

## GEOGRAFIA E DINÂMICA DOS AMBIENTES URBANOS: APLICAÇÃO DA ANÁLISE GEOGRÁFICA INTEGRADA AO ESTUDO DO MEIO AMBIENTE URBANO

### GEOGRAPHY AND THE DYNAMICS OF URBAN ENVIRONMENTS: APPLICATION OF INTEGRATED GEOGRAPHICAL ANALYSIS TO THE STUDY OF THE URBAN ENVIRONMENT

**Aline de Araújo Lima**

Mestre em Geografia (UFPI). Auditora Fiscal Ambiental da Secretaria de do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí (SEMAR/PI)

ORCID: 0000-0002-5429-6527

E-mail: alinearaujolima@outlook.com

#### RESUMO

A análise integrada entre aspectos físicos e humanos tem sido um desafio para a ciência geográfica no estudo das cidades, uma vez que, à medida que a ocupação humana tem aumentado, no tempo e no espaço, os elementos naturais vão sendo transformados, tendo alterada a sua participação nos processos citadinos. A análise sob a ótica da Teoria Geral dos Sistemas (TGS) na Geografia permite combinar os elementos e processos que compõem o sistema do espaço urbano contribuindo sobremaneira no planejamento e gestão destes espaços. O presente trabalho busca investigar a Análise Geográfica Integrada, aplicada em ambientes urbanos, à luz da abordagem geossistêmica. Ainda, pretende-se aqui sistematizar uma base conceitual e metodológica utilizada para a aplicação referida, usando como estudo de caso o espaço urbano de Teresina (PI). A metodologia baseou-se na identificação de elementos físicos e humanos, no levantamento e sistematização de dados em planilhas e arquivos geoespaciais, e, por fim, a identificação de áreas com diferentes graus de susceptibilidade a inundações, alagamento e enchentes. A metodologia empregada mostrou-se eficiente, haja vista que não é possível analisar um espaço urbano sem integrar as suas características físicas e humanas.

**Palavras-chave:** espaço urbano; análise geográfica integrada; geossistemas; riscos ambientais; Teresina.

## **ABSTRACT**

*Integrating physical and human aspects has been a challenge for geographic science on the studies of cities, since as human occupation increases, natural elements are being transformed, or even minimized, with their participation in the processes altered. The analysis from the perspective of the General Theory of System in Geography allows us to combine the variable elements and processes that make up the open urban space system, even advancing in the sense of contributing to the planning and management of these spaces, regarding the identification of risk areas, for example. This study intends to present the application of Integrated Geographical Analysis in urban environments, in light of the geosystemic approach, in addition to systematizing a conceptual and methodological basis used for such application; presents an applied methodology of this type of study carried out in the urban space of Teresina (PI) and presents the main results obtained with its application. The methodology used was the identification of physical and human elements, survey and systematization of data in spreadsheets and geospatial files, and finally the identification of areas more and less susceptible to flooding. As a result, the methodology proved to be efficient considering that it is not possible to research an urban space without integrating the physical and human characteristics of the object of study.*

**Keywords:** urban space; integrated geographic analysis; geosystems; environmental risks, Teresina.

## **INTRODUÇÃO**

O estudo dos espaços urbanos na sua dimensão ambiental apresenta alguns desafios. Dentre estes, destaca-se considerar o componente humano no espaço a ser investigado. Entre algumas das metodologias aplicadas com possibilidade de uso para esta finalidade, a Teoria Geral dos Sistemas (TGS) apresenta-se como uma metodologia alternativa, a partir da compreensão do sistema como um complexo integrado de elementos e processos que se retroalimentam constantemente, onde as cidades podem ser consideradas a partir desta ótica.

Ao desenvolver a pesquisa de dissertação de mestrado em Geografia na Universidade Federal do Piauí, entre 2014 e 2016, sob a orientação do Prof.

Dr. Francisco de Assis Veloso Filho, foi possível aplicar de forma satisfatória as bases conceituais e metodológicas para o estudo da dinâmica das sub-bacias hidrográficas da cidade de Teresina-Piauí. Por meio da aplicação da Análise Geográfica Integrada, considerando as seguintes variáveis: forma da bacia, amplitude altimétrica, uso da terra e graus de ocupação humana, foi obtido como resultado as tendências atuais dos riscos de inundação na cidade. Este trabalho permitiu apresentar algumas implicações sobre o caminho a ser percorrido no âmbito do estudo do meio ambiente no espaço urbano, e assim subsidiar ações de planejamento, sobretudo no que tange a identificação de áreas de riscos, dada a importância destas áreas para manutenção da qualidade ambiental dos espaços urbanos.

Este trabalho tem como objetivo apresentar a aplicação da Análise Geográfica Integrada em ambientes urbanos, à luz da abordagem geossistêmica. Ainda, buscou-se por meio deste trabalho sistematizar uma base conceitual e metodológica utilizada para um estudo aplicado ao espaço urbano de Teresina (PI).

Desta forma, o trabalho está estruturado da seguinte forma: (i) inicialmente são apresentadas as contribuições de autores que são referência na construção das temáticas deste trabalho, como por exemplo o desenvolvimento da Teoria Geral dos Sistemas; (ii) na sequência, o exemplo de um estudo aplicado num âmbito local (cidade de Teresina); (iii) em seguida, a metodologia de estudo aplicado no espaço urbano de Teresina (PI); (iv) por fim, os resultados obtidos com a metodologia sistematizada denominada Análise Geográfica Integrada, aplicada aos espaços urbanos.

## **GEOSSISTEMAS: BASES CONCEITUAIS E METODOLÓGICAS PARA A APLICAÇÃO DA ANÁLISE GEOGRÁFICA INTEGRADA**

A Teoria Geral dos Sistemas trata-se de uma teoria que permite combinar elementos físicos e antrópicos no estudo da(s) paisagem(s), bem como suas relações, processos e dinâmicas. Inicialmente, a concepção desta

teoria se deu a partir da dificuldade de algumas ciências, sobretudo das áreas humanas e sociais, em determinar suas bases metodológicas. No geral, os propósitos mais destacados da Teoria Geral de Sistemas são: 1) Integração das várias ciências ; 2) Análise integrada baseada no enfoque sistêmico; 3) Um arcabouço teórico com vistas a alcançar uma teoria exata nos campos não físicos da ciência; 4) Princípios unificadores e, portanto, da unidade da ciência (Bertalanffy, 1973).

A relevância desses propósitos fez emergir a seguinte questão: como agregar diferentes saberes, métodos e técnicas de natureza variada? Uma das respostas a esta questão está na adequação da teoria de acordo com o enfoque. A prática da análise de sistemas mostra que é preciso aplicar diversos modelos, de acordo com a natureza do caso e os critérios operacionais. Esta proposta (Teoria de Sistemas) é capaz de dar conta de organizações diversas propondo definições exatas (análise quantificada), e submeter estas organizações à análise qualitativa quando necessário.

