritária devem ser revisados, buscando torná-los consistentes (SAATY, 1990). A equação 02 mostra o cálculo da taxa de consistência:

$$RC = IC/RI \quad \text{(Equação 02)}$$

Onde:

RC: taxa de consistência;

IC: índice de consistência;

RI: índice de consistência aleatória.

O valor do RI é definido segundo o Quadro 8 proposto por Saaty (2008):

Quadro 8 - Índices de consistência aleatória.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R1	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (2008).

Onde:

N: número de critérios analisados;

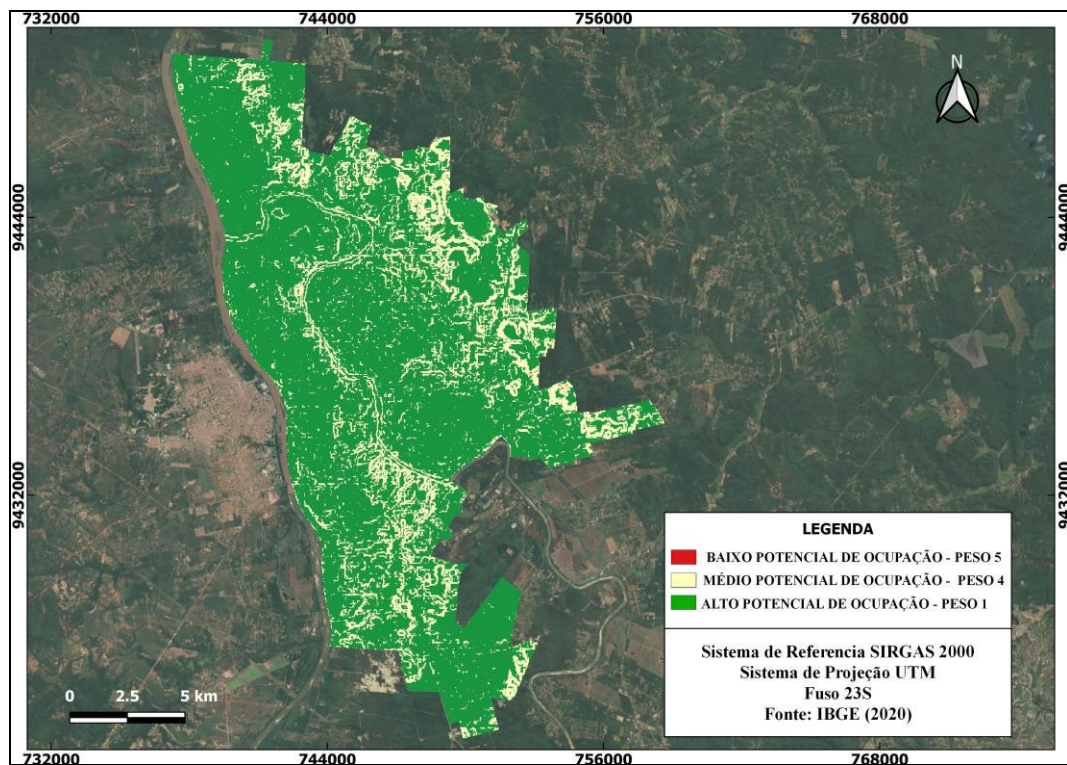
RI: Índice de Consistência Aleatória.

Com a validação do RC - verificação da integridade dos julgamentos realizados - e com os valores dos pesos normalizados, determinou-se os pesos para cada critério pelo método AHP e posterior multiplicação dos mapas pelos respectivos pesos mediante o emprego da calculadora *raster* do QGIS.

3. Resultados e Discussão

O mapa de potencial de ocupação, para o critério declividade, mostra uma predominância de relevo plano – 21180,60ha, o que corresponde a 80,25% da área mapeada – propício ao processo de urbanização – expansão urbana. Observa-se também uma área de 4,5865ha que corresponde a 0,02% da área total e diz respeito às áreas com declividades superiores a 45°, inadequadas a ocupação. Por fim, foram identificadas áreas com potencial médio de ocupação, contudo com ressalvas de natureza ambiental, pois a localização destas encontra-se em áreas sensíveis, como o caso dos trechos que perfazem as margens dos rios Poty e Parnaíba, correspondendo a uma área de 5207,90ha – 19,73% da área total (Figura 2).

