



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE EDUCAÇÃO-CEDUC
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOAMBIÊNCIA E
RECURSOS HÍDRICOS DO SEMIÁRIDO**

OTÁVIA KARLA DOS SANTOS APOLINÁRIO

**ANÁLISE DA DINÂMICA DA PAISAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIACHO DA DEPURADORA: uma contribuição para o planejamento ambiental**

**CAMPINA GRANDE – PB
2012**

OTÁVIA KARLA DOS SANTOS APOLINÁRIO

**ANÁLISE DA DINÂMICA DA PAISAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIACHO DA DEPURADORA: uma contribuição para o planejamento ambiental**

Monografia apresentada ao
Departamento de Geografia da
Universidade Estadual da Paraíba, em
cumprimento dos requisitos necessários
para a obtenção do título de
Especialista em Geoambiência e
Recursos Hídricos do Semiárido.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Nadjacleia Vilar Almeida

Campina Grande-PB
2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL-UEPB

- A643a Apolinário, Otávia Karla dos Santos.
Análise da dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do riacho da depuradora [manuscrito] : uma contribuição para o planejamento ambiental / Otávia Karla dos Santos Apolinário. – 2012.
64 f.: il. color.
- Monografia (Especialização em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Educação, 2012.
“Orientação: Prof. Dr. Nadjacleia Vilar Almeida, Universidade Federal da Paraíba”.
1. Geografia urbana. 2. Meio ambiente. 3. Geoprocessamento. I. Título.
21. ed. CDD 621.367

TERMO DE APROVAÇÃO

OTÁVIA KARLA DOS SANTOS APOLINÁRIO

ANÁLISE DA DINÂMICA DA PAISAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DA DEPURADORA: uma contribuição para o planejamento ambiental

Monografia apresentada ao Departamento de Geografia da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento dos requisitos necessários para a obtenção do título de Especialista em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido.

Aprovada em 24/07/2012.

BANCA EXAMINADORA



Prof^a Dr^a Nadjacéia Vilar Almeida / UFPB
Orientadora



Prof. Dr^a. Josandra Araújo Barreto de Melo / UEPB
Examinadora interna



Prof^a Dr^a Janaína Barbosa da Silva / UFCG
Examinadora externa

AGRADECIMENTOS

À minha mãe e irmã, Sueli Apolinário e Karina Apolinário, que apesar de não estarem presentes fisicamente me deram a oportunidade de realização desse trabalho;

À meu Padrasto, Eldonor Amorim Coelho, por ter me instigado a dar os primeiros passos no mundo do conhecimento científico;

Aos meus amigos Elisabete, Valderban e Carlange pelo apoio moral, por estarem sempre na torcida;

Aos meus colegas de curso Taciane, Lidiane, Karenine, Taisa, Robson, Anacleto, Wilton e Ângelo, pela troca de conhecimento, pelo companheirismo nas horas difíceis e nas horas de alegrias;

Aos professores do curso pelos ensinamentos: Joana D'arc, Lédiam, Alexandre, Margarida, Gleibson, Hélio, Graça, Faustino e Hermes;

Ao professor João Damasceno por ter me dado oportunidade de entrar no programa e pela confiança que me foi conferida;

À Nadjacleia Vilar Almeida por mais uma vez acreditar em mim, me orientando na UEPB desde a graduação, me passando seus conhecimentos. Também agradeço pelo companheirismo, pela amizade, pela cumplicidade e por estar sempre comigo nas horas mais difíceis.

À Banca de Examinadores: Dr. Josandra A. B. de Melo e a Dr. Janaína B. da Silva pela disponibilidade, contribuições e sugestões;

E a todos que colaboraram direta e/ou indiretamente com esse trabalho;

À todos meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A bacia do Riacho da Depuradora é uma bacia intermunicipal que compreende os municípios de Puxinanã, Lagoa Seca, Queimadas e Campina Grande, no Estado da Paraíba com extensão de 37,14 Km². A Bacia é predominantemente urbana e grande parte de sua área está inserida no município de Campina Grande. O objetivo principal dessa pesquisa foi analisar a dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do Riacho da Depuradora, dessa forma, a busca de uma análise sistêmica e integrada da paisagem foi o eixo norteador da pesquisa. Assim, para entender a dinâmica natural da bacia foram realizadas análises fisiográficas, morfométricas e a caracterização do uso e ocupação do solo identificando os principais impactos decorrentes do processo de ocupação. Utilizou-se imagem de radar (SRTM), imagens do software Google Earth e informações coletadas em campo com o registro de coordenadas geográficas no Sistema de Posicionamento Global-GPS utilizadas para validação dos mapeamentos. A geração dos dados e confecção dos mapas foi realizada no software ArcGis 9.1. A identificação do alto, médio e baixo curso da bacia foi subsidiada pela análise hipsométrica. Os cursos da bacia foram analisados separadamente destacando-se a influência da declividade nos usos existentes, observando-se dessa forma um uso agropecuário predominante para o alto curso, uso urbano no médio curso e para o baixo curso, uso urbano com destaque para o desenvolvimento industrial. Sendo assim, ressaltam-se os impactos decorrentes dos diferentes usos e as consequências ao meio ambiente e a população que nela vive.

Palavras chave: Paisagem, Semiárido, Campina Grande, Geoprocessamento.

ABSTRACT

The basin stream of Depuradora is a basin intermunicipal which comprises the municipalities of Puxinanã, Lagoa Seca, Queimadas and Campina Grande, in the state of Paraíba with extension of 37.14 Km². The Basin is predominantly urban and large part of its area is inserted in the municipality of Campina Grande. The main objective of this research was to analyze the landscape dynamics of the catchment area the stream of Depuradora, this way, the search for a systemic analysis and integrated landscape was the leading axis of the research. So, in order to understand the dynamics of natural basin analyzes were carried out physiographic, morphometric and the characterization of the use and occupation the soil by identifying the key impacts resulting from the occupation process. We used radar image of (SRTM), images of software Google Earht and information collected in the field with the record of geographical coordinates in Global Positioning System-GPS used for validation of mappings. The generation of data and preparation of maps was performed in software ArcGis 9.1. The identification of high, middle and lower course of the basin was subsidised by hipsometrica analysis. The courses of the basin were analyzed separately highlighting the influence of slope in existing uses, observing that form an agricultural use predominant for the high course, urban use in the middle current and low current, urban use with emphasis on industrial development. Thus, it was stressed the impacts of different uses and the consequences to the environment and the population that lives there.

Key Words: Landscape, semi-arid, Campina Grande, Geoprocessing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Região Semiárida do Brasil.....	12
Figura 2	Relação entre a superfície impermeável e o escoamento superficial.....	17
Figura 3	Localização da Bacia Hidrográfica do Riacho da Depuradora.....	28
Figura 4	Rede de drenagem e Hierarquia Fluvial da Bacia Hidrográfica do Riacho da Depuradora.....	36
Figura 5	Hipsometria e distribuição do alto, médio e baixo curso da Bacia Hidrográfica do Riacho da Depuradora.....	38
Figura 6	Declividade Média da Bacia Hidrográfica do Riacho da Depuradora.....	41
Figura 7	Área alagada no bairro do Velame, baixo curso da Bacia riacho da Depuradora.....	39
Figura 8	Municípios inseridos e área (m ²) ocupada na bacia.....	42
Figura 9	Bairros e respectivas zonas da cidade de Campina Grande inclusos na bacia Hidrográfica do Riacho da Depuradora.....	44
Figura 10	Macrozonas do município de Campina Grande.....	46
Figura 11	Macrozona Urbana do município de Campina Grande.....	47
Figura 12	Zonas Especiais do município de Campina Grande.....	48
Figura 13	Área de agricultura.....	49
Figura 14	Pecuária bovina extensiva.....	49
Figura 15	Ocupação residencial dispersa.....	50
Figura 16^a e 16b	Barreiros na comunidade de Jenipapo.....	51
Figura 17	Agricultura as margens da barragem.....	52
Figura 18	Erosão do solo as margens da barragem.....	52
Figura 19	Extensão da barragem de Jenipapo – Município de Lagoa Seca..	52
Figura 20	Área de proteção e preservação ambiental, no ano de 2005, no bairro do Louzeiro destacada em vermelho.....	53
Figura 21	Área de proteção e preservação ambiental, no ano de 2010, no bairro do Louzeiro destacada em vermelho.....	53
Figura 22	Ocupação urbana às margens do riacho das Piabas (médio curso).....	54
Figura 23	Avanço urbano para o leito do riacho das Piabas.....	55
Figura 24	Inundação do Riacho das Piabas no bairro da Conceição.....	55
Figura 25	Aterramento e impermeabilização do solo no médio curso.....	55
Figura 26^a e 26b	Lixo as margens do riacho das Piabas no bairro da Conceição (médio curso).....	56
Figura 27	Lixo depositado a céu aberto no baixo curso no bairro da Liberdade.....	56

Figura 28	Lixo em uma das nascentes aterradas do baixo curso no bairro da Liberdade.....	56
Figura 29	Sistemas do tipo comportas para barrar água nas inundações.....	57
Figura 30	Batente e calçamento altos para impedir a entrada da água dentro de casa.....	57
Figura 31	Delimitação em branco, Zona Especial de Desenvolvimento Industrial.....	58
Figura 32	Fábrica de Luvas de couro.....	59
Figura 33	Resíduos de couro no solo.....	59
Figura 34	Zona Especial de Desenvolvimento Industrial destacado em amarelo.....	59

LISTA DE QUADRO

Quadro 1	Estágios do desenvolvimento urbano e seus diversos impactos hidrológicos.....	16
Quadro 2	Fontes de poluentes do escoamento superficial urbano.....	18
Quadro 3	Classificação dos valores de densidade de drenagem.....	32
Quadro 4	Bairros da cidade de Campina Grande incluídos na bacia do riacho da Depuradora.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Médias anuais de temperatura e Precipitação para o período de 1961 à 1990 no município de Campina Grande.....	34
Tabela 2	Parâmetros fisiográficos da Bacia Hidrográfica do Riacho da Depuradora.....	35
Tabela 3	Classes de declividade da Bacia Hidrográfica do Riacho da Depuradora.....	39

