

---

**INDICADORES MORFOMÉTRICOS COMO SUBSIDIO AO PLANEJAMENTO  
AMBIENTAL EM UM SETOR DO MÉDIO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO RIO PACOTI - CE.**

**Pedro Henrique Balduino de QUEIROZ**  
Doutorando em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará-UECE  
e-mail: pedrobalduino@hotmail.com  
<http://lattes.cnpq.br/8813058558297009>

**Marta Celina Linhares SALES**  
Profª Adjunta do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará-UFC  
e-mail: mclsales@uol.com.br  
<http://lattes.cnpq.br/1660245887620894>

**Juliana Maria Oliveira SILVA**  
Profª Assistente do Departamento de Geografia da Universidade Regional do Cariri-URCA  
e-mail: ju\_geoufc@hotmail.com  
<http://lattes.cnpq.br/7480253484885651>

---

**Resumo:** O rio Pacoti tem um curso longitudinal de cerca de 112,5 Km com uma área aproximada de 1.257 km<sup>2</sup> estando suas nascentes localizadas, na vertente setentrional do Maciço de Baturité, em nível altimétrico entre 700m e 900m, abrangendo os municípios de Pacoti e Guaramiranga, na Latitude de S 4° 12' e Longitude de W 38° 54' e sua foz localiza-se no município de Aquiraz na faixa costeira delimitada pelas coordenadas geográficas S 3° 49' 05'' e W 38° 23' 28''. O rio banha os municípios de Pacoti, Redenção, Acarape, Pacajus, Guaiúba, Horizonte, Itaitinga, Fortaleza, Eusébio e Aquiraz. O recorte espacial de análise trata-se de um trecho do médio curso da bacia hidrográfica do rio Pacoti, inserido entre as coordenadas geográficas UTM 513283/9547103 e 543283/9523103, abrangendo aproximadamente 247,6km<sup>2</sup> e inserida maior parte nos municípios de Redenção e Acarape, sendo o acesso realizado através das rodovias CE- 060, BR-116 e CE-354. Visando compreender melhor a dinâmica hidrológica local, foi realizada a análise morfométrica, que fornece importantes indicadores para a compreensão dos recursos hídricos que serão utilizados para a viabilização de um desenvolvimento sustentável a partir das potencialidades dos recursos naturais existentes na bacia hidrográfica do rio Pacoti. Foram determinados os seguintes parâmetros: Hierarquia Fluvial, Coeficiente de Manutenção (Cm), Extensão do Percurso Superficial (Eps), Densidade de Drenagem (Dd), Densidade de rios (Dh), Índice de Circularidade (Ic), Coeficiente de Compacidade (Kc) e o Índice de Sinuosidade (Is). A partir da análise do uso da terra referente a 1988 e 2009, foi possível perceber as transformações pelo qual esse setor da bacia passou nos últimos 20 anos, bem como os agentes causadores de impactos ambientais na área.

**Palavras- chave:** Morfometria. Planejamento Ambiental. Uso da terra.

## INDICADORES MORFOMETRICOS COMO HERRAMIENTA PARA EL PLANEAMIENTO AMBIENTAL DEL SECTOR EN UN TRAMO MEDIO DE LA CUENCA PACOTI-CEARÁ.

**Abstract:** The river has a Pacoti longitudinal course of about 112.5 km with an approximate area of 1,257 km<sup>2</sup> being its sources located on the northern slope of the Massif Baturite in altimetric level between 700m and 900m, covering the municipalities of Pacoti and Guaramiranga Latitude in S 4 ° 12 ' and Longitude W 38 ° 54' and its estuary is located in the municipality of Aquiraz the coastal strip bounded by the geographical coordinates S 3 ° 49 ' 05" W and 38 ° 23 ' 28" . The river bathes the municipalities of Pacoti, Redenção, Acarape, Pacajús, Guaiúba, Horizonte, Itaitinga, Fortaleza, Eusebio and Aquiraz. O spatial area of analysis it is a stretch of the middle course of the river basin of Pacoti, inserted between geographic coordinates UTM 513283/9547103 and 543283/9523103, covering approximately 247.6 km<sup>2</sup> and inserted mostly in the municipalities of Redenção and Acarape, with access provided through CE-060, BR - 116 and CE -354 highways. To better understand the local hydrological dynamics, morphometric analysis, which provides important indicators for the understanding of water resources that will be used for achieving a sustainable development from the potential of natural resources in the basin of river Pacoti was performed, Hierarchy river, Maintenance coefficient (Cm), Extension of Route Superficial (Eps), drainage density (Dd), rivers density (Dh), circularity index (Ic), Compactness coefficient (Kc) : The following parameters were determined and Sinuosity index (Is). From the analysis of land use related to 1988 and 2009, it was revealed the transformations by which this sector of the basin spent the last 20 years as well as the causative agents of environmental impacts in the area

**Keywords:** Morphometrics. Environmental Planning. Land Use.

## INDICADORES MORFOMETRICOS COMO HERRAMIENTA PARA EL PLANEAMIENTO AMBIENTAL DEL SECTOR EN UN TRAMO MEDIO DE LA CUENCA PACOTI-CEARÁ