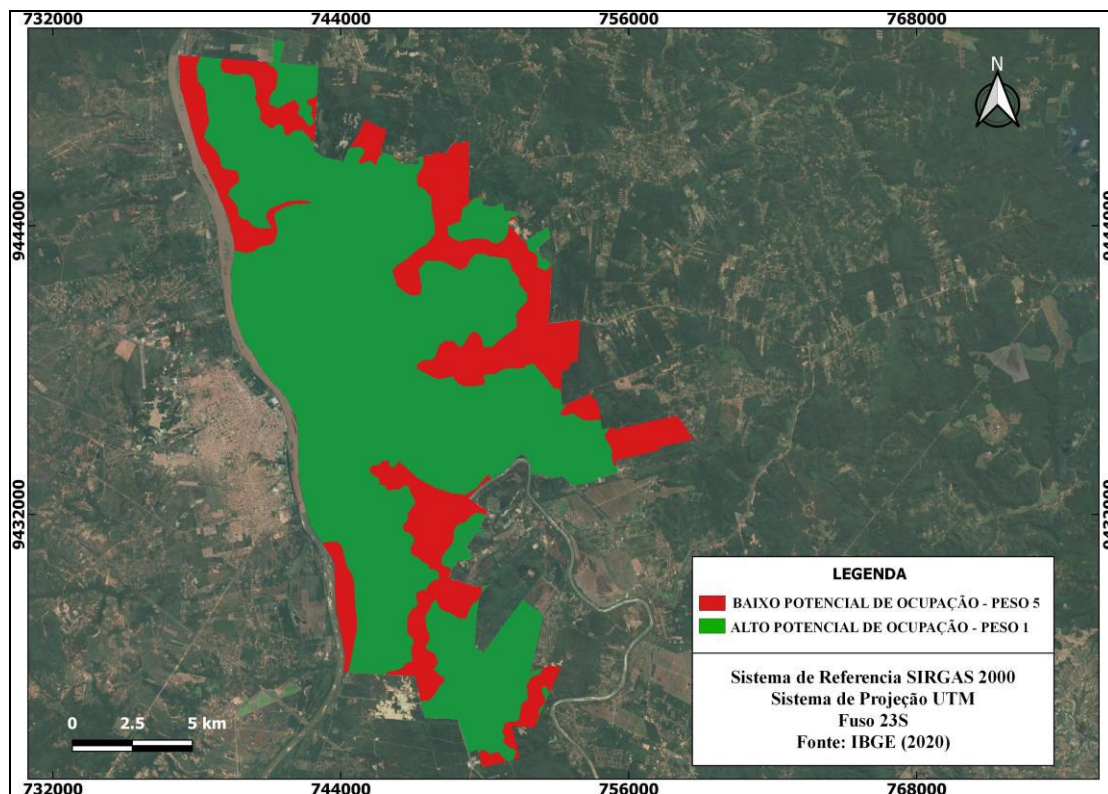
Figura 2 – Mapa de potencial de ocupação: declividade.



Fonte: Autores (2022).

No tocante a pedologia observou-se uma predominância das áreas passíveis ao processo de urbanização, especialmente na porção central da área de estudo que apresenta uma predominância de um solo apto ao processo de uso e ocupação. Por isso, a área correspondente ao alto potencial de ocupação corresponde a uma área de 19982,49ha, o equivalente a 75,66% da área total; a área de baixo potencial corresponde a 6429,60ha, o correspondendo a 24,34%; outra área identificada foi a relativa a água, qualificada como de restrição a ocupação – 232,54ha – 0,88% da área total (Figura 3).