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	07
1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	09
1.1	A REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA E SUAS CARACTERÍSTICAS..	09
1.2	BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS NO SEMIÁRIDO, IMPACTOS AMBIENTAIS E SUAS CONSEQÜÊNCIAS.....	11
1.3	A ABORDAGEM SISTÊMICA NA ANÁLISE DA PAISAGEM.....	17
1.4	A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ANÁLISE DA PAISAGEM.....	20
1.4.1	Parâmetros Fisiográficos e Morfométricos para Análise de Bacias Hidrográficas.....	21
1.5	A IMPORTÂNCIA DAS NOVAS TECNOLOGIAS NA ANÁLISE AMBIENTAL.....	23
2	MATERIAL E MÉTODO	25
2.1	ÁREA DE ESTUDO	25
2.2	PROCEDIMENTOS E COLETA DE DADOS.....	25
2.2.1	Aspectos Fisiográficos.....	25
2.2.2	Aspectos Morfométricos.....	26
3	RESULTADOS	29
3.1	ANÁLISE FISIAGRÁFICA E MORFOMÉTRICA.....	29
3.2	USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E IMPACTOS AMBIENTAIS.....	35
3.2.1	Alto Curso.....	42
3.2.2	Médio Curso.....	47
3.2.3	Baixo Curso.....	50
	CONCLUSÃO	54
	REFERÊNCIAS	55

INTRODUÇÃO

O uso e ocupação da terra, principalmente em áreas urbanas, é hoje um tema bastante discutido por estudiosos de diversas áreas do conhecimento científico. O mau planejamento urbano e ambiental causam desequilíbrios ambientais e vários problemas sociais. A falta de planejamento na distribuição do uso e ocupação da terra torna a percepção da gravidade do problema mais delicado, pois quando se analisa essa distribuição dentro do contexto de Bacia hidrográfica como unidade de análise da paisagem percebe-se que a sociedade também faz parte de um sistema aberto, de um conjunto de elementos com entrada e saída de matéria e energia, que integrados se inter-relacionam, formando um único sistema.

Analisando a paisagem de uma Bacia hidrográfica é possível perceber a dinâmica das interações entre os elementos físicos, biológicos e sociais que a compõe e que a transforma no tempo e no espaço. Compreender a relação sociedade/natureza e suas interações é fundamental na análise da paisagem. A ação humana produzida e reproduzida em um determinado tempo e um determinado espaço implica mudanças em sua forma e conseqüentemente em sua paisagem.

Seguindo esse arcabouço teórico, o objeto desta pesquisa corresponde a uma Bacia hidrográfica, situada predominantemente no município de Campina Grande, no semiárido da Paraíba, Nordeste brasileiro. A Bacia em estudo possui uma particularidade, pois apresenta dois nomes: em seu alto curso é denominada de riacho das Piabas e a partir do médio em direção ao baixo curso é denominada de riacho da Depuradora. Diante dessa particularidade e considerando que o trecho denominado de riacho da Depuradora apresenta maior extensão optou-se por adotar o nome: Bacia Hidrográfica do Riacho da Depuradora.

A Bacia hidrográfica do riacho da Depuradora está situada na posição nordeste, na região do médio curso da Bacia hidrográfica do rio Paraíba. A Bacia tem abrangência intermunicipal, ocupa uma área de 37,14 km², sendo 22,47 km² correspondentes a zona urbana da cidade de Campina Grande e 14,53 km² a zona não urbanizada¹ e as zonas rurais dos municípios de Puxinanã, Lagoa Seca, Campina Grande e Queimadas.

¹ Zona não urbanizada: área contida no perímetro urbano porém não urbanizada.

Diante do exposto e por a Bacia ter problemas predominantemente urbanos tem-se como objetivo geral: Analisar a dinâmica da paisagem da Bacia hidrográfica do Riacho da Depuradora e os seguintes objetivos específicos: Caracterizar os parâmetros fisiográficos e morfométricos; Analisar o uso e ocupação da terra e sua distribuição espacial; e, Identificar os impactos ambientais decorrentes dos diferentes usos.

O motivo que incentivou a realização da pesquisa foi a observação empírica dos tipos de uso e ocupação da terra na Bacia hidrográfica do riacho da Depuradora, sua distribuição nos diferentes cursos da Bacia e conseqüentemente, os diferentes impactos causados, no alto, médio e baixo curso.

Dessa forma, a estrutura do trabalho se dá da seguinte forma: no primeiro capítulo buscou-se expor o arcabouço teórico-conceitual da pesquisa; no segundo capítulo são percorridos todos os procedimentos técnicos da metodologia do trabalho e o terceiro e último capítulo é apresentado os resultados e da pesquisa.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICO

1.1 A REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA E SUAS CARACTERÍSTICAS

A delimitação do semiárido brasileiro, inicialmente, foi estabelecida através da Lei nº 7.827, de 27 de dezembro de 1989, que criou e estabeleceu as condições de aplicação dos recursos dos Fundos Constitucionais de Financiamento do Norte (FNO), do Nordeste (FNE) e do Centro-Oeste (FCO), e definiu como semiárido:

A região inserida na área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE, com precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm (oitocentos milímetros), definida em portaria daquela Autarquia (inciso IV do art. 5 do Capítulo II Dos Beneficiários). (BRASIL, 2005, p. 01)

Em 2001, o Ministério da Integração Nacional (MI) assumiu a atribuição, antes a cargo da SUDENE, de posicionar-se acerca dos pleitos de inclusão de municípios interessados em beneficiar-se do tratamento diferenciado das políticas de crédito e benefícios fiscais conferido ao semiárido brasileiro. O Ministério da Integração Nacional constatou que o índice pluviométrico como critério da delimitação da região semiárida era insuficiente para abranger todos os municípios que sofrem com a má distribuição e escassez da água (Ibid.).

Em março de 2004, o MI convocou ministérios e instituições envolvidas com as diferentes questões referentes ao semiárido brasileiro e instalou o Grupo de Trabalho Interministerial (GTI) incumbido de redelimitar o espaço geográfico dessa área. Para isso novos critérios foram estabelecidos para realizar com êxito a nova delimitação. E assim o Ministério da Integração Nacional (op. cit., p.03) estabeleceu três critérios:

- I. Precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros;
- II. Índice de aridez de 0,21 a 0,50 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990;
- III. Risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

No ano de 2005, o MI instituiu a nova delimitação do semiárido brasileiro, abrangendo todos os municípios que pertenceram à área da antiga SUDENE e os

municípios do norte de Minas Gerais. É importante frisar que os municípios da região semiárida recebem um bônus de adimplência de 25% dos recursos do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE), enquanto que o restante da região Nordeste recebe 15% desse recurso. A Constituição Federal determina ainda que pelo menos 50% dos recursos do FNE sejam aplicados no financiamento de atividades produtivas em municípios do semiárido. Ou seja, o MI criou a delimitação da região semiárida na intenção de dar subsídios aos municípios inseridos nessa região para que pudessem se desenvolver economicamente e assim mitigar as desigualdades econômicas existentes nas regiões do País (BRASIL, 2005).

A região semiárida brasileira possui uma área total de 982.563 km² constituída de 1133 municípios, abrangendo grande parte de oito estados do Nordeste (Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia) e um estado do Sudeste (Minas Gerais). Desses 1133 municípios que estão inseridos na região semiárida, 170 pertence ao território paraibano, o qual possui 223 municípios ao total, ou seja, 76,2% do número de municípios paraibanos estão dentro do semiárido, totalizando 86,6% do Estado (Ibid.). Dos 170 municípios paraibanos inseridos no semiárido, Campina Grande destaca-se por se o segundo município político-econômico mais importante do Estado.

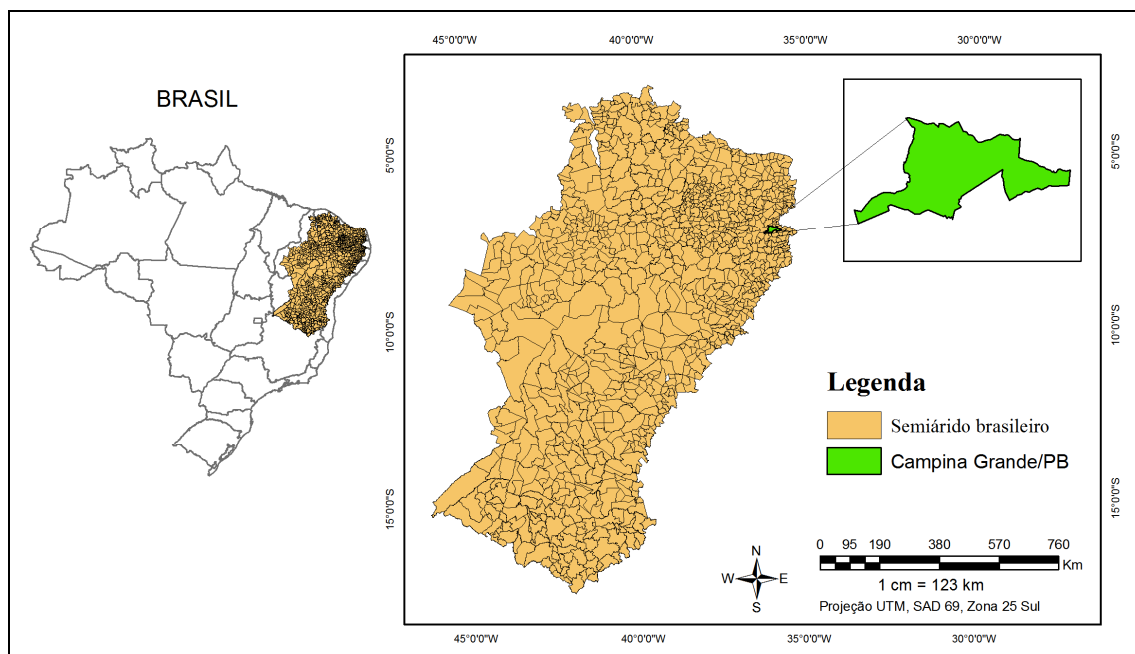


Figura 01 - Região Semiárida do Brasil

Fonte - Shapefile adquiridos no sit <http://mapas.mma.gov.br>

O semiárido brasileiro é bastante heterogêneo no que se refere aos aspectos fisiográficos, compreendendo as mesorregiões do Sertão, Borborema e Agreste. Na geomorfologia dessa região o clima possui uma influência decisiva nos processos esculturadores do relevo, na formação dos solos, e na distribuição da vegetação (Ibid.).