O primeiro princípio usado por esta pesquisa é o de que todo sistema é composto de elementos, variáveis e processos interdependentes, ou seja, qualquer alteração em um destes componentes afeta os demais. A categoria de análise escolhida é a paisagem urbana. Esta é composta por elementos como: geologia, geomorfologia, hidrografia, clima, vegetação, infraestrutura, o homem, entre outros.

Quanto às variáveis, estas foram estabelecidas a partir da relação entre os múltiplos elementos da dinâmica natural, e a atuação do homem sobre o espaço geográfico da cidade estudada. Os processos são decorrentes da inter-relação dos elementos e da atuação das variáveis, tais como a ocupação de áreas fluviais e lacustres, o assoreamento e a contaminação dos corpos hídricos, a alteração do ciclo hidrológico em função da compactação das superfícies, ou ainda dos impactos hidrometeorológicos como alagamentos, inundações e enchentes (Bertalanffy, 1973).

Outro princípio usado por esta pesquisa atende a classificação do sistema como aberto. De acordo com este requisito, os sistemas podem ser abertos ou fechados. Em sistemas naturais abertos há trocas tanto de energia quanto matéria com outros sistemas (Bertalanffy, 1973).

As cidades são ambientes construídos sob um substrato natural, sendo, portanto, um sistema que recebe e fornece tanto matéria quanto energia com outros sistemas, sejam outras cidades sob outros substratos naturais, ou ainda considerando sistemas como o atmosférico, que caracteriza o clima local, ou ainda como o sistema litosférico, modelado pela ação de processos erosivos, dentre outros. A cidade interfere em outros sistemas e é afetada por estes, sendo assim um sistema aberto.

Um terceiro princípio usado na pesquisa é o de que todo sistema é composto de partes menores, e que a soma destas partes é maior que o todo isolado. Considerando a morfologia fluvial da paisagem urbana de Teresina, foram escolhidas como unidades ambientais as sub-bacias hidrográficas que compõem o baixo curso do Rio Poti e o conjunto de 18 bacias difusas do médio Rio Parnaíba.

O quarto princípio é a ideia da equifinalidade. O sistema para ser considerado como tal deve convergir para o mesmo propósito ou objetivo. Atendendo a este requisito a pesquisa analisa a partir da interação de 4 indicadores que avaliaram tanto a variável dinâmica natural quanto ação antrópica e define, por fim, a situação de qualidade ambiental por unidades geográficas, no sentido de avaliar as causas e efeitos impressas no espaço da relação entre elementos, variáveis e processos (Bertalanffy, 1973).

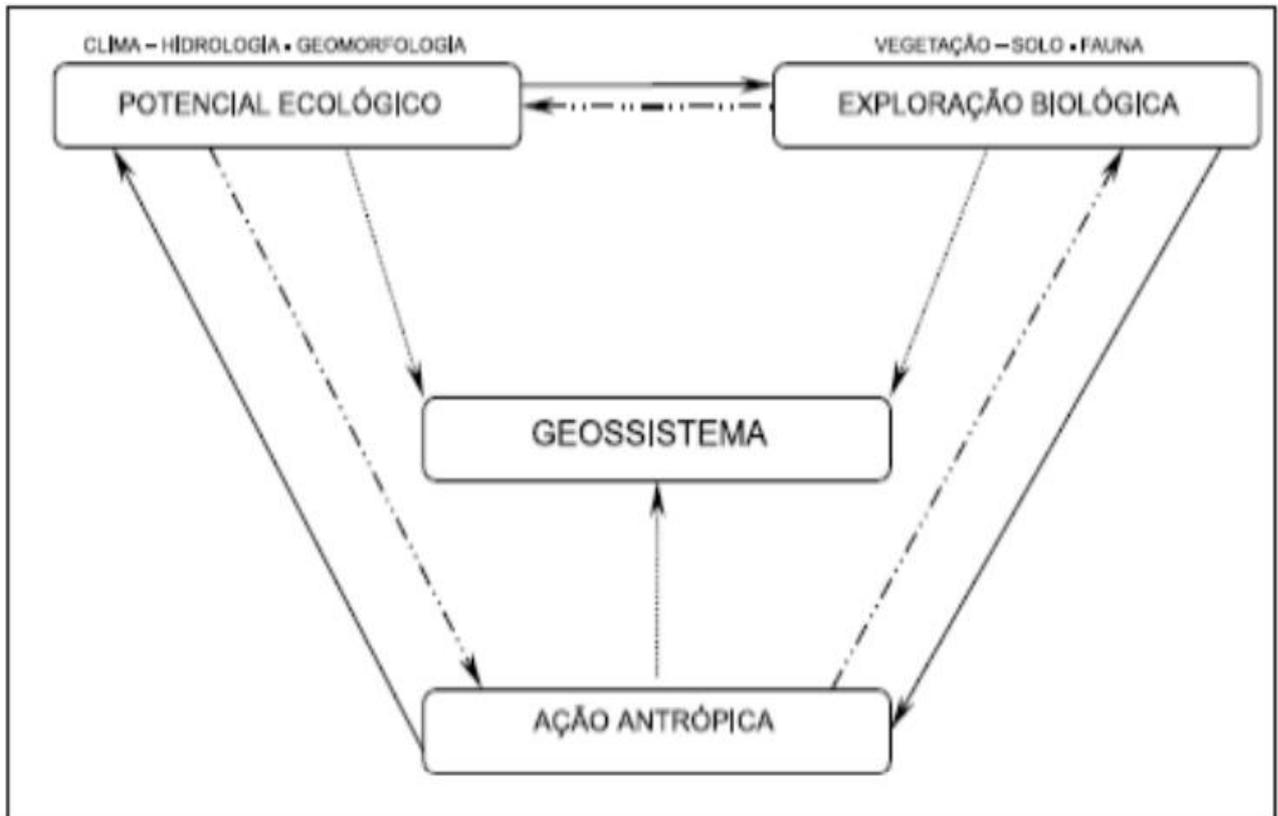
A abordagem de sistemas na Geografia se dá a partir das contribuições sobretudo de Sotchava (1977, 1978), Bertrand (1972) e Tricart (1977). O caráter da ciência geográfica de verificação dos componentes físicos e humanos no estudo da superfície terrestre, aproxima as intenções do saber geográfico à abordagem sistêmica.

O uso do modelo teórico dos sistemas como metodologia com aplicabilidade surge durante o momento histórico da Nova Geografia, contribuindo em estudos principalmente ambientais através da integração dos dados.

Com vistas a associar os estudos dos sistemas aos estudos do espaço geográfico, Sotchava (1977) definiu o geossistema como uma categoria de análise da paisagem. Para o autor, o geossistema é o "[...] potencial ecológico de determinado espaço no qual há uma exploração biológica, podendo influir fatores sociais e econômicos na estrutura e expressão espacial [...]" (Sotchava, 1977, p. 32). A partir desta definição, muitos autores passaram a contribuir com concepções diversificadas. Destaca-se no conceito de geossistema proposto por Sotchava a influência de fatores sociais e econômicos em interação com os aspectos físicos.