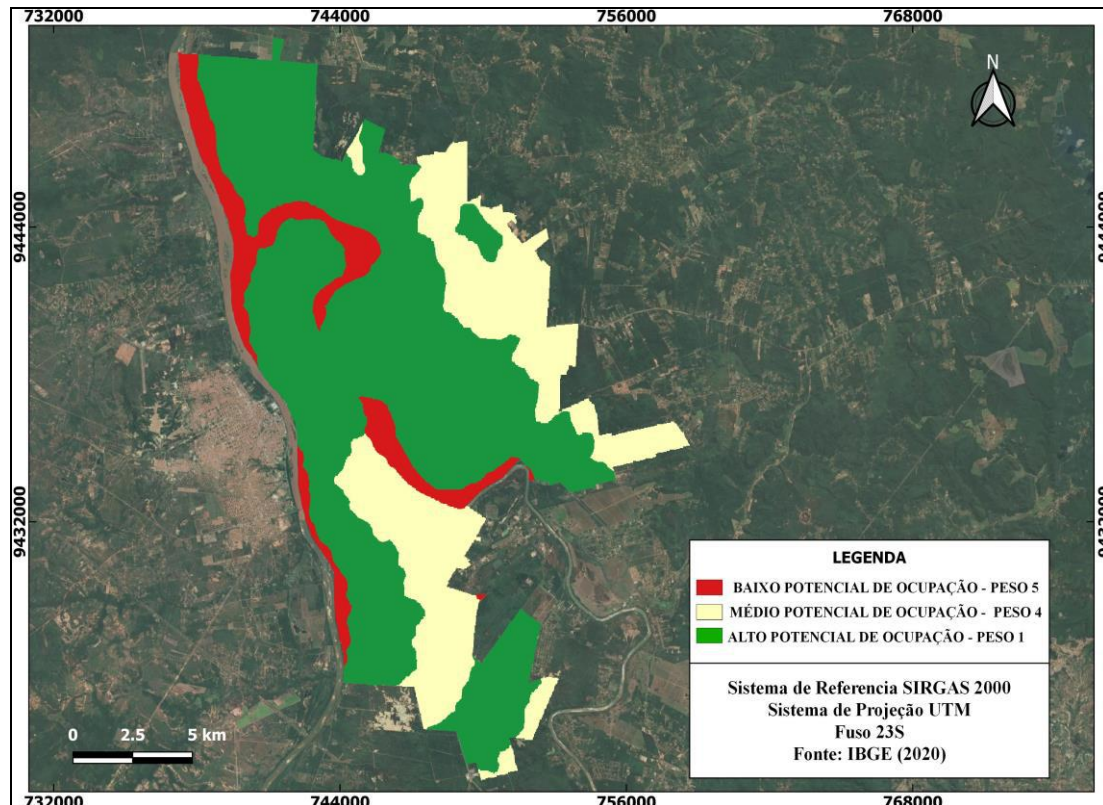
Figura 3 – Mapa de potencial de ocupação: pedologia.



Fonte: Autores (2022).

No que diz respeito a ocupação tomando o critério geologia têm-se que parte significativa da área de estudo apresenta condições de ocupação especialmente na porção central que revelou as melhores condições quanto a este processo. Assim, constatou-se que 16827,62ha (63,76%) correspondem a áreas aptas ao processo de urbanização, enquanto 7048,47ha (26,71%) correspondem a parcela que apresenta um potencial médio a ocupação. Por fim, 2515,17ha (9,53%) correspondem a uma área com baixo potencial de ocupação em decorrência da presença de áreas alagadiças e condições geológicas instáveis (Figura 4):

Figura 4 – Mapa de potencial de ocupação: geologia.