Algumas das características dessa região são os totais pluviométricos que não ultrapassam a isoietas² de 800 mm o que provoca os longos períodos de estiagem, outra característica dessa região são os altos valores de intensidade pluviométrica que causam chuvas torrenciais distribuídas em curto período de tempo (2 a 4 meses no ano).

A hidrografia do semiárido apresenta uma rede de drenagem com baixa densidade e frequência em relação a outras regiões do Brasil. Seus rios são em sua maioria, intermitentes, sazonais aos períodos de chuva. A vegetação é constituída de florestas estacionais, de campos rupestres, de vegetação de cerrado e predominantemente de vegetação de caatinga, o qual compõe o principal bioma do semiárido.

De acordo com Mabessone (1978, *apud* RIBEIRO et al., 2010), a dinâmica do relevo da região semiárida brasileira apresenta-se com grandes extensões planas ou quase planas, que se estendem desde a costa até o interior, com elevação das cotas altimétricas passando gradativamente das áreas sedimentares as áreas de relevo cristalino, o qual predomina na região, apresentado-se dissecado com relevo positivo, morros isoladas, serras e chapadas, depressões periféricas e áreas marginais rebaixadas aos relevos positivos.

Devido suas características naturais com temperaturas médias anuais elevadas, as quais tangenciam 27° a 29°C, solos rasos, vegetação esparsa de caatinga e precipitações irregulares e torrenciais, cujas médias anuais variam entre 400 e 800 mm, o semiárido apresenta alto potencial erosivo perante a ação da chuva (AB'SABER, 1980). Aliado a isso, não se pode esquecer que a região, apesar de suas frágeis condições morfológicas, apresenta um intenso uso do solo, principalmente pela pastagem extensiva de bovinos e caprinos, pela agricultura de subsistência, extração mineral e vegetal e em épocas passadas o intenso cultivo do algodão. Essas atividades humanas acabaram por tornar-se o principal agente de degradação da paisagem do semiárido nordestino.

² **Isoieta:** “linha num mapa ou numa carta que une os pontos do globo terrestre onde a média das precipitações pluviiais é igual durante um certo período de tempo”. (Dicionário Eletrônico Houaiss da Língua Portuguesa 2.0a).

Em suma, apesar do semiárido brasileiro possuir vários fatores adversos ao seu povoamento, e dificuldades encontradas no meio rural, ela é a região semiárida mais habitada do mundo, possuindo grandes núcleos urbanos com considerável desenvolvimento socioeconômico, aumentando ainda mais os impactos ambientais na região (RIBEIRO et al., 2010).

1.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS NO SEMIÁRIDO, IMPACTOS AMBIENTAIS E SUAS CONSEQÜÊNCIAS

As Bacias hidrográficas urbanas por si só já são preocupantes por estarem vulneráveis as pressões provocadas pelos diversos tipos de uso e ocupação que podem causar alterações irreversíveis. E, em se tratando de Bacias hidrográficas urbanas na região semiárida a preocupação é ainda maior por se tratar de uma região que apresenta naturalmente maior fragilidade dos geoambientes e menor potencialidade em recursos hídricos quando comparada com outras regiões geográficas brasileiras. Dessa forma, vê-se a necessidade de planejamento e gestão integrada desses recursos para um melhor aproveitamento hídrico e mitigação dos impactos ambientais, proporcionando à população melhor qualidade de vida.

No semiárido brasileiro 38% da população encontra-se nas áreas rurais e 62% nas áreas urbanas (ASA, 2011). A concentração populacional em áreas urbanas sem nenhum planejamento de uso e ocupação da terra faz com que as Bacias urbanas, em geral, sejam mais afetadas ambientalmente, socialmente e economicamente, visto que as conseqüências são mais drásticas por causa do uso intensivo e inadequado do solo impostas pela urbanização desordenada do espaço geográfico. A urbanização por si só requer equipamentos urbanos de infra-estrutura (canalização de água e esgoto, vias pavimentadas, edificações), os quais ao mesmo tempo em que proporcionam à população qualidade de vida, no que concerne a salubridade do ambiente, esses equipamentos urbanos, quando em excesso e mal estruturados, afetam de forma negativa o espaço ocupado, ocasionando o impacto ambiental. Segundo Coelho (2001, p.24) impacto ambiental é “o processo de mudanças sociais e ecológicas causado por perturbações (uma nova ocupação e/ou construção de um objeto novo: uma usina, uma estrada ou uma indústria) no ambiente”.

As obras de canalização e os aterros para a construção de edificações e vias de acesso produzem um intenso impacto ambiental sobre os pequenos rios, geralmente os canais de primeira e segunda ordem, ocasionando, ou o desaparecimento desse canal ou o seu desvio numa tentativa de re-orientar o canal para seu curso natural de próxima ordem. Geralmente essas áreas alteradas são bastante susceptíveis a alagamentos e inundações em época de fortes precipitações devido à saturação de água em sub-superfície (VIEIRA & CUNHA, 2001).

De acordo com Christofolletti (1993 *apud* VIEIRA & CUNHA, 2001, p. 131) “para a área da seção transversal dos cursos d’água não ser afetada pela urbanização é necessário que o total das áreas pavimentadas da Bacia de drenagem seja inferior a 5% da área total”.

No entanto, a urbanização e sua expansão intensificam a impermeabilização do solo afetando o funcionamento dos componentes integrantes do ciclo hidrológico, como, a precipitação, a infiltração de água no solo, a evaporação, a evapotranspiração e o escoamento superficial e subterrâneo (CHRISTOFOLETTI, 1998 *apud* GONÇALVES & GUERRA, 2001). Outro fator de grande importância provocado pela expansão da urbanização é o desmatamento, ou seja, a retirada da vegetação do solo, pois essa ação aumenta ainda mais os processos de escoamento superficial e erosão, diminuindo a infiltração da água no solo (GONÇALVES & GUERRA, 2001).

Uma das maiores preocupações hoje referentes a impactos ambientais em áreas urbanas são as inundações³, que podem ser provocadas por vários fatores como “aumento da precipitação, vazão dos picos de cheia e estrangulamento das seções transversais do rio causados pelas obras de canalização, assoreamento, aterro e lixo” além da impermeabilização do solo, os quais também são responsáveis pela modificação dos cursos naturais dos rios. O relevo acidentado e a intensa precipitação por um curto período de tempo também são suficientes para a ocorrência de inundações pontuais e deslizamentos em encostas (VIEIRA & CUNHA, 2001, p. 112).

Conforme Araújo et al. (2010) a urbanização passa por três estágios, a primeira é o estágio de transição entre o pré-urbano e o urbano inicial, o segundo é a transição entre o estágio urbano inicial para o urbano médio e o terceiro estágio é a transição entre

³ “Correspondem ao extravasamento das águas de um curso d’água para as áreas marginais, quando a vazão é superior à capacidade de descarga da calha.” (Acidentes Geológicos Urbanos. Curitiba, 2010 (1ª Edição), 78 p.)

o urbano médio e o completamente urbano. Conforme o desenvolvimento da urbanização os impactos hidrológicos aumentam proporcionalmente (Quadro 1).

Quadro 1 - Estágios do desenvolvimento urbano e seus diversos impactos hidrológicos.

Estágio	Impacto
1. Transição do estágio pré-urbano para o urbano inicial	
a. Remoção de árvores e vegetação	Redução na transpiração e aumento no fluxo de chuvas
b. Perfuração de poços	Rebaixamento do lençol freático
c. Construção de fossas sépticas etc.	Aumento na umidade do solo e possível contaminação
2. Transição do urbano inicial para o urbano médio	
a. Retirada total da vegetação	Erosão acelerada do solo
b. Construção maciça de casas etc.	Redução na infiltração
c. Usos descontínuo e abandono de alguns poços rasos	Elevação do lençol freático
d. Desvio de rios próximos para o fornecimento ao público	Redução no runoff* entre os pontos de desvio
e. Esgoto sanitário não tratado ou tratado inadequadamente em rios e poços	Poluição de rios e poços
3. Transição do urbano médio para o completamente urbano	
a. Urbanização da área completada pela adição de mais prédios	Redução na infiltração e rebaixamento do lençol freático; picos mais altos de alagamento e fluxos d'água mais baixos
b. Quantidade maior de resíduos não tratados em cursos d'águas locais	Aumento da poluição
c. Abandono dos poços rasos remanescentes	Elevação do lençol freático
d. Aumento da população necessitando do estabelecimento de novos sistemas de distribuição de água	Aumento no fluxo dos cursos d'água locais se o suprimento é proveniente de uma Bacia externa.
e. Canais de rios restritos, pelo menos em parte, por canais e túneis artificiais	Estágio mais alto para um dado fluxo d'água (portanto, um aumento dos danos por alagamento)
f. Construção de sistemas de drenagem sanitária e estação de tratamento de esgoto	Retirada de mais água do local
g. Melhoramento do sistema de drenagem pluvial	Impacto positivo
h. Perfuração de poços industriais mais profundos e com maior capacidade	Pressão d'água mais baixo, subsidência, salinização de água

*Escoamento superficial

Fonte: Adaptada de Savini e Kammerer (1961 *apud* Araujo et al., 2010).