Para Bertrand (1972) é necessária uma metodologia apropriada para as pesquisas que têm como objetivo a análise da paisagem, sendo necessária a definição da escala, e uma taxonomia para a compreensão da paisagem. Assim, tendo como base a Teoria Geral de Sistemas, Bertrand (1972) propõe uma análise dos geossistemas globais a partir da abordagem da dinâmica das paisagens, onde são importantes os conceitos de Tricart (1977) em relação a sua abordagem ecológica da relação entre morfogênese e pedogênese. Desse modo, para Bertrand (1972) os geossistemas são compostos de três subsistemas, conforme Figura 1.

**Figura 1 - Esboço metodológico do estudo da paisagem de Bertrand (1968)**



Fonte: Modificado de Bertrand (1972).

O “potencial ecológico” é um subsistema composto pelos elementos: clima, hidrologia, geomorfologia. O subsistema “exploração biológica” é composto por fauna, solo e vegetação. Já o subsistema “ação antrópica” é formado pelos processos decorrentes da atuação dos seres humanos na paisagem. A partir desta definição de geossistema de Bertrand (1972), composta por três subsistemas, são categorizadas as paisagens de acordo com a evolução destas paisagens.

Bertrand (1972) ao propor esta compreensão da abordagem sistêmica, de análise da paisagem e zoneamento global, faz a ligação dos geossistemas com a ecologia. Mais recentemente, são incorporadas outras dimensões à análise da paisagem, as quais Bertrand denomina Geossistema, Território e

Paisagem (GTP), incluindo a dimensão humana como integrante do processo de dinâmica da paisagem.

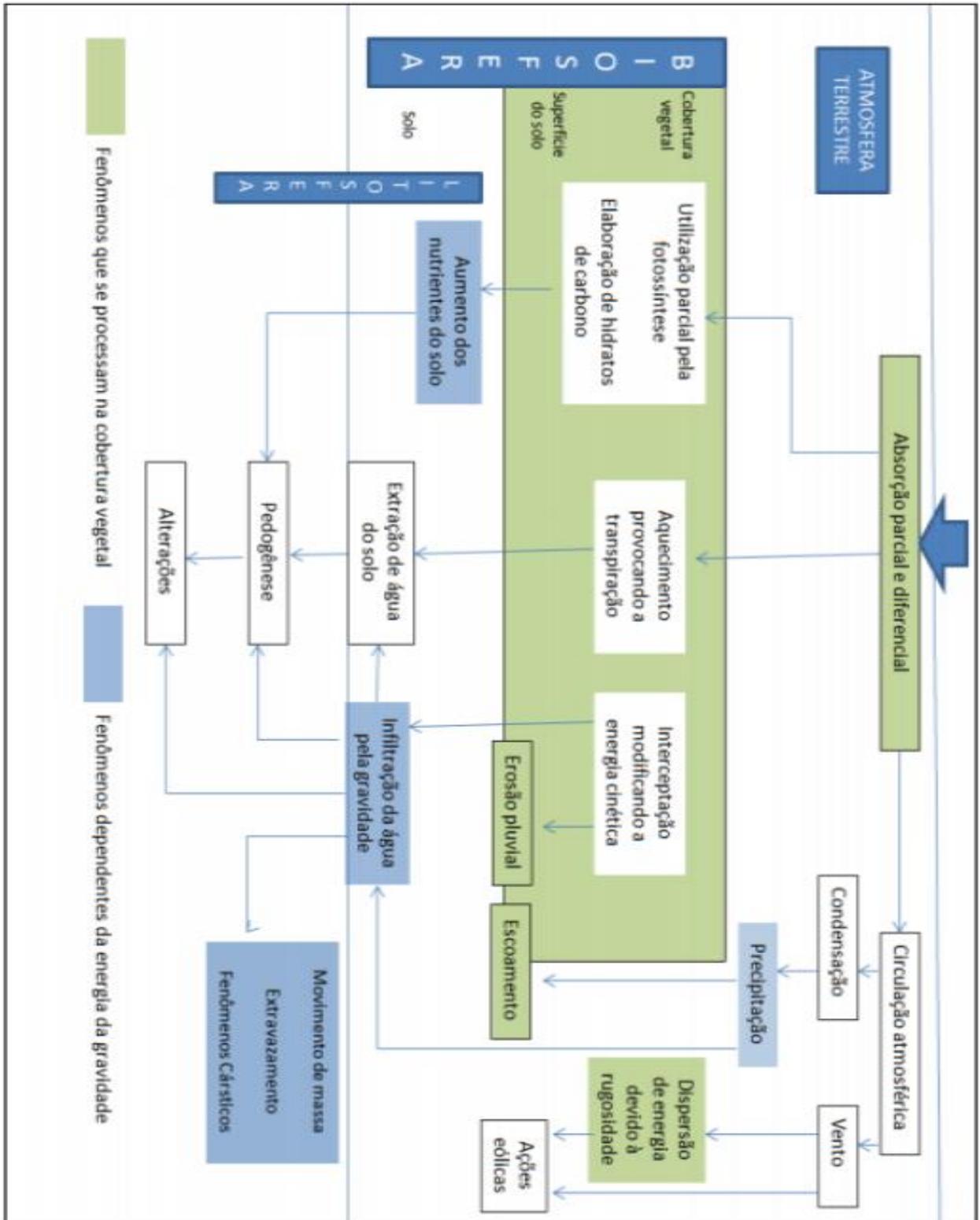
A contribuição da Teoria da Ecodinâmica proposta por Tricart (1977) está sobretudo na compreensão da situação de vulnerabilidade dos sistemas ambientais. Ao propor o Modelo da Ecodinâmica, Tricart (1977) estabelece como possibilidade de estudo a dinâmica dos ambientes, com enfoque ecológico, que, dependendo das condições específicas de cada lugar, pode gerar pedogênese e morfogênese e, a partir disso, os ambientes poderão ser categorizados como estáveis, intergrades ou instáveis.

A ideia da análise do ambiente a partir dos processos decorrentes na superfície terrestre, as trocas de energia resultantes desses processos e a necessidade de se considerar esses aspectos na pesquisa científica é indispensável para resolução e compreensão de problemas ambientais. O conceito de sistema constitui no melhor instrumento lógico para estudo dos problemas do meio ambiente, ao possibilitar o estudo integrado dos atributos ambientais.

O diagrama representado na Figura 2 apresenta como Tricart (1977) relaciona os múltiplos sistemas e a interferência destes na superfície terrestre, destacando a zona de contato entre três sistemas: atmosfera, litosfera e biosfera.

Tricart (1977), Bertrand (1972) e Sotchava (1977) traçam o caminho metodológico para o estudo dos sistemas na Geografia. Embora haja diferenças da abordagem, a principal característica que os identifica é a questão ecológica, apesar de Sotchava introduzir a temática humana como importante e atuante sobre o sistema.

Figura 2 - Diagrama representativo da Ecodinâmica de Tricart (1977)



Fonte: Modificado de Tricart (1977).

Nos últimos 40 anos, o planejamento do espaço (seja urbano, ambiental ou regional), evidencia a necessidade de gerir os ambientes de forma eficiente e eficaz. A compreensão do mundo com a visão sistêmica possibilita aliar múltiplas variáveis para a compreensão do espaço. E para fins de planejamento é imprescindível combinar aspectos físicos e humanos para que seja realizada uma intervenção baseada nas necessidades reais dos locais a serem planejados.