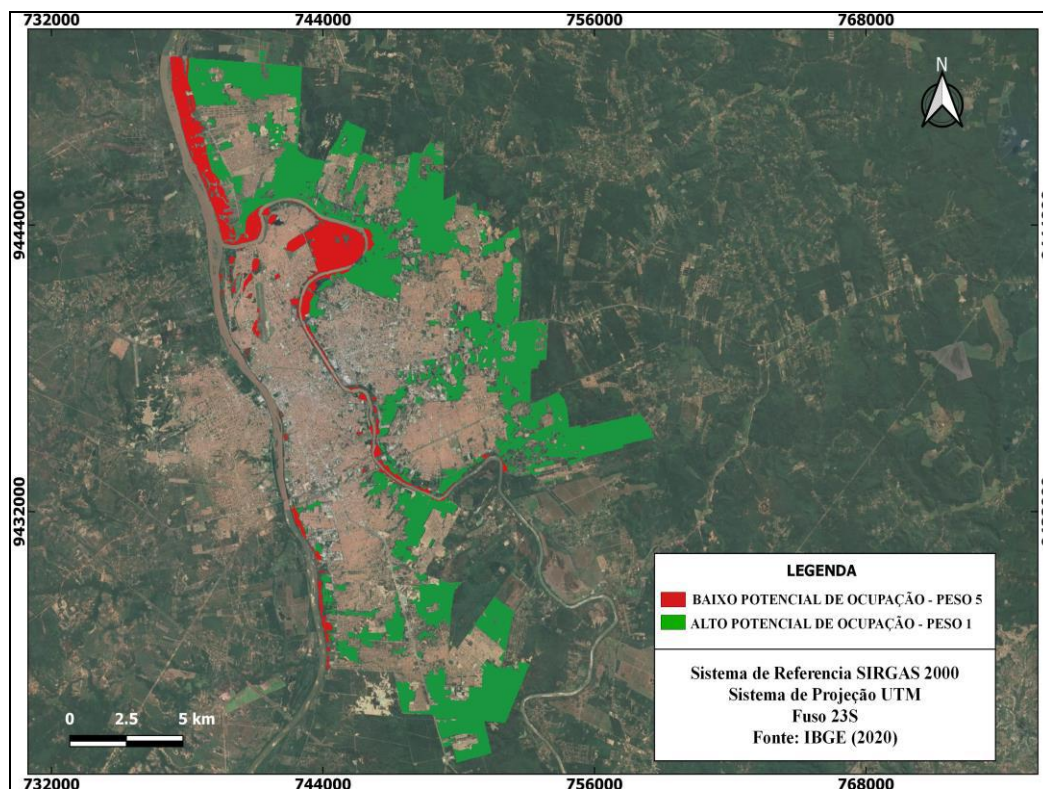


Fonte: Autores (2022).

Quanto ao uso e ocupação da terra observa-se que parte significativa da área em estudo está inapta a este processo em decorrência de já se encontrar ocupada, o que corresponde a 17428,3301ha (66,03%); já a área passível de ser ocupada – tomando este critério – corresponde a 7598,07ha (28,79%) estando localizada, em sua maior parte, na região limite do perímetro urbano da cidade. Outra área mapeada foi a referente àqueles lugares em que não há urbanização propriamente dita, mas que está inapta a ocupação pelas condições de natureza ambiental no sentido de preservação o que corresponde a 1367,08ha (5,18%).

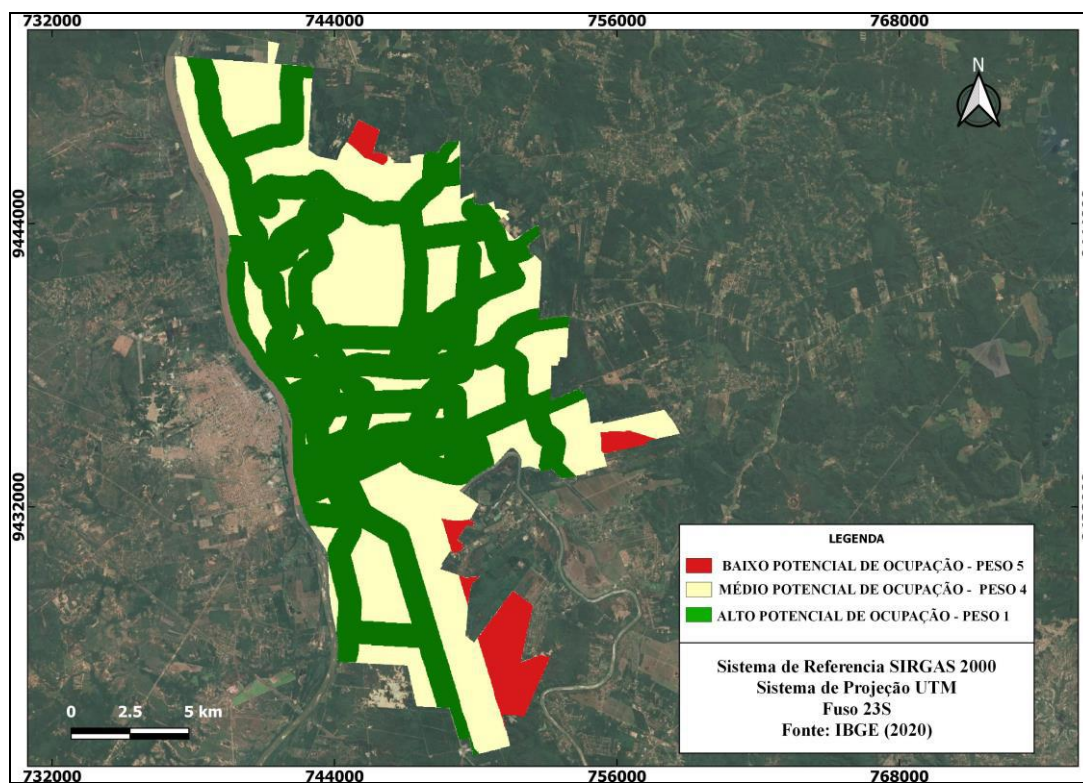
No que tange a infraestrutura de transportes (Figura 6) observa-se que a porção central da cidade apresenta as melhores condições de ocupação tomando este quesito, pois é o local a partir do qual a malha viária da cidade tem origem e se estende. As áreas com mais alto potencial de ocupação do solo correspondem a 14660,90ha (55,55%), enquanto as áreas que apresentaram um potencial médio de ocupação correspondem a 10398,20ha (39,40%). As áreas menos aptas estão localizadas nos limites da área urbana e correspondem a 1336,24ha (5,06%).