De acordo com Fisrweg (1998 *apud* Araujo et al., 2010) a relação entre a superfície impermeável e o escoamento superficial se dá da seguinte forma (Figura 2): no estágio pré-urbano, o solo é bem coberto pela vegetação (cobertura natural), 40% da água contida no solo volta a atmosfera através da evapotranspiração, 25% é infiltrada superficialmente, 25% sofre infiltração subterrânea e 10% escoam superficialmente; no estágio urbano inicial, com a superfície impermeável entre 10% a 20% a

evapotranspiração será de 38%, a infiltração superficial será de 21%, a infiltração subterrânea de 21% e o escoamento superficial de 20%; no estágio urbano médio, com a superfície impermeável entre 35% a 50% a evapotranspiração será de 35%, a infiltração superficial será de 20%, a infiltração subterrânea de 15% e o escoamento superficial de 30%; já no estágio mais avançado da urbanização, completamente urbano, com a superfície impermeável entre 75% a 100% a evapotranspiração é de 30%, a infiltração superficial de 10%, a infiltração subterrânea de 5% e o escoamento superficial de 55%.

Percebe-se que quanto mais urbanizado for o espaço ocupado, mais impermeável será o solo e maior será o escoamento superficial, diminuindo a infiltração superficial e subterrânea no solo. Vale salientar que esses valores percentuais não são fixos, irá depender das condições naturais e artificiais do ambiente como o clima, o tipo de solo, a quantidade de vegetação existente no local e o percentual e tipo de impermeabilização (Figura 2).

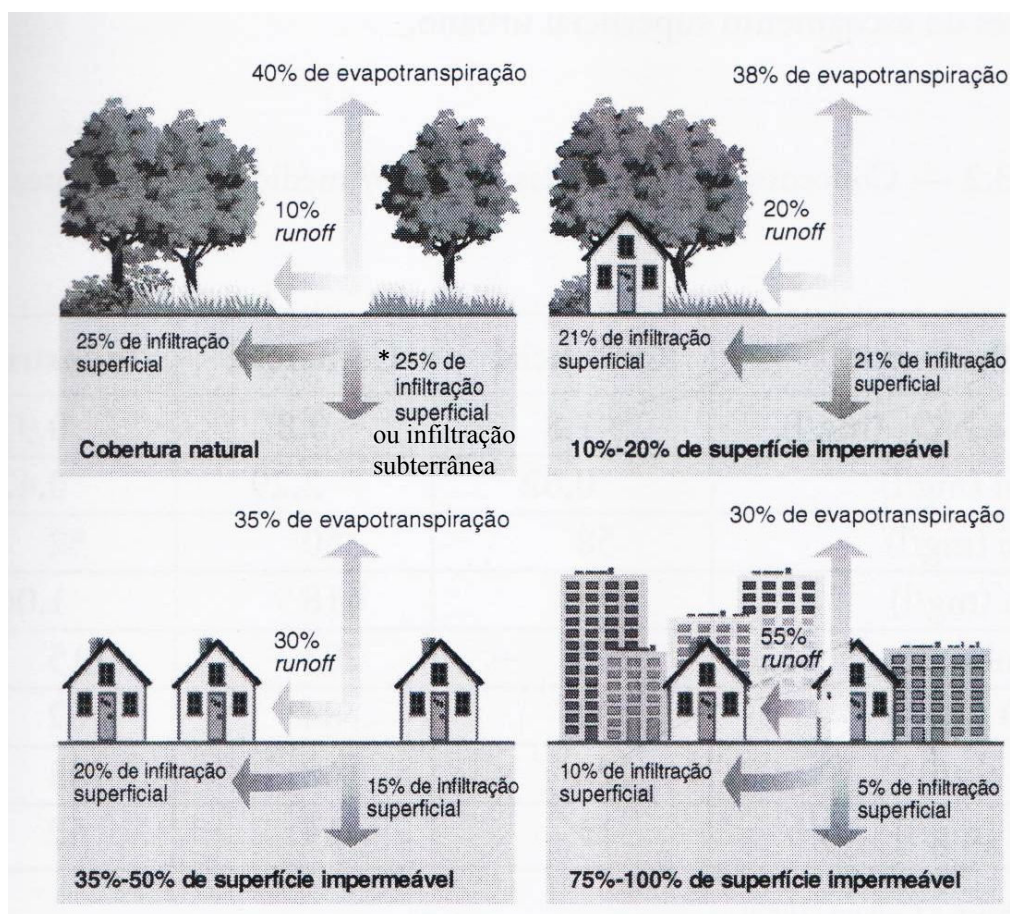


Figura 2 - Relação entre a superfície impermeável e o escoamento superficial

Fonte: Adaptada de FISRWG (1998 apud ARAUJO et al., 2010, p. 67).

*infiltração superficial em todas as figuras lê-se infiltração subterrânea.

Devido ao desenvolvimento urbano e industrial a quantidade de poluentes físico, químico e biológico tem aumentado gradativamente, provocando diversos tipos de impactos negativos em todo o ecossistema. Os poluentes provem de várias fontes e são carregados através do escoamento superficial contaminando o solo, as águas superficiais e subterrâneas, contaminando o ar, os animais e vegetais. Vejamos no (Quadro 2) as principais fontes de poluição e os potenciais poluentes.

Os efeitos desses poluentes podem causar danos irreversíveis ao meio ambiente, e sua recuperação, se assim for possível, pode durar centenas de anos, desde que a fonte causadora do dano não esteja em atividade constante. Cada um desses poluentes transportados pelo escoamento superficial resulta em potenciais efeitos adversos.

Quadro 2 - Fontes de poluentes do escoamento superficial urbano

Fonte	Potenciais poluentes
Erosão	Sedimentos e nutrientes do solo, matéria orgânica e outros poluentes adsorvidos
Deposição atmosférica	Hidrocarbonetos emitidos por automóveis, poeira, hidrocarbonetos aromáticos, metais e outros produtos químicos liberados pelas atividades industriais e comerciais
Materiais de construção	Metais provenientes do esmerilhamento de pedras, calhas e telhas, canos galvanizados e placas metálicas, tintas e madeiras
Produtos manufaturados	Metais pesados, alifáticos, halogenados, éster ftalato, outros voláteis e pesticidas e fenóis provenientes de usos industrial, agrícola e outros
Plantas e animais	Resíduos de plantas e excrementos de animais
Conexões de água não-pluviais	Descargas acidentais ou deliberadas de esgoto sanitário, e águas residuais industriais para os sistemas de drenagem
Sistema de disposição	Nutrientes e patógenos provenientes de sistemas mal localizados

Fonte: Adaptada de Woodward-Clyde (1990) *apud* Araujo et al. (2010)

O escoamento superficial em ambiente desprovido de vegetação leva ao desencadeamento de ravinas e voçorocas, além de carrear sedimentos (material em suspensão), em rios e cursos d'água, provocando diversos tipos de impactos negativos, a longo e curto prazo, como por exemplo: assoreamento, redução da penetração da luz na água, diminuindo conseqüentemente a vegetação submersa, diminuição de oxigênio para os animais e vegetais aquáticos, entre outros efeitos; outros três tipos de poluentes típicos de áreas urbanizadas são os organismos patogênicos, que podem contaminar corpos d'água potáveis, tornando-se imprópria para o consumo direto e indireto (consumo pessoal, agrícola e industrial); os hidrocarbonetos, derivados de petróleo que estão presentes nos automóveis e instalações indústrias (óleos e graxas), muitas vezes são despejados nos cursos d'água implicando na contaminação de seres vivos aquáticos,

podendo causar a morte desses organismos; e os metais pesados (chumbo, zinco, cobre, cádmio, mercúrio, entre outros), despejados nos corpos d'água geralmente pelas indústrias, provocando a contaminação da água superficial e subterrânea, dos organismos vivos, do solo e de todo o ecossistema (ARAUJO et al., 2010).

É importante destacar que a alteração da hidrologia natural, provocada pelo desenvolvimento urbano mal planejado, pode comprometer todo o sistema hidrológico de uma Bacia hidrográfica. Por isso, a importância do planejamento e gestão dessa unidade de planejamento ambiental, de maneira que a sociedade interaja de forma sistêmica, harmônica e sustentável com o meio ambiente, possibilitando bem estar ambiental às futuras gerações de seres vivos.

1.3 A ABORDAGEM SISTÊMICA NA ANÁLISE DA PAISAGEM

Um dos principais objetivos de estudo da Geografia é a organização do espaço, o qual pode ser analisado a partir da distribuição e arranjo espacial dos elementos que compõem o sistema e a dinâmica e relações existentes entre esses elementos.

O termo sistema foi usado por Ludwig Von Bertalanffy em 1930, mas foi usado anteriormente por vários cientistas como Leibniz, Nicolau de Cusa, Paracelso (com sua medicina mística), Vico e ibn-Kaldun, Marx e Hegel falando em entidades ou “sistemas” culturais, porém foi com Bertalanffy em 1950 a partir do lançamento da obra *General System Theory* (Teoria Geral dos Sistemas) que buscou-se um novo conceito e uma linguagem científica única, capaz de englobar todos os campos do conhecimento. Os princípios gerais da abordagem sistêmica se caracterizam por serem aplicáveis aos sistemas em geral, quer sejam eles de natureza física, biológica, ou sociológica (LIMBERGER, 2006).

Bertalanffy (1973, p.62, *apud* LIMBERGER 2006, p 98), definiu sistemas como “um conjunto de elementos em interação”. Esta é uma definição geral e básica que refere-se a todos os tipos de sistemas. Baseando-se nesta definição outros autores definem sistemas. Drew (1986, p. 21), diz que “sistemas é um conjunto de componentes ligados por fluxos de energia e funcionando como uma unidade”, já Christofolletti (1980, p.01) define sistemas como “o conjunto dos elementos e das relações entre si e entre os seus atributos”. Apesar das definições de sistemas serem diferentes, percebe-se

algumas características presentes nas mesmas, como o caráter global, o aspecto relacional, a organização e a hierarquização (LIMBERGER 2006, p 04).

Em uma breve revisão acerca da Teoria dos Sistemas, Heigh (1985, *apud* CHRISTOFOLETTI, 2004, p. 91) considera que “sistema é uma totalidade que é criada pela integração de um conjunto estruturado de partes componentes, cujas inter-relações estruturais e funcionais criam uma inteireza que não se encontra implicada por aquelas partes componentes quando desagregadas”, ou seja só há um sistema quando as partes de um todo estão inter-realcionadas entre si e seus atributos.