Monteiro (1996, 2000, 2008) e Christofolletti (1969) contribuem para associar as atividades de planejamento e a metodologia da abordagem sistêmica. Para Monteiro (1996), o geossistema seria uma abordagem integradora com vistas a facilitar a ligação entre os aspectos naturais e fatos sociais e humanos. “A perspectiva "sistêmica" seria uma racionalização científica daquilo que a "paisagem" ou a "região" sugerem de modo quase que induzido e impreciso” (Monteiro, 1996, p. 78).

Para Monteiro (2008) um estudo que tenha esta abordagem deve definir um problema a ser solucionado, tendo este que elencar todos os componentes, fatores relacionados e variáveis dentro do geossistema. A necessidade de planejamento considerando as relações estabelecidas dentro de um determinado espaço deve ser a mais ampla possível, mas a definição de um objetivo a ser alcançado poderá direcionar as ações. O planejamento para Monteiro (2008) é relevante apesar de suas inegáveis limitações e dificuldades, principalmente nas cidades.

Em relação a cidade enquanto espaço humanizado e artificial, centro do espaço humanizado em grandeza morfológica e complexidade funcional, inverteu o sistema coerente vigente de oposições cidade-campo. “Os espaços naturais, em vias de crescente retração, são agora valorizados como alívio as agruras da vida urbana. São valorizados como espaços de lazer e turismo” (Monteiro, 2008, p. 129).

Segundo Monteiro (2008) estudar a cidade em enquadramento geográfico é relacionar aspectos naturais e culturais, variáveis naturais e

socioeconômicas, a partir da humanização do espaço e do tempo. Além disso, a qualidade ambiental nas cidades brasileiras está íntima e indissolivelmente ligada à qualidade social. Portanto, estudos dos espaços urbanizados devem associar estas duas esferas presentes nas cidades, acrescentada a esfera econômica.

Acrescenta-se a esta revisão conceitual a contribuição de Ross (1994), que ao discutir a fragilidade de ambientes naturais e antropizados destaca que a fragilidade dos ambientes naturais face às intervenções humanas é maior ou menor em função de suas características genéticas.

A princípio, salvo algumas regiões do planeta, ambientes naturais mostram-se ou mostravam-se em estado de equilíbrio dinâmico até o momento em que as sociedades humanas passaram progressivamente a intervir cada vez mais intensamente na exploração dos recursos naturais (Ross, 1994). Há, portanto, uma convergência dos autores na articulação de elementos naturais e humanos para análises do espaço, em uma abordagem sistêmica.

No âmbito da aplicação da concepção sistêmica na Geografia podem ser citados trabalhos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na Série de Estudos e Pesquisas em Geociências publicados no decorrer da década de 1990.

Os trabalhos do IBGE são de dimensão regional, considerando bacias hidrográficas relevantes como, por exemplo, a Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba. A série totaliza um número de 17 publicações, que possuem a mesma metodologia e fundamentação teórica na abordagem sistêmica. Os manuais do IBGE estão organizados em quatro etapas: caracterização da área de estudo, zoneamento ambiental, vulnerabilidade ambiental e pressão antrópica, tratando, sobretudo, de variáveis como: atividades econômicas, uso da terra, urbanização e densidade populacional.

O Macrozoneamento Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba (Rivas, 1996) é um manual que faz parte da Série de Estudos e

Pesquisa em Geociências, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Publicado em 1996, o referido manual utilizou como base cartográfica os dados obtidos a partir do Projeto Radam Brasil, executado nas décadas de 1970 e 1980.

A região natural da bacia do Rio Parnaíba contempla as seguintes cartas do Projeto RADAM: folhas SB.23 – Teresina e parte da Folha SB.24 – Jaguaribe, SA.23 São Luís e parte da folha SB 2425 – Jaguaribe/Natal, SC 24/25 – Aracaju/ Recife e folha SC.23 – Rio São Francisco. Utilizaram-se imagens de Radar SLAR 1976 e imagens LANDSAT TM (1987 e 1988), na escala de 1:250.000 (Rivas, 1996).

Este estudo tem como indicativo metodológico o enfoque sistêmico, tendo como referencial os trabalhos de Bertrand (1968) e Tricart (1977) para integração de componentes naturais e socioeconômicos. Desse modo, este trabalho pode ser considerado um exemplo da aplicação do paradigma dos sistemas em estudos técnicos de caráter geográfico, considerando as escalas de análise e adequando as variáveis que compõem cada objeto estudado.

Conforme a Figura 3, o estudo foi ordenado conforme as seguintes fases: Fase 1 –compreende a obtenção dos dados, atributos e propriedades componentes físicos e bióticos) tendo como base estudos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos, fitológicos, indicadores socioeconômicos, e as formas de uso e ocupação do solo; Fase 2 - definição dos geossistemas: identificação das relações de causa e efeito na dinâmica e na estrutura dos espaços, ou seja, a correlação entre os diversos componentes e atributos que geraram zonas específicas de diferenciação das áreas no entorno; Fase 3 – Ecodinâmica ou identificação da vulnerabilidade natural do ambiente e das respectivas pressões antrópicas que definem a qualidade ambiental (Rivas, 1996).

A primeira etapa envolve coleção de dados e informações sobre condições físicas e bióticas a partir de estudos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos, da vegetação, indicadores socioeconômicos, e as

formas de ocupação e uso do solo. Na segunda etapa é feita a identificação na estrutura e dinâmica para organização do zoneamento ambiental, inspirado nas unidades taxonômicas de Bertrand (1972), nesta etapa foi possível dividir as áreas de estudo em unidades homogêneas a partir da ordem de grandeza: região, geossistemas e geofácies.

A partir da compartimentação morfoestrutural e da compartimentação morfopedológica é feito o zoneamento ambiental que resultou em seis regiões fitoecológicas correspondentes a savana (cerrado), estepe (caatinga), floresta ombrófila aberta, floresta estacional decidual, áreas de formação pioneira e áreas de tensão ecológica.

Dentro das zonas ambientais anteriormente citadas, em seguida são definidos dezenove geossistemas, são eles: Chapada do Alto Parnaíba, Vãos do Alto Parnaíba, Cabeceira do Parnaíba, Tabuleiros de Balsas, Chapada das Mangabeiras, Tabuleiros do Canindé, Depressão de Crateús, Depressão de São Raimundo Nonato, Chapada do Araripe, Cuesta da Ibiapaba, Cuesta Bom Jesus do Gurguéia, Cabeceiras do Gurguéia, Chapada da Tabatinga, Vale do Gurguéia, Tabuleiros do Parnaíba, Baixada de Campo Maior, Superfície Litorânea e Delta do Parnaíba. A próxima etapa consistiu na identificação da vulnerabilidade natural do ambiente baseado na Ecodinâmica de Tricart (1977).