Figura 5 – Mapa de potencial de ocupação: uso e ocupação da terra.



Fonte: Autores (2022).

Figura 6 – Mapa de potencial de ocupação: vias de transporte.



Fonte: Autores (2022).

Com os critérios definidos foi realizada a comparação paritária dos indicadores – com 10 interações par a par. Essa primeira comparação foi realizada mediante a matriz recíproca 5 x 5, contabilizando 25 combinações (Tabela 1):

Tabela 1 – Matriz de comparação pareada.

Crítérios	Geologia	Pedologia	Uso do solo	Declividade	Infraestrutura
Geologia	1.00	2.00	0.50	5.00	2.00
Pedologia	0.50	1.00	0.33	1.00	0.50
Uso do solo	2.00	3.00	1.00	5.00	2.00
Declividade	0.20	1.00	0.20	1.00	1.00
Infraestrutura	0.50	2.00	0.50	5.00	1.00

Fonte: Autores (2021).

O resultado do teste de integridade dos julgamentos apresentou uma razão de consistência (RC) de 4,4%, o que revelou que os pesos atribuídos nos julgamentos da matriz são consistentes. Desse modo obteve-se os pesos referentes a cada critério considerado na avaliação (Tabela 2):

Tabela 2 – Pesos dos critérios

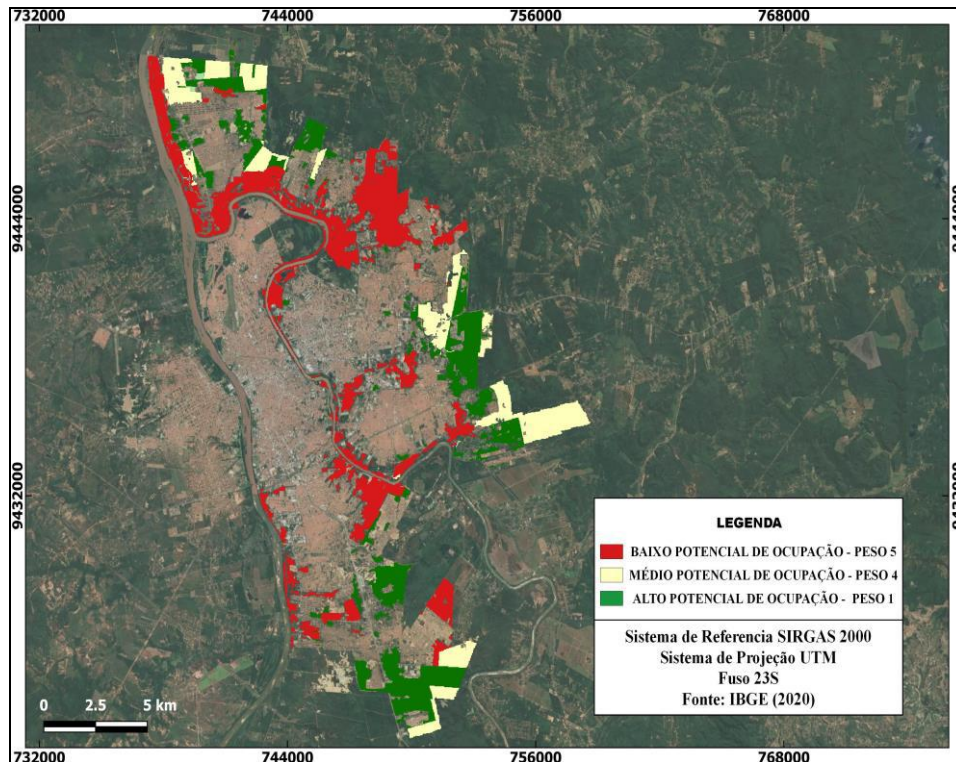
Crítérios	Geologia	Pedologia	Uso do solo	Declividade	Infraestrutura
Peso	0,27	0,10	0,38	0,09	0,15

Fonte: Autores (2021).