A utilização da abordagem sistêmica na ciência geográfica possibilita a aplicação de várias metodologias que segundo Gregory (1992, *apud* GUERRA & MARÇAL, 2006) “abrange cronologia, métodos quantitativos e atividades humanas, destacando as relações entre as características dos elementos e as relações entre o meio ambiente e as características dos mesmos elementos”.

De acordo com Christofolletti (2004) na Geografia, o conceito de sistemas foi introduzido inicialmente na Geomorfologia por Chorley (1962), depois por Christofolletti (1979), Strahler (1980), entre outros teóricos. A Geografia adota, em muitos trabalhos de análise da paisagem, a abordagem sistêmica, sendo composta por vários elementos, dessa forma pode-se dizer que a Geografia trabalha com sistemas dinâmicos que podem ser simples ou lineares e com os sistemas complexos ou não-lineares.

Dessa forma Christofolletti (2004, p. 92) define sistemas simples como “um conjunto de componentes relacionados conjuntamente e agindo um sobre os outros conforme determinadas leis” e sistemas complexos como “um conjunto de grande quantidade de elementos interligados, com capacidade de trocar informações com seu entorno condicionante, possuindo também capacidade de adaptar sua estrutura interna como sendo consequências ligadas a tais interações”.

Segundo Christofolletti (1980, p. 03), diferente dos sistemas isolados, que não sofrem perda nem recebe energia ou matéria do ambiente que os circundam, os sistemas não-isolados mantêm relações com os demais sistemas fluentes do planeta e do universo. Esse sistema denominado de não-isolados subdividi-se em sistema fechado e sistema aberto. No sistema fechado há uma permuta de recebimento e perda de energia, mas não há de matéria. O recebimento de matéria de outros planetas é considerado em proporção insignificante. Já nos sistemas abertos há uma constante troca de energia e

matéria entre seus componentes. Por isso, o sistema aberto é o mais usado nos estudos geográficos e geomorfológicos, podendo ser bem exemplificado por uma Bacia hidrográfica por possuir troca fluente de energia e matéria com todo o sistema, possuir delimitação bem definida por seus divisores de água e por poder ser analisada em várias escalas.

É inerente à Geografia trabalhar com o conceito de sistema visto que analisa os vários elementos que compõem uma paisagem de maneira integrada, sociedade-natureza, buscando identificar suas inter-relações e o produto emergente destas relações: a organização do espaço (LIMBERGER, 2006).

Os componentes de um sistema somente têm propriedades desenvolvidas e integradas quando se estuda paisagem como um sistema total. Dessa forma Bolós (1981, *apud* GUERRA & MARÇAL, 2006, p. 97) diz que:

A paisagem em sua abordagem sistêmica e complexa, será sempre dinâmica e compreendida como um somatório das interações entre os elementos físicos e biológicos que formam a natureza e as intervenções da sociedade no tempo e no espaço, em constante transformação.

Sendo assim, Bertrand (2007, p. 7-8) define paisagem da seguinte forma:

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução.

Bolós (1981, *apud* GUERRA & MARÇAL, 2006, p. 97), acrescentam ainda que: “A dinâmica e evolução da paisagem são determinadas por processos políticos, econômicos e culturais”. Ou seja, a partir do momento que a sociedade transforma o meio, no tempo e no espaço, através dos processos políticos, econômicos e culturais, que são inerentes da sociedade, ela estará dinamizando ou transformando a paisagem, que poderá evoluir ou involuir, dependendo do ponto de vista de quem a ver.

Complementando, Soares (2001, *apud* GUERRA & MARÇAL, 2006, p.98) destaca que a “paisagem é composta por características homogêneas, cujos limites ultrapassam as demarcações jurídicas e administrativas, sendo delimitada por elementos naturais, como Bacias hidrográficas, e as formas de uso da terra”.

Destarte, as Bacias hidrográficas são sistemas abertos de entrada e saída de energia e matéria fluentes, em constante troca de informações com os elementos de seu entorno e que esta unidade ambiental sofre intervenções da sociedade ao longo dos tempos, conduzindo “o estudo da paisagem na aplicação de métodos e técnicas que possam nos levar a sua identificação, diagnóstico, prognóstico e análise da mesma” (SOARES 2001, *apud* GUERRA & MARÇAL, 2006, p. 98).

1.4 A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ANÁLISE DA PAISAGEM

Na visão sistêmica e integrada a Bacia hidrográfica é entendida como célula básica de análise ambiental, pois permite conhecer e avaliar seus diversos componentes, processos e interações que nela ocorrem.

Existem varias definições acerca de Bacia hidrográfica, no entanto, havendo muita semelhança entre as definições de diversos autores. Coelho Netto (2007) define Bacia hidrográfica como “uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial”. Já Rodrigues e Ademir (2005) conceituam Bacia hidrográfica como sendo:

um sistema que compreende um volume de materiais, predominantemente sólidos e líquidos, próximo à superfície terrestre, delimitado interno e externamente por todos os processos que, a partir do fornecimento de água pela atmosfera, interferem no fluxo de matéria e de energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais (RODRIGUES & ADAMI, 2005, p. 147).

Dentro de uma Bacia hidrográfica pode-se ter várias sub-Bacias e/ou microBacias. Para alguns autores não há diferença nos termos sub-Bacias e microBacias, sendo assim:

microBacia é toda Bacia hidrográfica cuja área seja suficientemente grande, para que se possam identificar as inter-relações existentes entre os diversos elementos do quadro socioambiental que a caracteriza, e pequena o suficiente para estar compatível com os recursos disponíveis (materiais, humanos e tempo) respondendo positivamente a relação custo/benefício existente em qualquer projeto de planejamento (BOTELHO & SILVA, 2004, p. 157).

Independentemente da subdivisão adotada essa unidade espacial, considerada a

célula básica de análise ambiental, possibilita ao pesquisador e aos planejadores uma visão integrada e sistêmica dos diversos componentes, processos e interações presentes na paisagem (RODRIGUES & ADAMI, 2005).

Sacramento e Rego (2006) baseado em Beltrame (1994) explicam como se dá o comportamento de uma Bacia hidrográfica, em uma abordagem sistêmica, desde a dinâmica dos rios até sua conectividade com o todo e seu entorno.

os rios são considerados sistemas abertos em razão das íntimas relações estabelecidas com os elementos e fatores físicos e bióticos do seu entorno. Essas relações são concretizadas através dos *inputs* e *outputs* de matéria e energia que fazem o sistema funcionar em equilíbrio dinâmico. O efetivo estudo do rio só é realizado quando são incluídos os afluentes do curso d'água principal, entretanto, o rio principal é o corpo receptor de todos os processos ocorridos no seu entorno e, por conseqüência, sua análise conjunta revela, em tese, o *status quo* do sistema. Torna-se imperativa a compreensão de seus principais fenômenos bióticos e abióticos a fim de que possam ser avaliados os níveis de interferência dos processos ocorridos na área como um todo. Os rios e suas respectivas áreas de entorno representam uma unidade maior formada por um mosaico de unidades menores, tendo a conectividade como um dos fatores-chave para a compreensão dos processos físicos, químicos e biológicos do sistema (SACRAMENTO & REGO 2006, p. 02).

Assim, o estudo integrado da geologia, geomorfologia, drenagem, pedologia, clima, cobertura vegetal e uso das terras é um exemplo claro da abordagem sistêmica, possibilitando a realização de uma análise integrada da paisagem e da Bacia hidrográfica como um todo, representando um sistema natural de unidade de pesquisa, capaz de atender às especificidades de um estudo dessa natureza (SACRAMENTO & REGO 2006, p. 03).

Para compreender a dinâmica da paisagem de uma Bacia hidrográfica além de analisar todas essas variáveis acima citadas de forma integrada, é preciso também que se tenha conhecimento das características fisiográficas, que consiste na descrição sucinta dos fatores topográficos, geológicos, geomorfológicos, ocupação da terra e processos hidrológicos, proporcionados por uma análise morfométrica classificada por Christofolletti (1980) como a análise dos seguintes parâmetros: *Hierarquia Fluvial*, *Análise linear*, *Análise areal*, *Análise hipsométrica* e *Análise topológica* de uma Bacia hidrográfica.

1.4.1 Parâmetros Fisiográficos e Morfométricos para Análise de Bacias Hidrográficas

Estudar uma Bacia hidrográfica é analisar e entender como se comporta os componentes fluviais atuantes na evolução da paisagem, cujo principal elemento identificador é o relevo, condicionada e organizada pelas características das variáveis geomorfológicas e hidrológicas (ALMEIDA et al., 2010).

Para isso, é preciso analisar os parâmetros fisiográficos e morfométricos, onde o primeiro refere-se a descrição sucinta dos fatores topográficos, geológicos, geomorfológicos e de ocupação da terra, e o segundo compreende os aspectos quantitativos hidrodinâmicos e geomorfológicos (a área, o fator de forma, índice de circularidade, densidade de rios, densidade de drenagem, coeficiente de compacidade ou índice de compacidade, ordem dos cursos d'água, declividade, entre outros) (RODRIGUES & ADAMI, 2005).

De acordo com Rodrigues e Adami (op. cit., p. 150), “esses tipos de dados, quantitativos e espaciais, podem gerar outros e permitir correlações com determinados dados produzidos pela análise hidrodinâmica”.

Christofoletti (1980) conceitua alguns parâmetros da seguinte forma: a área da Bacia consiste em “toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal”; o índice de circularidade, método proposto por V. C. Miller, em 1953, é “a relação existente entre a área da Bacia e a área do círculo de mesmo perímetro”, sendo seu valor máximo 1,0 e quanto maior o valor mais próximo da forma estará a Bacia; David R. Lee e G. Tomas Salle, em 1970, propuseram um método para estabelecer a forma de uma Bacia, o qual independente da escala, traça-se uma figura geométrica que possa cobrir a Bacia hidrográfica da melhor forma possível; a densidade de rios é a relação entre o número de rios e a áreas da Bacia; densidade de drenagem é a relação do comprimento total dos rios com a área da Bacia; hierarquia fluvial ou ordem dos cursos d'água, segundo a lei de Strahler (1952), os canais sem tributários são considerados de 1ª ordem, os de 2ª ordem surge da confluência de dois canais de 1ª ordem, os de 3ª ordem surge da confluência entre dois canais de 2ª ordem, podendo receber afluentes de 1ª e 2ª ordem; os de 4ª ordem surge da confluência entre dois canais de 3ª ordem e recebem afluentes de ordens anteriores, e assim sucessivamente. A declividade, segundo Valeriano (2008, p. 86) “é o ângulo de inclinação da superfície

local em relação ao ângulo horizontal, podendo ser expressa em graus ou em porcentagem”.