A análise da dinâmica por geofácies permitiu avaliar os riscos potenciais em cada uma delas a partir do estudo das características do relevo como declividade das encostas, intensidade da dissecação e processos morfogenéticos e ainda nos atributos das associações dos solos, em condições climáticas relativas à concentração das chuvas, nos atributos litológicos e na capacidade de proteção da vegetação à erosão do solo. (Rivas, 1996).

A dinâmica dos ambientes ou ecodinâmica, que definirá a qualidade ambiental, é classificada a partir dos seguintes parâmetros: de muito fraca, fraca, moderada, forte e muito forte. Aqueles geossistemas com

vulnerabilidade muito fraca são os 38 que apresentam grande resistência à ação do processo de degradação.

Os geossistemas com vulnerabilidade fraca também apresentam resistência, os processos erosivos são responsáveis pelo transporte de material fino. Nos ambientes de vulnerabilidade moderada a atuação dos processos erosivos acabam provocando a perda do horizonte superficial pela ação da erosão laminar em sulcos.

Em ambientes com vulnerabilidade forte os processos erosivos são mais intensos pela ação generalizada tanto do escoamento difuso quanto do concentrado, há ainda a relação com processos de sedimentação, remoção e aporte de material sedimentar decorrentes da intensidade e capacidade do escoamento fluvial. E por fim, em ambientes com vulnerabilidade muito forte compreende a intensidade dos processos erosivos que acabam por limitar a formação de solo na área. A última etapa envolveu a definição de classe de pressão antrópica decorrentes do uso da terra naquele momento do estudo.

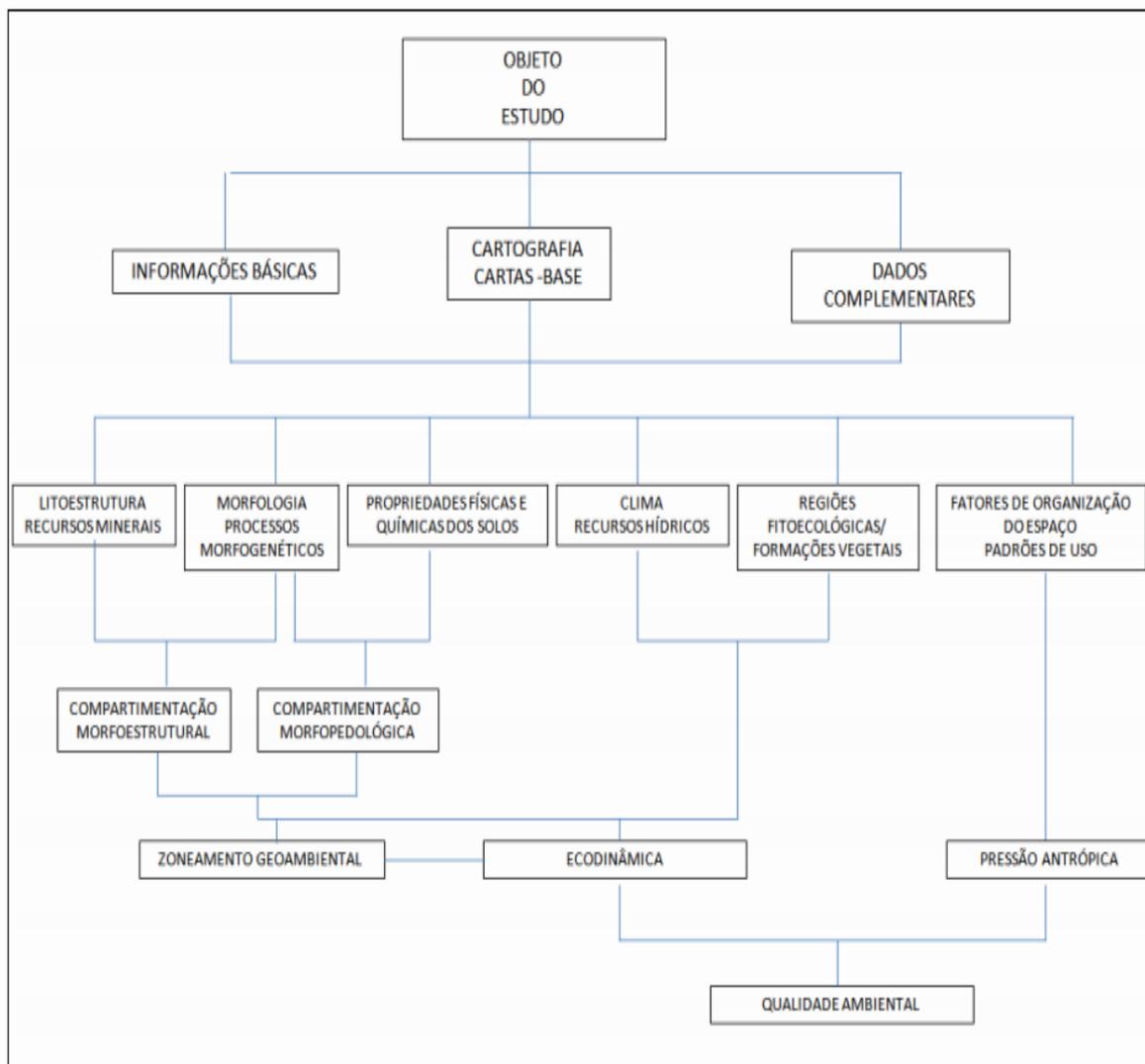
Os padrões vigentes estão diretamente ligados à magnitude das atividades econômicas, que variam de acordo com as áreas de estudo e seus impactos. A partir do cruzamento entre a vulnerabilidade ambiental e a pressão exercida pelas atividades produtivas, foram definidos os tipos de situações dos ambientes. Neste caso, foram definidas seis categorias: Estabilizado, Satisfatório, Tolerável, Ruim, Grave e Crítico (Rivas, 1996).

A situação ambiental, baseada na pressão antrópica dos geossistemas, é dada pela relação direta entre a vulnerabilidade ambiental e as atividades humanas, ou seja, do uso e ocupação do solo. São definidas como categorias da situação da ambiência: ambientes em situação ambiental estabilizado, satisfatório, tolerável, grave e crítica.

A finalidade do estudo é definir a qualidade ambiental dos geossistemas, com avaliação da vulnerabilidade (dinâmica dos ambientes) e a análise das formas de uso de cada geossistema, considerando os atributos físicos de cada

um deles. A metodologia empregada tem como embasamento teórico a teoria geral dos sistemas, com enfoque especialmente nos modelos de Bertrand (1968) e Tricart (1977).

**Figura 3 - Metodologia do Macrozoneamento Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba (1996)**



Fonte: Modificado de Rivas (1996).

O exemplo destacado, realizado em escala regional, apresenta-se aplicável aos espaços urbanos, devendo ser realizadas adequações de acordo com a natureza do objeto de estudo, permitindo a integração de

elementos naturais e humanos, para atender a problemas específicos no ambiente urbano.