Como resultado da aplicação dos pesos e álgebra dos mapas foram identificadas as áreas passíveis de serem ocupadas dentro do perímetro urbano da cidade. Parte significativa dessas áreas estão localizadas nos limites do perímetro urbano da cidade e representam áreas com baixo índice de ocupação. De acordo com a Figura 7, observou-se que 4708,13 ha (46%) correspondem a áreas com muito alto potencial de ocupação, ou seja, são áreas que apresentam, levando em consideração todos os critérios mapeados, condições adequadas para ocupação. Outras áreas identificadas foram aquelas qualificadas como de médio potencial de ocupação que correspondem a 1913,01ha (18,57%) e as áreas com baixo potencial de ocupação com 3679,93ha (35,43%) essas últimas possuem uma série de restrições de natureza ambiental que inviabiliza a sua ocupação.

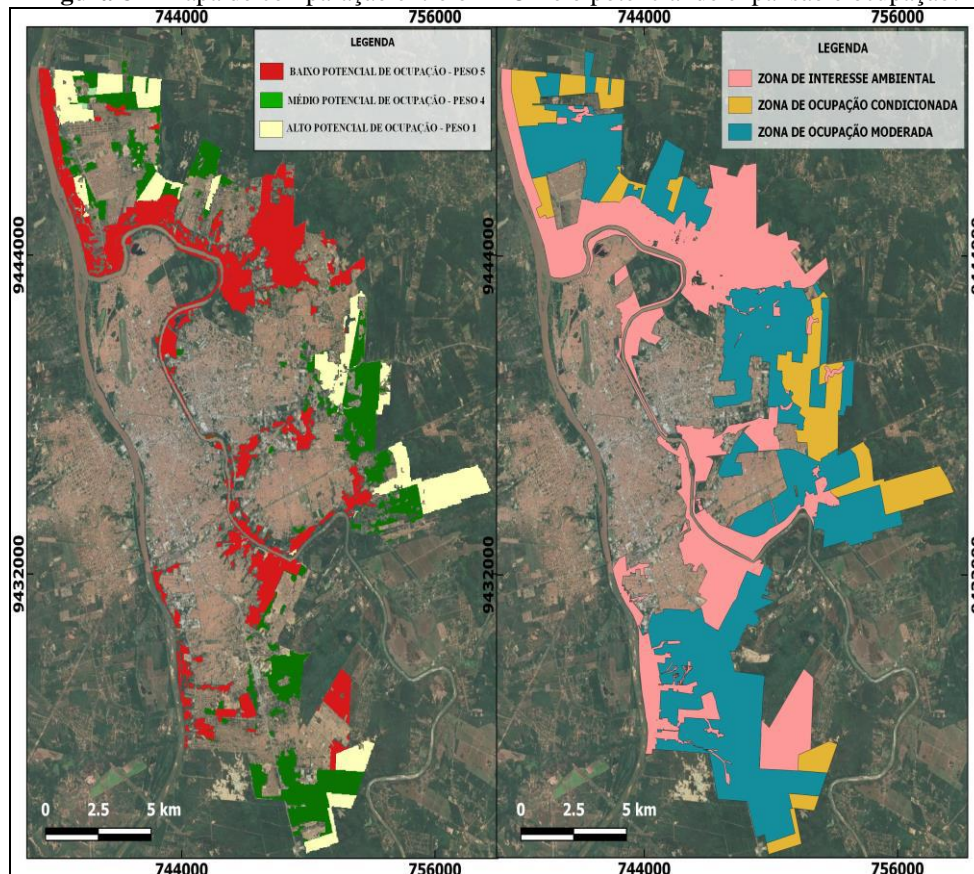
Mediante a contraposição entre o mapeamento realizado e as zonas definidas pelo PDOT, observou-se que as áreas mapeadas estão dentro de três zonas: a interesse ambiental; a de ocupação condicionada; e a de ocupação moderada. As zonas de interesse ambiental apresentam restrições de ocupação, pois o uso dessas áreas tem como pré-requisito o respeito ao meio ambiente e o baixo adensamento populacional na área. A zona de ocupação moderada é propícia a ocupação urbana, especialmente para fins residenciais, haja vista apresentar uma infraestrutura adequada e vazios urbanos que podem ser explorados. A zona de ocupação condicionada, apresenta características que a qualificam como ideal para ocupação especialmente pelo fato de apresentar baixa densidade urbana e não ser tão atrativo a ocupação em face a falta de infraestrutura urbana para isso (Figura 8).