As análises desses parâmetros podem ser feitas com o auxílio do geoprocessamento e do Sistema de Informação Geográfica (SIG) através de imagens digitais obtidas de sensores remotos. A utilização de imagem Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) possibilita a aplicação de Modelos Digitais do Terreno (MDTs) onde o Modelo Digital de Elevação (MDE) é o modelo adequado para a medição e o mapeamento de variáveis do relevo, como altitude, declividade, curvaturas verticais e horizontais, características fisiográficas do solo, clima, vegetação, hidrografia, entre outros. Com a utilização das geotecnologias é possível fazer a extração automática dessas informações amenizando a demanda do trabalho manual, obtendo maior rapidez e qualidade gráfica dependendo das condições do material utilizado e da manipulação dos equipamentos (VALERIANO, 2008).

1.5 A IMPORTÂNCIA DAS NOVAS TECNOLOGIAS NA ANÁLISE AMBIENTAL

As Geotecnologias consistem num conjunto de técnicas e instrumentos interativos para tratamento da informação espacial, e integram os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Sensoriamento Remoto (SR), Sistema de Posicionamento Global (GPS), a Cartografia Digital, entre outros, que podem auxiliar no tratamento das informações espaciais (ROSA, 2005).

A cartografia é uma disciplina e uma técnica indispensável na contribuição da análise ambiental, pois nos mostra, espacialmente, a representação da realidade em várias escalas daquilo que se quer ver e analisar. Dessa forma, para trabalhar com geotecnologias é necessário que se tenha noções básicas de cartografia como: sistemas geodésicos de referência, o qual diz respeito a relação de um determinado ponto da superfície da Terra e um elipsóide de referência, no caso do Brasil, o sistema geodésico brasileiro adotou por muito tempo o Sistema Geodésico Sul-Americano de 1969 (SAD-69), no entanto, outro sistema foi implantado, o Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS), e está sendo utilizado concomitantemente com o SAD-69; sistemas de coordenadas, composta pelas latitudes e longitudes que dão o

posicionamento de um ponto em um sistema de referência, onde entre os mais usados estão os sistemas de coordenadas geográficas e o sistema de coordenadas métricas planas; as projeções cartográficas que apoiadas em funções matemáticas definidas, realizam o transporte de ponto da superfície da Terra utilizando diferentes figuras geométricas como superfície de projeção; e a escala, a qual apresenta a relação entre a distância real do terreno e a distância medida no papel, sendo de suma importância a escolha da escala para a precisão e detalhamento do que se quer apresentar (FITS, 2008).

Munido desse conhecimento cartográfico fica mais fácil compreender como, para que e quando utilizar essas novas geotecnologias como suporte as análises ambientais. Dentre essas novas geotecnologias disponíveis podemos citar algumas ferramentas de suma importância para análise ambiental, o SIG, o geoprocessamento e o sensoriamento remoto.

O SIG é uma ferramenta computacional específica que se utiliza do geoprocessamento (conjunto de técnicas e metodologias relacionadas a coleta, armazenamento e tratamento de informações espaciais georreferenciadas de diferentes fontes e escalas) e do sensoriamento remoto (tecnologia que permite a obtenção de dados da superfície terrestre através da captação e do registro de energia - eletromagnética- refletida e emitida pela superfície terrestre) para o tratamento de informações geográficas (FLORENZANO, 2002).

A técnica do geoprocessamento aliada a um SIG permite o cruzamento de informações primárias para geração de novas informações que caracterizam mais detalhadamente a área em estudo, possibilitando uma análise mais complexa a partir dos vários planos de informações gerados. Como o SIG é uma ferramenta dinâmica e interativa, seus dados incorporados ao sistema podem ser editados e atualizados a qualquer momento. Essa ferramenta também disponibiliza a visualização dos resultados a partir de mapas, gráficos e relatórios oferecendo um maior poder de análise dos mesmos (VEIGA & SILVA, 2010).

O uso dessas geotecnologias nos estudos geoambientais tem sido importante por possibilitar a espacialização da informação, maior acessibilidade, precisão e velocidade na obtenção e processamento dos dados necessários às análises, oferecendo uma rápida resposta nas análises, diagnósticos, prognósticos e tomada de decisões. Por isso, o uso dessas geotecnologias têm sido constantes em monitoramentos, planejamento ambiental

e mapeamentos dos diferentes elementos da paisagem e fenômenos geográficos, distribuídos sobre a superfície da Terra.

Sendo assim, diante do exposto, entende-se a necessidade de se utilizar dessas geotecnologias, nessa pesquisa, na perspectiva de obter maior precisão e velocidade em relação ao processamento de dados e as análises espaciais.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia hidrográfica, objeto de estudo, está situada na região do Semiárido brasileiro, no Estado da Paraíba. Sendo uma Bacia intermunicipal, abrange os municípios de Puxinanã, Lagoa Seca, Queimadas e Campina Grande predominantemente.

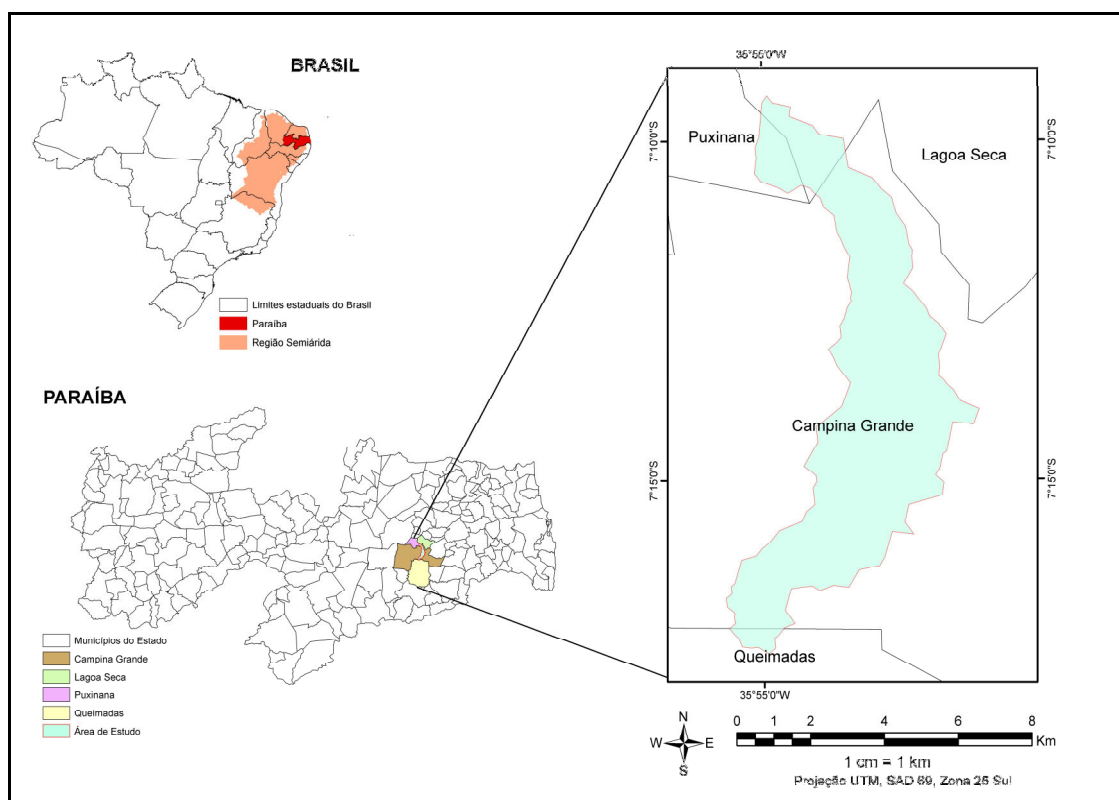


Figura 3 - Localização Bacia Hidrográfica do Riacho da Depuradora.

2.2 PROCEDIMENTOS E COLETA DE DADOS

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os programas computacionais ArcGis versão 9.1, da empresa Esri⁴, para o processamento de dados

⁴ Licença do laboratório de Geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfica do Departamento de Geografia da UEPB.

espaciais, e o Google Earth versão cliente, da Google, para a obtenção fotografias com datas de 22/07/2005 e 26/05/2010.

Além dos softwares, foram utilizados os seguintes materiais: arquivos vetoriais (no formato shapefile) disponibilizados no Geoportal da AESA, imagens capturados no software Google Earth disponibilizadas pela DigitalGlobe, imagem de radar, carta SB.25-Y-C na escala de 1:250.000, produzida pela Missão Topográfica de Radar Transportado (SRTM – Shuttle Radar Topography Mission) capturadas em fevereiro de 2000 com resolução espacial de 90 metros, disponibilizada para download no site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

As informações morfométricas e fisiográficas sobre a Bacia foram extraídas com o auxílio do programa ArcGis 9.1, que proporciona, em ambiente SIG, a caracterização da Bacia por meio de informações digitais espacializadas.

2.2.1 Aspectos Fisiográficos

Refere-se à descrição sucinta dos fatores topográficos, geológicos, geomorfológicos e de uso e cobertura do solo.

Para caracterizar os fatores topográficos inicialmente foram geradas, a partir da imagem SRTM, as curvas de nível com equidistância de 10 metros. A partir das curvas de nível e utilizando o método “Natural Breaks” do ArcGis foi gerado o mapa hipsométrico com 3 classes de altitude representando o baixo (470 - 533,201m), médio (533,201 - 606,2m) e alto (606,2 - 698,618m) curso da Bacia. Em seguida foi feita a extração automática do perímetro da Bacia.