## **METODOLOGIA DA PESQUISA**

A metodologia do presente trabalho baseou-se nos métodos dedutivo e sistêmico. O primeiro, pelo uso de princípios de leis físicas, tais como a forma geométrica como potencializadora ou inibidora de processos naturais específicos, e a lei da gravidade como agente de modificação das formas de relevo. Já o segundo método, sistêmico, baseia-se na ideia de “conjunto”, considerando o objeto de estudo um sistema dependente de outros sistemas, que se relacionam e formam o sistema de estudo, através da associação de fatores tanto naturais quanto antrópicos. As etapas metodológicas desenvolvidas, conforme é apresentado na Figura 4, foram:

- 1ª etapa: Caracterização geral da área de estudo considerando aspectos físicos e humanos. Foi realizado também um resgate histórico da formação do espaço urbano e da situação da gestão ambiental da cidade de Teresina, com base no contexto da Agenda 2015 – Plano de Desenvolvimento Sustentável de Teresina (2006);

- 2ª etapa: Zoneamento ambiental segundo as sub-bacias hidrográficas que compõem a cidade de Teresina, totalizando um grupo de 70 (setenta) unidades ambientais (analisadas à luz do conceito de “região natural elementar” e com base no Plano de Drenagem Urbana de Teresina 2010);

- 3ª etapa: Identificação e levantamento de algumas variáveis físico-naturais das sub-bacias em estudo: a) como forma da bacia e análise e amplitude altimétrica;

- 4ª etapa: Identificação e levantamento de algumas variáveis humanas das sub-bacias em estudo: como uso da terra e taxa de ocupação da terra;

- 5ª etapa: Elaboração da matriz de resultados considerando os quatro indicadores principais: forma da bacia, amplitude altimétrica, uso da terra e taxa de ocupação da terra. Esta análise foi realizada por meio do software Microsoft Excel;

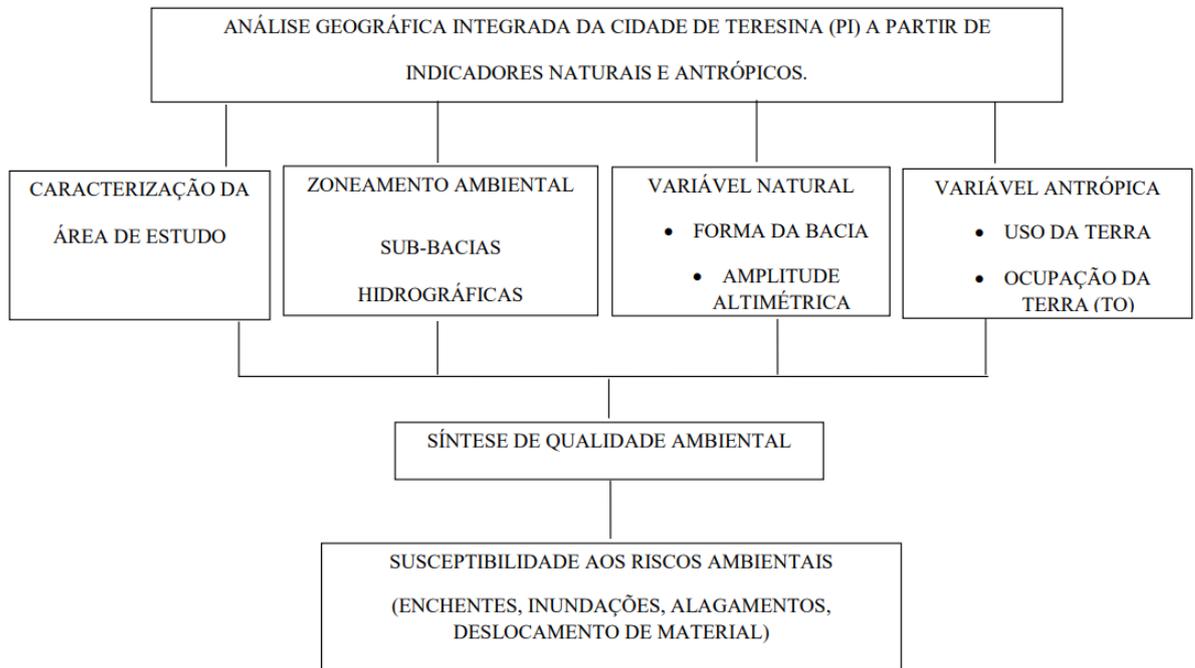
- 6ª etapa: Elaboração de síntese do grau de susceptibilidade natural por sub-bacias hidrográficas a partir da soma dos indicadores, ordenando as respectivas unidades ambientais em três categorias: nível de susceptibilidade máximo, médio e mínimo. Para atender este objectivo, foram usados os mesmos parâmetros estabelecidos para os indicadores em análise a classificação de acordo com susceptibilidade aos riscos ambientais das unidades estudadas foi: 1. Mínimo; 2. Médio; 3. Máximo.

O nível de susceptibilidade baixo corresponde a áreas em que as intervenções podem ser voltadas para ações de educação ambiental, consolidação de áreas de proteção e sistematização de coleta seletiva de resíduos. O nível de susceptibilidade médio corresponde a áreas que precisam ser monitoradas constantemente e que podem necessitar de adequações no sistema de drenagem construído.

O nível de susceptibilidade máximo são áreas que apontam para a necessidade de medidas estruturais significativas para drenagem da água, portanto, que demandam mais recursos financeiros. Entende-se como susceptibilidade a riscos ambientais a condição de determinado espaço, considerando aspectos físicos e a ação antrópica, de ter suas características alteradas dependendo do grau de impacto dos eventos sobre o respectivo espaço.

Assim, um determinado espaço com características físicas e pressão antrópica específicas tem o risco de alteração maior ou menor de acordo com a interação destes aspectos. As cartas foram elaboradas tendo como base cartográfica a divisão por sub-bacias hidrográficas da cidade de Teresina que consta no Plano de Drenagem Urbana de Teresina (2010) utilizando o software ArcGis 10.1.

**Figura 4 - Procedimentos metodológicos desenvolvidos nesta pesquisa**



Fonte: Elaboração própria

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como primeira etapa desta pesquisa, foi realizado o zoneamento da área de estudo. Organizar o espaço a partir da diferenciação das suas áreas/subáreas específicas é uma característica destacada pela ciência geográfica. O presente trabalho parte da premissa teórica de que integrar múltiplas características, correlacioná-las, e compará-las com as diferentes situações regionais, conduz a diversos níveis de síntese da paisagem.

O zoneamento ambiental da cidade de Teresina, considerando como unidades geográficas, as sub-bacias hidrográficas que compõem a cidade, obteve como resultado a definição das unidades ambientais de Teresina em função do relevo e da hidrografia da cidade. Foram compartimentados três conjuntos considerando a direção de escoamento das águas pluviais: um

compartimento com ligação direta ao Rio Parnaíba, e outros dois compartimentos com ligação ao Rio Poti.

Estes compartimentos são categorizados conforme o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU) (Teresina, 2010): *Margem Direita do Rio Parnaíba, Margem Esquerda do Rio Poti e Margem Direita do Rio Poti*. A zona central urbana de Teresina é dividida na direção Sul-Norte pelo Rio Poti, com uma área que se estende por toda a margem direita do Rio Poti, e uma outra porção que divide a cidade entre dois rios, na área do encontro dos rios, o divisor das bacias do Rio Parnaíba e do Rio Poti é perceptível, através de longos trechos em área próxima ao alinhamento da Av. Miguel Rosa).