Figura 7 – Mapa de potencial de expansão e ocupação urbana.



Fonte: Autores (2022).

Figura 8 – Mapa de comparação entre o PDOT e o potencial de expansão e ocupação.



Fonte: Autores (2022).

Por meio dos resultados pode-se observar que dentro das áreas mapeadas pelo PDOT como de interesse ambiental apresentam ocupações de natureza residencial e parte disso se deve ao crescimento desordenado das ocupações urbanas em Teresina que se dão de forma irregular e aleatória. Um outro ponto importante diz respeito as áreas aptas a expansão, localizadas na porção limitriforme de Teresina, em que se observa a construção de conjuntos habitacionais desarticulados com o resto da cidade.

4. Conclusão

Teresina é uma cidade que vem expandindo seu espaço de ocupação de forma paulatina e constante, tanto que se observa por meio dos resultados apresentados uma forte tendência a ocupação dos limites urbanos da cidade, especialmente com ações resultantes de programas sociais, como também, invasões (ocupações irregulares).

A priori constatou-se que a cidade ainda possui áreas passíveis de serem ocupadas, contudo estas ocupações estão condicionadas aos critérios de mapeamento definidos pelo Plano de Ordenamento Territorial de Teresina (Lei 5.481/2019) que visa ordenar a cidade, tornando-a coesa, compacta e organizada, ou seja, existem condicionantes associadas a esta ocupação que visam organizar o crescimento da cidade respeitando suas características e limites estruturais.

Diante dos expostos evidencia-se a necessidade de novos estudos que contemplem não só a ocupação e expansão urbana em si, mas também os vazios urbanos e os processos de crescimento vertical da cidade de Teresina, que constituem elementos importantes para análises dessa natureza e permitem vislumbrar nossas formas de se pensar a articulação da cidade e seu desenvolvimento espacial.

Agradecimentos

Aos meus pais pelo amor incondicional. Ao Instituto Federal do Piauí por ser uma instituição que faz parte da minha vida acadêmica e profissional ao longo desses anos de caminhada e a minha orientadora.

Referências

- Barros, A. F., & Marques, E. T. (2009). Áreas urbanizáveis e expansão urbana: uma proposta de mapeamento para o município de viçosa-mg utilizando sistema de informação geográfica (análise multicritério). *Revista Geografia & Pesquisa*, 03(01), 1-144.
- Bento, S. C., Conti, D. M., Baptista, R. M., & Ghobril, C. N. (2018). As novas diretrizes e a importância do planejamento urbano para o desenvolvimento de cidades sustentáveis. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 07(03), 469-488. DOI: 10.5585/geas.v7i3.1342.
- Lima, S. M. S. A., Lopes, W. G. R., Façanha, A. C. (2021). Alterações na cobertura do solo em Teresina, Piauí, Brasil. *Sociedade & Natureza*. 33. 1-14.
- Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001 (2001). Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Diário oficial da união. Brasília: DF.
- Castro, J. S., Costa, L. S., Barbosa, G. R., Assemany, P. P., & Calijuri, M. L. (2015). Utilização de SIG e análise multicritério para seleção de áreas com potencial para a construção de universidades e loteamentos universitários. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 31(21), 252-257. DOI: 10.1590/S1982-21702015000300037.
- Collins, M. G., Steiner, F. R., & Rushman, M. J. (2001). Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. *Environmental Management*, 28(5), 611-21. DOI: 10.1007/s002670010247.
- Crepani, E., Medeiros, J. S., Filho, P. H., Florenzano, T. G., Duarte, V., & Barbosa, C. C. F. (2001). Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. São José dos Campos: INPE.
- Glaeser, E. (2011). Triumph of the City: How Our Greatest Invention Makes Us Richer, Smarter, Greener, Healthier, and Happier. *Economic Geography*, 88(1), 97-100. DOI: 10.2307/4147407.
- Gomes, R. C.; & Bias, E. S. (2008). Integração do método AHP e SIG como instrumento de análise do nível de conservação ambiental em bacias hidrográficas. *Geociências*, 37(1), 167-182.
- Lima, L. S., Sousa, F. F. L. M., Lopes, A. S., Loureiro, C. F. G. (2019, novembro). O fenômeno do espraiamento urbano e seus impactos na acessibilidade ao trabalho em Fortaleza. Anais do Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET, 33º, 2019, Balneário Camboriú, SC, Brasil, 33.