O mapa de declividade da Bacia foi elaborado em ambiente SIG a partir do Modelo Digital de Elevação (MDT) obtido por meio do Shuttle Radar Topography Mission da Nasa. No software *ArcGIS* 9.1 foi utilizada a ferramenta slope que gerou os intervalos percentuais da declividade do relevo. Em seguida o modelo foi classificado em 4 classes de declividade segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

As características geológicas, geomorfológicas e pedológicas foram retiradas de documentos bibliográficos e cartográficos pré-existentes já mencionadas.

A análise e o mapeamento do uso e cobertura do solo foram realizados com base nas fotografias do Google Earth e validadas com trabalhos de campo. Após a coleta das fotografias, utilizou-se a ferramenta de georreferenciamento do aplicativo ArcMap para criar o mosaico. O arquivo no formato shapefile, com o limite da Bacia, foi usado como referência espacial no processo de georreferenciamento. Ao final, o excedente da imagem foi recortado utilizando-se como máscara o limite da Bacia. No processo de validação foram realizadas 5 visitas a campo onde foram coletados vários pontos com o uso do Sistema de Posicionamento Global-GPS.

Nos trabalhos de campo, além de validar o mapeamento de uso, foram identificados e registrados com uso do GPS e de câmera fotográfica os principais impactos ambientais presentes na Bacia.

2.2.2 Aspectos Morfométricos

Refere-se aos aspectos quantitativos hidrodinâmicos. As informações quantitativas geradas no SIG são: área; perímetro; fator de forma; índice de circularidade; hierarquia fluvial; densidade hidrográfica e de drenagem; comprimento do rio principal; padrão de drenagem; orientação; e declividade da Bacia do riacho Depuradora.

Inicialmente as informações cartográficas referentes a rede de drenagem foram extraídas a partir da imagem SRTM.

Utilizando o comando “Hidrology” da ferramenta Spatial Analyst do ArcMap foi feita a extração da rede de drenagem utilizando como fator de referência 10.

Após o delineamento da rede hidrográfica foi feita a classificação do padrão de drenagem existente que “diz respeito à situação espacial dos rios, a qual é em grande parte controlada pela estrutura geológica do terreno” (SUGUIO, 1990, p.13). Essa classificação foi feita com base nos tipos básicos dos padrões de drenagem apresentados por Christofoletti (1980).

Para determinação do índice de forma da Bacia foram desenhadas figuras geométricas cobrindo da melhor forma possível a sua área, em seguida aplicou-se a equação:

$$If = 1 - \frac{(A \cap L)}{(A \cup L)}$$

Onde *If* o índice de forma, A corresponde a área da Bacia e L a área da figura geométrica, $(A \cap L)$ a interseção da área da Bacia com a área da figura e $(A \cup L)$ a união da área da Bacia com a área da figura. Onde quanto menor for o índice obtido mais próxima da respectiva figura geométrica estará a forma da Bacia.

O índice de circularidade foi calculado através da seguinte equação:

$$IC = A/A_c$$

Onde “A” refere-se a área da Bacia, A_c a área do círculo de perímetro igual a da Bacia e IC é o índice de circularidade. O valor final é adimensional, próximo de 1 indicando a circularidade da Bacia.

A hierarquia fluvial ou ordem dos cursos d’água “é uma classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma Bacia”, sendo seus canais classificados por ordem, “assim, a ordem do rio principal mostra a extensão da ramificação na Bacia” (VILLELA, 1975, p.15). A hierarquização dos cursos d’água da Bacia hidrográfica da Depuradora, foi feita através da ferramenta hydrology do software ArcGis 9.1 utilizado o método de Strahler (1952).

A densidade de drenagem (Dd) foi definida inicialmente por Horton em 1945 (CHRISTOFOLETTI, 1980) e é calculada fazendo-se a relação entre o comprimento total dos cursos d’água ou canais de escoamento (L), com a área total da Bacia (A) através da seguinte equação:

$$Dd = \frac{L}{A}$$

O resultado encontrado a partir da equação de Dd foi confirmado automaticamente através da ferramenta line density do Arc Map.

Segundo Beltrame (1994, p.83), “ao avaliarmos a densidade de drenagem, conhecemos o potencial da Bacia e de seus setores, em permitir maior ou menor escoamento superficial da água, o que conseqüentemente conduzirá a uma maior ou menor intensidade dos processos erosivos na esculturação de canais”. A autora propõe uma classificação dos valores de drenagem a qual foi utilizada como parâmetro para a classificação da drenagem da Bacia (Quadro 3).

Quadro 3: Classificação dos valores de densidade de drenagem.

VALORES DA Dd (Km/Km ²)	QUALIFICAÇÃO DA DD
MENOR QUE 0,50	BAIXA
DE 0,50 A 2,00	MEDIANA
DE 2,01 A 3,50	ALTA
MAIOR QUE 3,50	MUITO ALTA

Fonte: Beltrame (1994, p. 84).

Como foi seguido o sistema de ordenação de Strahler (1952) a densidade hidrográfica (Dh) foi calculada a partir da relação entre o número de rios ou cursos de água (N) de primeira ordem, pois implica que todo e qualquer rio surge em uma nascente (CHRISTOFOLETTI, 1980) e a área da Bacia (A):

$$Dh = \frac{N}{A}$$

O comprimento do rio principal foi feito a partir da determinação da distância ao longo do curso de água desde a desembocadura até a nascente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ANÁLISE FISIAGRÁFICA E MORFOMÉTRICA

Com relação aos aspectos naturais da Bacia, destacam-se as principais características geoambientais condicionadas pelos fatores ecológicos (geologia, geomorfologia) e biológicos (solo, clima e vegetação).

Com relação à geologia a área está embasada em rochas referentes ao Pré-Cambriano Inferior, compreendida basicamente por rochas antigas representadas pelas rochas ígneas ou magmáticas e as metamórficas, comumente denominadas de terrenos cristalinos onde desenvolveu-se o principal compartimento geomorfológico da Região: o Planalto da Borborema com relevos planos, ondulados e escarpados. Na cidade de Campina Grande, onde esta inserida a maior parte da Bacia em estudo, o relevo é geralmente movimentado com vales profundos e dissecados (GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA, 1985).

Nas superfícies com formas topográficas planas, suaves onduladas a onduladas, ocorrem os Planossolos, medianamente profundos, fortemente drenados, ácidos a moderadamente ácidos e fertilidade natural média e ainda os Argissolos que são profundos, textura argilosa, e fertilidade natural média a alta. Nas Elevações ocorrem os Neossolos Litólicos, rasos, textura argilosa e fertilidade natural média. Nos Vales dos rios e riachos, ocorrem os Planossolos Háplicos, medianamente profundos, imperfeitamente drenados, textura média/argilosa, moderadamente ácidos, fertilidade natural alta e problemas de sais (CPRM, 2005; EMBRAPA, 2009).

As características topográficas singulares do Município, com altitude média de 550 m, com relevo no sentido SE-NW que recebe influência, a barlavento, de ventos alísios de leste, de nordeste e de sudeste (predominante) conferem a Campina Grande condições climáticas de área sub-úmida de transição nos setores noroeste, norte e nordeste da cidade e um clima mais seco (semiárido) nos setores oeste, sudoeste e sul (PORTO, 2007).

Essa característica é confirmada na classificação de Köppen, adaptada para a região por Varejão-Silva et al. (1984), onde o município de Campina Grande possui dois tipos de clima, o Aw, que indica um clima tropical úmido e o BSw'h', clima seco de tipo estepe. A estação seca, segundo dados da Agência Executiva de Gestão das

Águas – PB (AESAs), compreende os meses de Setembro a Janeiro, onde de acordo com método de Aubreville (1961), adaptado por Alves e Nascimento (2010), são denominados meses eco-seco os meses com precipitações entre 3,0 -40,0 mm.

Segundo o Banco de Dados Climáticos do Brasil (EMBRAPA, 2012) no período de 1961 à 1990 o município de Campina Grande apresentou temperatura média anual de 23,3 °C e precipitação média anual de 803 mm, cujo período mais chuvoso está distribuído entre os meses de Março a Julho (Tabela 1).

Tabela 1 – Médias anuais de temperatura e Precipitação para o período de 1961 à 1990 no município de Campina Grande.

Mês	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)
Jan	23,9	41
Fev	25,0	55
Mar	24,7	100
Abr	24,5	129
Mai	23,3	94
Jun	22,3	107
Jul	20,1	124
Ago	21,7	58
Set	21,7	38
Out	23,6	17
Nov	24,2	19
Dez	24,6	21
TOTAIS	279,6	803
MÉDIAS	23,3	67

Fonte: Banco de Dados Climáticos do Brasil (EMBRAPA, 2012).

Em relação à vegetação, a área da Bacia compreende ao norte formação do tipo arbórea, ou seja, floresta de altitude ou Mata de Brejo, presente nas partes mais altas. Ao sul, na parte mais baixa da Bacia, a vegetação é predominantemente arbustivo-herbáceo, típico da Caatinga, onde ocorrem as condições mais características de semiaridez. No entanto, onde há concentração urbana a vegetação nativa já foi quase que completamente desmatada para a expansão urbana (ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL, 2008).

A Bacia do Riacho da Depuradora possui área de 37,15 km², com perímetro de 43,78 km. Visando estimar o tempo, a partir da precipitação, necessário para que a água dos limites da Bacia contribua para o rio principal foi definida a forma da Bacia que se apresenta retangular, cujo índice de circularidade e fator de forma, correspondem a 0,24 e 0,60 respectivamente. Os resultados dos cálculos das características morfométricas da Bacia do Riacho da Depuradora (Tabela 2).

Tabela 2 – Parâmetros morfométricos da Bacia Hidrográfica do Riacho da Depuradora.

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO
1 – Forma da Rede de Drenagem	Dentrítico
2 – Área	37,15 Km ²
3 – Perímetro	43,78 Km
4 - comprimento do canal principal	19 Km
5 – Rede de Drenagem	76,13 km
6 – Índice de Forma (IF)	0,60 retangular
7 – Índice de Circularidade	0,24
8 – Densidade de Drenagem	2,05 km/km ² ,
9 – Cota de Altitude Mais Alta	690
10 – Cota de Altitude Mais Baixa	470
11 – Orientação do Riacho da Depuradora	Orientado de noroeste para sudoeste
12 – Orientação dos Tributários	não-orientados
13 – Hierarquia Fluvial	4 ^a Ordem
14 – Densidade Hidrográfica	2,42
15 – Declividade predominante	Plano

Aplicando-se a classificação de rios, segundo Sthraler (1952) a Bacia é de quarta ordem, o que demonstra que esta possui um sistema de drenagem com boa ramificação e grande quantidade de tributários de primeira ordem (Figura 4).