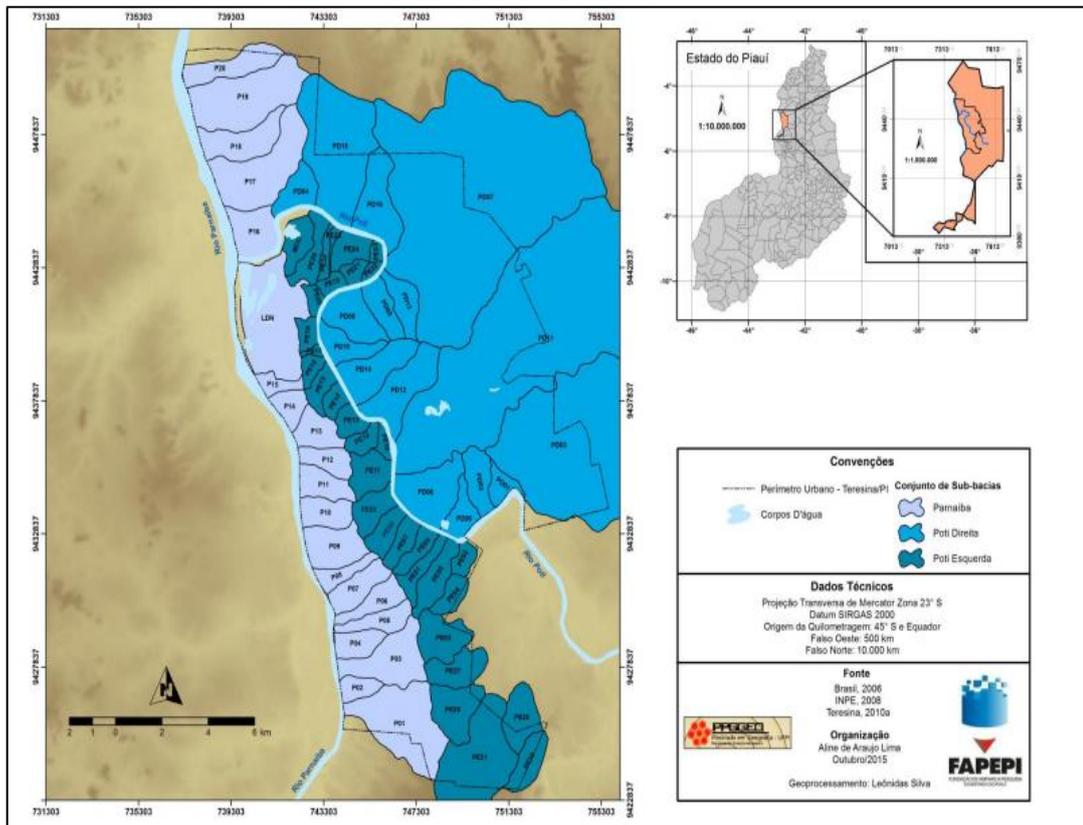
O zoneamento geoambiental do espaço urbano de Teresina resultou em um total de 70 unidades ambientais (sub-bacias hidrográficas). No conjunto que compreende a Margem Direita do Rio Parnaíba, ~~são~~ foram compartimentadas 20 sub-bacias; na Margem Esquerda do Rio Poti o total de 32 sub-bacias; e na Margem Direita do Rio Poti 16 sub-bacias. Ainda, foram consideradas nesta compartimentação, como unidades ambientais, duas lagoas localizadas na zona norte da cidade.

Considerando o “fator forma” destas unidades ambientais, 32 sub-bacias apresentam forma alongada, o que parece ser uma característica facilitadora para drenar as águas. As 32 referidas sub-bacias são: PE01, PE05, PE06, PE07, PE08, PE09, PE12, PE15, PE17, PE18, PE19, PE24, PE26, PE27, PE32, PD02, PD09, PD12, PD13, PD15, P07, P08, P09, P10, P11, P12, P14, P15, P17, P18, P19 e P20. Outras 13 sub-bacias possuem forma triangular A (são elas: PE10, PE20, PE25, PD01, PD04, PD05, PD06, PD08, PD10, PD14, PD16, P04 e P02).

Outras 12 sub-bacias apresentam forma do tipo triangular B, o que parecer ser uma características que permite dificuldade de escoamento devido a saída estreitada de material. As 12 referidas sub-bacias são: PE16, PE21, PE29, PE31, PD03, PD07, PD11, P01, P03, P05, P06 e P13. As restantes 11 sub-bacias apresentam forma circular, portanto, com maior possibilidade de

acúmulo de águas pluviais (são elas: PE02, PE03, PE04, PE11, PE13, PE14, PE22, PE23, PE28, PE30 e P16).

**Figura 4 - Zoneamento Geoambiental segundo as Sub-Bacias Hidrográficas da cidade de Teresina – PI**



Fonte: Brasil (2006); INPE (2008); Organização: Aline de Araújo Lima (2015).  
Geoprocessamento: Leonidas Silva (2015).

As Lagoas do Norte e a Lagoa do Mocambinho, por produzirem uma ambiência do tipo lagunar, com tendência natural ao acúmulo de água, foram consideradas unidades ambientais com elevada probabilidade de estarem compartimentadas na mesma categoria das sub-bacias com forma circular.

Quanto à amplitude altimétrica, ou seja, a diferença de entre altitude máxima e mínima no contexto- das sub-bacias hidrográficas, aquelas áreas com amplitude altimétrica até 40 metros são consideradas com 'nível de prioridade baixo'. Estas áreas correspondem a- porções relativamente planas

ou com relevo levemente ondulado, sendo consideradas, portanto, áreas com suscetibilidade a erosão reduzida.

As áreas com amplitude altimétrica entre 41 a 70 metros são consideradas com 'nível de prioridade moderado'. São áreas com declividade moderada o que acarreta em transporte significativo de sedimentos, entretanto estas áreas não possuem impactos considerados elevados. As áreas com amplitude altimétrica acima de 70 metros são consideradas com 'nível de prioridade alto'. Considerando a diferença altimétrica, são áreas com declividade acentuada do terreno, —com possibilidade de maior carga de material transportado.

Das 70 unidades analisadas, 21 unidades apresentam amplitude altimétrica acima de 70 metros, sendo áreas com grande capacidade de transporte de material. Outras 25 unidades apresentam amplitude altimétrica moderada, e as demais 22 unidades apresentam amplitude altimétrica baixa com pouca capacidade de transporte.

No que diz respeito aos usos dados a estas áreas pelas atividades humanas, (considerando as tipologias de uso do solo: i. agrícola, ii. áreas livres, iii. comercial, iv. institucional, v. residencial), obteve-se como resultado: A. 1 unidade está predominantemente enquadrada em uso do tipo área livre; B. 7 unidades possuem uso agrícola; C. 7 unidades analisadas possuem uso predominantemente comercial; D. 2 unidades podem ser enquadradas em uso industrial; E. 12 unidades estão enquadradas em uso do tipo institucional (serviços públicos); F. 39 unidades são enquadradas em uso predominantemente residencial (56% das sub-bacias hidrográficas têm uso predominantemente residencial).