- Melo, C. D. C. C. J. (2009). Expansão urbana do município de Teresina e as políticas habitacionais a partir de 1966. Tese de doutorado, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/handle/10899/26087>.
- Miranda, J. I. (2010). Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas. (2. ed. rev.). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
- Moura, A. C. M. (2007, abril). Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, SC, Brasil, 13.
- Pessoa, T. M. (2019). Teresina uma cidade entre rios: estudo da gestão das águas pluviais na zona sul. Orientador: Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador. Disponível em: <https://www.escavador.com/sobre/3072228/thiscianne-moraes-pessoa>.
- Pimenta, L. B., Beltrão, N. E. S., Gemaque, A. M. S., & Tavares, P. A. (2019). Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. *Interações*, 2(20), 407-420. DOI: 10.20435/inter.v20i2.1856.
- Reis Filho, A. A. (2012). Análise Integrada por Geoprocessamento da Expansão Urbana de Teresina com base no Estatuto da Cidade: estudo de potencialidades, restrições e conflitos de interesses. Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MPBB-935K4U>.
- Reis, E. B., Viana, B. A. S. (2021). Condomínios Horizontais e a Ocupação de Vazios Urbanos na Cidade. *Revista Formatação (Online)*, 28(53), 345-370.
- Rezende, P. S., Marques, D. V., & Oliveira, L. A. (2017). Construção de modelo no QGIS e utilização do método de processo analítico hierárquico - AHP para mapeamento de riscos à inundação na área urbana de Paracatu - MG. *Caminhos De Geografia*, 18(61), 01-18. DOI: 10.14393/RCG186101.
- Rodrigues, R. S., & Veloso Filho, F. A. (2016). Planejamento urbano em Teresina-PI. *Revista Equador*, 3(5), 340-359. DOI: 10.26694/equadorv5i3.4977.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98. DOI: 10.1504/IJSSCI.2008.017590.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26. DOI: 10.1016/0377-2217(90)90057-I.
- Saaty, T. H. (1997). A scaling method form priorities in hierarquical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281. DOI: 10.1016/0022-2496(77)90033-5.
- Silva, E. O., Silva, G. R., Vieira, N. R. C. (2017, março). Expansão urbana da cidade de Teresina e suas transformações socioespaciais. Anais do Encontro Nacional do INCT Observatório das Metrôpoles, Natal, RN, Brasil.
- Silva, C. M. B. F., Santos, L. P. (2021, janeiro-junho). Cidade Compacta, Coordenada e Conectada: uma análise da política urbana de Teresina (PI) sob a ótica dos princípios DOTS. *Revista da Academia de Ciências do Piauí*. 2(2), 19-35.
- Sousa, J. V., Jerônimo, T. B., Melo, F. J. C., & Aquino, J. T. (2017). Uso do AHP para identificação de perdas da qualidade em empresas de manufatura: um estudo de caso. *Exacta*, 15(1), 89-100. DOI: 10.5585/exactaep.v15n1.6691.
- Lei Complementar nº Lei 5.481, de 20 de dezembro de 2019 (2019). Dispõe sobre o Plano Diretor de Teresina, denominado "Plano Diretor de Ordenamento Territorial – PDOT. Diário oficial do município. Teresina, PI.
- Valente, A. L. S. (1996). Uso de SIG na determinação de áreas com restrições à ocupação urbana na sub-bacia do Arroio Feijó. Anais do Congresso e Feira para usuários de geoprocessamento, Curitiba, PR, Brasil.