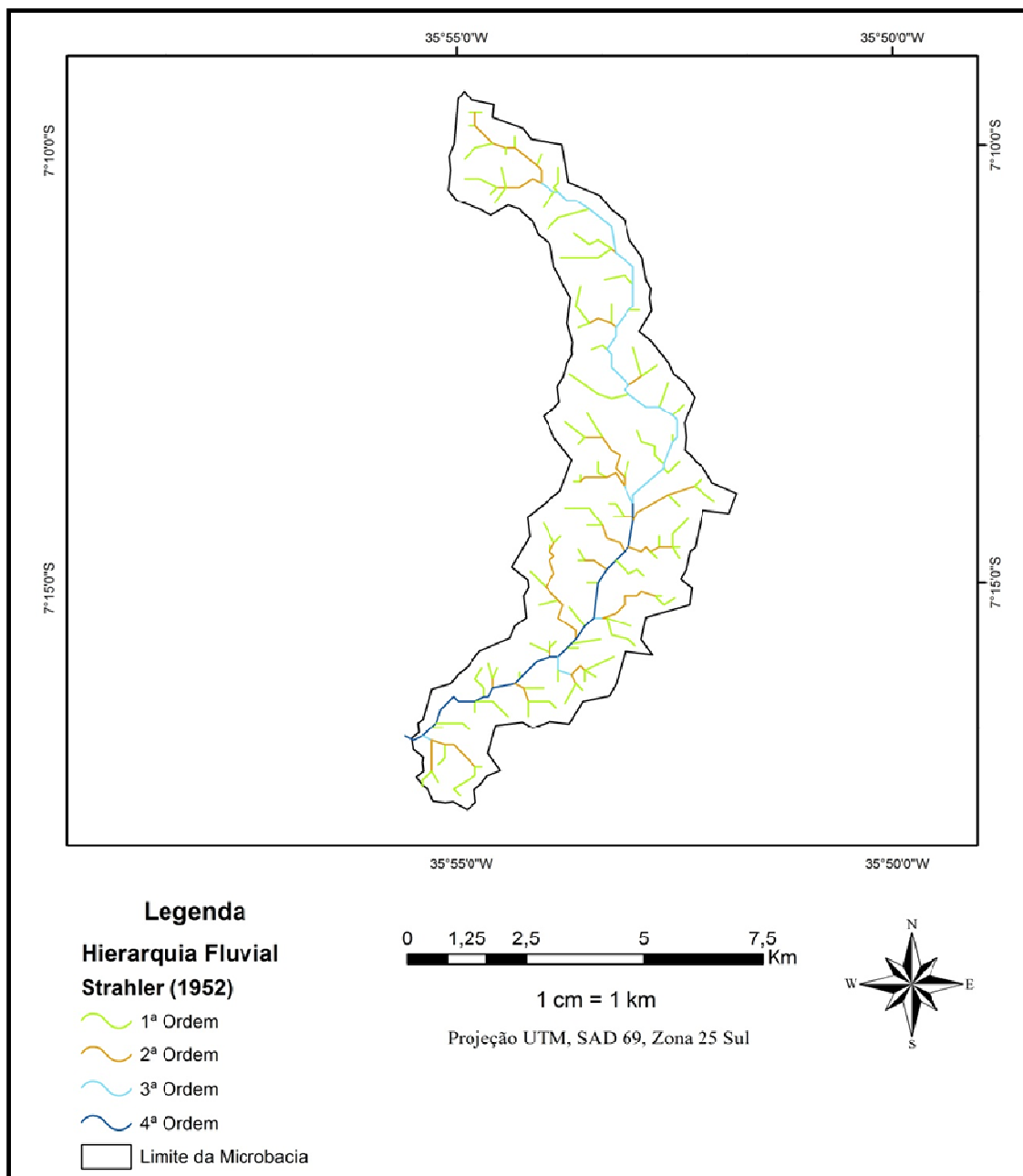


Figura 4 – Rede de drenagem e Hierarquia Fluvial da Bacia Hidrográfica do Riacho da Depuradora.

O comprimento do canal principal é de 19 km com uma rede de drenagem total de 76,13 km. O rio principal da Bacia apresenta-se orientado de noroeste para sudoeste, no entanto, seus tributários são classificados como não-orientados em relação à rede de drenagem principal. O que significa dizer que não há uma direção predominante no seu padrão de drenagem.

Verifica-se que a Bacia hidrográfica do Riacho da Depuradora é endorreica, pois deságua em outra Bacia, riacho do Bodocongó, e seus rios são classificados como conseqüentes, quando os cursos são determinados pela declividade da superfície terrestre e apresenta padrão de drenagem do tipo dendrítico subparalelo, pois os ângulos formados nas confluências dos rios subsidiários e principal são pequenos, fazendo ambas as categorias como simples paralelas. (CHRISTOFOLETTI, 1980 & CUNHA, 2007). Quanto à densidade de drenagem (Dd) a Bacia apresentou valor de 2,05 km/km², sendo caracterizada como de drenagem alta e a densidade hidrográfica igual a 2,42.

A partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) da Bacia observa-se uma mudança gradual de um patamar de aplainamento para outro, demonstrando uma área denudacional com declives suaves, característica dos pedimentos elaborados no ambiente semiárido. A Bacia do riacho da Depuradora possui altitudes que vão de 470 a 699 m (Figura 5)

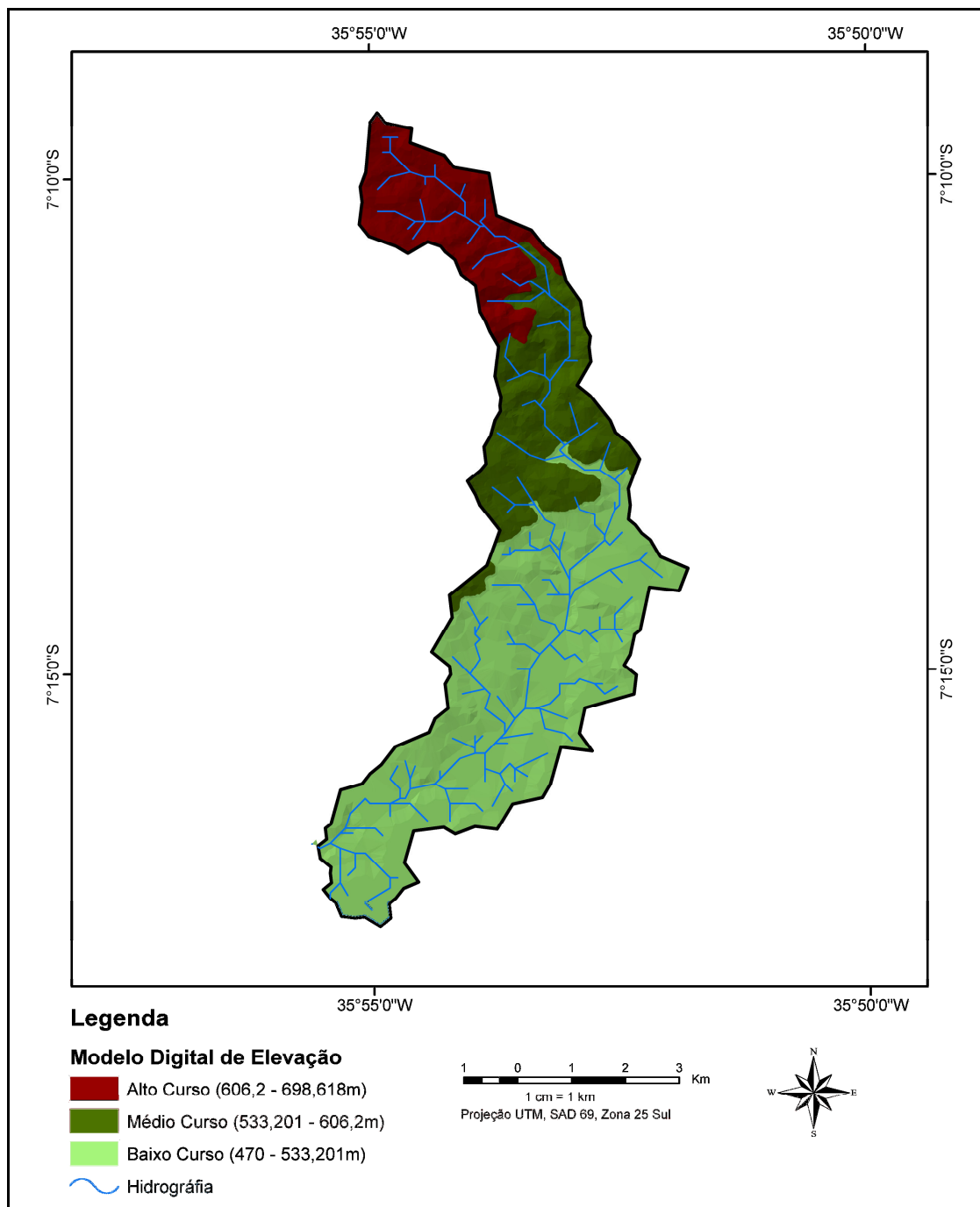


Figura 5 – Hipsometria e distribuição do alto, médio e baixo curso da Bacia Hidrográfica do Riacho da Depuradora.

Os valores de declividade entre 0-3 graus, apresentam-se em relevos do tipo plano e é encontrado predominantemente no baixo curso da Bacia, possuindo um percentual de 68,2% do total desta (Tabela 3). Os valores entre 3-6 graus de declividade apresentam-se em relevos suavemente ondulados, abrangendo, predominantemente, o alto e médio curso da Bacia, com valor percentual de 25,42 % do total da Bacia. As