Quanto ao grau de ocupação foram definidas três classes associadas diretamente aos usos e diferenciação de áreas em relação a condição natural, ou seja, relativa à presença ou não de cobertura vegetal o que remete a intensidade de cobertura da terra por elementos artificiais.

Neste sentido o grau de ocupação da terra por sub-bacias hidrográficas foi agrupado conforme os resultados obtidos em: Baixo: grau de ocupação baixo, entre 0 a 33% de taxa de ocupação (associados aos usos estão relacionados a áreas institucionais tais como áreas livres e de pesquisa, e agrícolas, estas apesar da atividade potencialmente provocadora de transporte de material em períodos entre plantios, constata-se a reduzida construção de elementos artificiais); Moderado: entre 34% e 66%: grau de ocupação moderado (está associado aos usos industriais já que a cidade objeto de estudo não tem como principal atividade econômica a indústria, esta mostra-se de forma incipiente e esparsa quando se trata de distribuição espacial); Alto: grau de ocupação elevado, acima de 67% (trata-se de áreas associadas ao uso residencial, comercial e institucional - depósito de resíduos, tratamento de efluentes, tratamento de água - está ligado especialmente à infraestrutura construída para abrigar estas tipologias de serviços ambientais).

A taxa de ocupação está diretamente associada à questão regional do ciclo hidrológico. O processo físico de infiltração que compõe este ciclo é comprometido quando há compactação dos terrenos já que parte da água que infiltra alimenta os mananciais subterrâneos e que conseqüentemente alimentam os corpos hídricos superficiais, principalmente os rios. Este componente interfere na drenagem tanto do Rio Poti quanto do Rio Parnaíba assim como os rios de menor porte.

Como resultados tem-se: 53 unidades analisadas apresentam taxa de ocupação acima de 67%, têm, portanto, alto grau de ocupação da terra; 5 unidades analisadas apresentam de 34% a 66%, apresentando grau moderado de ocupação, e 13 unidades analisadas apresentam no máximo taxa de 33% com isso apresenta baixo grau de ocupação.

Analisando este indicador isoladamente 76% das sub-bacias hidrográficas têm elevado grau de compactação da terra seja por edificações, asfaltamento ou calçamento, dificultando o processo de infiltração da água, o que é preocupante tendo em vista a necessidade e a

importância deste processo para auxiliar o escoamento e drenar as bacias subterrâneas.

A integração destes elementos nas sub-bacias hidrográficas, permitiu concluir que das 70 unidades geográficas 24 unidades estão enquadradas na categoria de nível máximo de intervenção que englobam ações estruturais, incluindo as Lagoas do Norte e a Lagoa do Mocambinho; 36 estão enquadradas na categoria de nível de susceptibilidade médio; e 10 sub-bacias estão enquadradas em nível de susceptibilidade mínimo pela baixa ocupação, recomenda-se que estas áreas sejam consolidadas como áreas de preservação permanente para amortização e preservação dos corpos hídricos principais e fins de lazer e educação ambiental que poderá proporcionar qualidade de vida para a população com áreas livres naturais.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A presente pesquisa aliou aspectos da geografia física e da geografia humana, do planejamento e da gestão ambiental, da engenharia ambiental, da geomorfologia, para a compreensão do espaço urbano que envolve Teresina e seus habitantes.

O objeto de pesquisa deste estudo (Teresina, PI) passa por transformações significativas na sua geografia desde a década de 1940, com aumento significativo do número de pessoas residentes e intervenções estruturais na cidade, que tem afetado a sua dinâmica natural. A morfologia da cidade, ligada às dinâmicas dos rios Poti e Parnaíba, evidenciam a necessidade de adaptar-se a este condicionante natural ambiental.

Com a integração dos indicadores analisados neste trabalho, verificou-se que a cidade possui uma morfologia que favorece o escoamento das águas (67% das unidades ambientais analisadas possuem formas favoráveis ao escoamento, com 35 das 70 unidades com forma alongada/rectangular). No total, 56% das sub-bacias hidrográficas locais têm uso predominantemente

residencial, geralmente associado a outros tipos de uso (o que eleva a pressão sobre a cidade, já o uso residencial acarreta em mais pessoas num local específico, proporcional à quantidade de resíduos sólidos e líquidos gerados).

Já 76% das sub-bacias hidrográficas têm elevado grau de compactação da terra seja por edificações, asfaltamento ou calçamento, dificultando o processo de infiltração da água, fato preocupante tendo em vista a importância destes processos para auxiliar o escoamento e drenar as bacias subterrâneas.

Dessa forma, conclui-se que, apesar da dinâmica natural ser favorável para que o excesso de água escoe de forma satisfatória, a ação humana interfere negativamente neste processo, além de afetar o ciclo hidrológico local (diminuindo a infiltração e acelerando o escoamento superficial). Nesse sentido, fazem-se necessárias intervenções adequadas no espaço urbano da cidade, segundo cada necessidade específica.

A pesquisa aqui desenvolvida apresenta a possibilidade da análise da cidade de Teresina integrando seus aspectos naturais e humanos, para responder questões ligadas a relação urbano-ambiental, denominada de análise geográfica integrada (zoneamento, dinâmica natural e pressão antrópica).

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Francisco A. Veloso Filho, pela capacidade de orientar de forma ética e comprometida, amparado pelo seu profundo conhecimento científico), primando pela qualidade do trabalho científico, e respeito aos modelos e manuais clássicos, proporcionando uma importante base conceitual e metodológica aos jovens pesquisadores. Eu, Aline Lima, agradeço imensamente pela sua valiosa orientação durante a Graduação e o Mestrado.

## REFERÊNCIAS

BERTALANFFY, Ludwig von. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1973.

BERTRAND, Georges. Paisagem e Geografia física global. Esboço metodológico. Tradução de Olga Cruz. **Caderno de Ciências da Terra**, Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, São Paulo, n. 13, 1972.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Revista de Geomorfologia**, Campinas, v.18, n.9, p.35-64, 1969.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Geossistemas**: a história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2000.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Geografia sempre**: o homem e seus mundos. Campinas: Edições Territorial, 2008.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Os Geossistemas como Elemento de Integração na Síntese Geográfica e Fator de Promoção Interdisciplinar na 128 Compreensão do ambiente. **Revista de Ciências Humanas**, Florianópolis, v.14, n.19, p.67-101, 1996.

RIVAS, Margarete Prates (coord.). **Macrozoneamento Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba**. Rio de Janeiro: IBGE, 1996.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 8, p. 63-74, 1994.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise e síntese na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 9, p. 65-75, 1995.

SOTCHAVA, Viktor Borisovich. **O estudo de geossistemas**. São Paulo: Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1977.

SOTCHAVA, Viktor Borisovich. **Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre**. São Paulo: Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1978.

TERESINA. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina – 2010**. Teresina: Concremat Engenharia, 2010a.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.