**Resumen:** El río Pacoti tiene un curso longitudinal de alrededor de 112,5 kilómetros con una superficie aproximada de 1.257 kilómetros de siendo sus fuentes situadas en la ladera norte del macizo Baturite en nivel altimétrica entre 700m y 900m , que abarca los municipios de Pacoti y Guaramiranga , la latitud S 4 ° 12 ' y Longitud W 38 ° 54' y su estuario se encuentra en el municipio de Aquiraz la franja costera delimitada por las coordenadas geográficas S 3 ° 49 '05 " W y 38 ° 23 '28" . El río baña los municipios de Pacoti, Redenção, Acarape, Pacajus, Guaiúba, Horizonte, Itaitinga, Fortaleza, Eusebio y Aquiraz. O área espacial de análisis, es un extracto de la parte media de la cuenca del río Pacoti , insertado entre las coordenadas geográficas UTM 513283/9547103 y 543283/9523103 , cubriendo aproximadamente 247,6 kilómetros<sup>2</sup> y se inserta en su mayoría en los municipios de la Redenção y Acarape , con acceso proporcionada a través de CE -060 , BR -116 y CE- 354 autopistas. Para entender mejor la dinámica hidrológica, análisis morfométricos, que proporciona indicadores importantes para la comprensión de los recursos de agua que se utilizará para el logro de un desarrollo sostenible a partir del potencial de los recursos naturales en la cuenca del río Pacoti se realizó . Río Jerarquía, coeficiente de mantenimiento (Cm), extensión de la Ruta Superficial (EPs), densidad de drenaje (Dd), ríos densidad (Dh), índice de circularidad (Ic), coeficiente de compacidad (Kc): Se determinaron los siguientes parámetros ) e índice Sinuosidad (Is). A partir del análisis de uso de la

tierra en relación con 1988 y 2009, se reveló las transformaciones por las que este sector de la cuenca pasó los últimos 20 años, así como los agentes causantes de los impactos ambientales de la zona.

**Palavras Chaves:** Morfometría. Planificación Ambiental. Uso de la Tierra.

## INTRODUÇÃO

Os níveis de degradação ambiental experimentados pelos diferentes setores da sociedade após a segunda metade do século XIX têm merecido a atenção de diversos grupos sociais. Nessa direção, tornou-se mais corriqueira a tentativa de se compreender a relação sociedade-natureza, sobretudo no que tange a tomada de decisões acerca da problemática ambiental.

No Brasil as discussões sobre a questão ambiental, principalmente no que diz respeito aos recursos hídricos, enfatizam a importância da implementação de políticas de conservação e/ou de apropriação nacional desses recursos. Os diversos usos empreendidos aos recursos hídricos - agricultura e pecuária, indústria, abastecimento público, geração de energia, turismo e lazer exigem soluções específicas, conforme as peculiaridades de cada região. Dentro desta perspectiva notou-se o aumento dos estudos e pesquisas sobre diagnóstico e o monitoramento ambiental das diversas bacias hidrográficas do Brasil.

O trabalho intitulado “Indicadores Morfométricos como subsidio ao Planejamento Ambiental em um setor do médio curso da bacia hidrográfica do rio Pacoti”, é resultado das atividades do Programa de Pós-graduação em Geografia - Mestrado, da Universidade Federal do Ceará- UFC.

O rio Pacoti tem um curso longitudinal de cerca de 112,5 Km com uma área aproximada de 1.257 km<sup>2</sup> estando suas nascentes localizadas, na vertente setentrional do Maciço de Baturité, em nível altimétrico entre 700m e 900m, abrangendo os municípios de Pacoti e Guaramiranga, na Latitude de S 4° 12' e Longitude de W 38° 54' e sua foz localiza-se no município de Aquiraz na faixa costeira delimitada pelas coordenadas geográficas S 3° 49' 05'' e W 38° 23' 28''. O rio banha os municípios de Pacoti, Redenção, Acarape, Pacajus, Guaiúba, Horizonte, Itaitinga, Fortaleza, Eusébio e Aquiraz.

Segundo dados da COGERH (2002), sua bacia é composta por vários rios e seus tributários, comportam 12 açudes públicos com capacidade de armazenamento de 1,0 bilhão de m<sup>3</sup>/ ano. O recorte espacial de análise desta pesquisa trata-se de um trecho do médio curso da bacia hidrográfica do rio Pacoti, inserido entre as coordenadas geográficas UTM

512000/9540000 e 542000/9528000, abrangendo aproximadamente 247,6km<sup>2</sup> e inserida maior parte nos municípios de Redenção e Acarape, sendo o acesso realizado através das rodovias CE- 060, BR-116 e CE-354, conforme a Figura 01.



Figura 01: Localização da área de estudo.  
Elaboração: Queiroz, 2010

Este trabalho tem como finalidade efetuar a caracterização morfométrica de um setor do médio curso da bacia hidrográfica do rio Pacoti, visando o planejamento ambiental na área a partir da correlação entre as variáveis morfométricas e o uso da terra, uma vez que, alterações estruturais do relevo pelas práticas antrópicas podem afetar a densidade de drenagem, densidade hidrográfica e as taxas de escoamento superficial.

Optou-se por estudar apenas um trecho do médio curso, pela necessidade de investigar de forma mais específica a dinâmica geoambiental da área, identificando ações e processos de degradação no trecho; no entanto, sem perder a visão da bacia hidrográfica enquanto unidade, todo. Entende-se que a bacia hidrográfica quando subdividida em hierarquias menores, se constitui em unidade fundamental de trabalho na conservação do meio ambiente, justamente por apresentar uma área menor, mais fácil de ser monitorada.

Nos últimos anos, a bacia hidrográfica do rio Pacoti vem passando por uma série de transformações ambientais, resultantes da ação dos diversos agentes locais; de um lado a falta de informação da população com práticas de uso e ocupação desordenada, manejo inadequado dos recursos naturais associados à própria suscetibilidade da área a ação de processos naturais, de outro a ausência de planejamento e políticas públicas adequadas que venham inserir a população no processo de tomada de decisões locais. A Figura 02 apresenta o mapa planialtimétrico do setor de estudo.

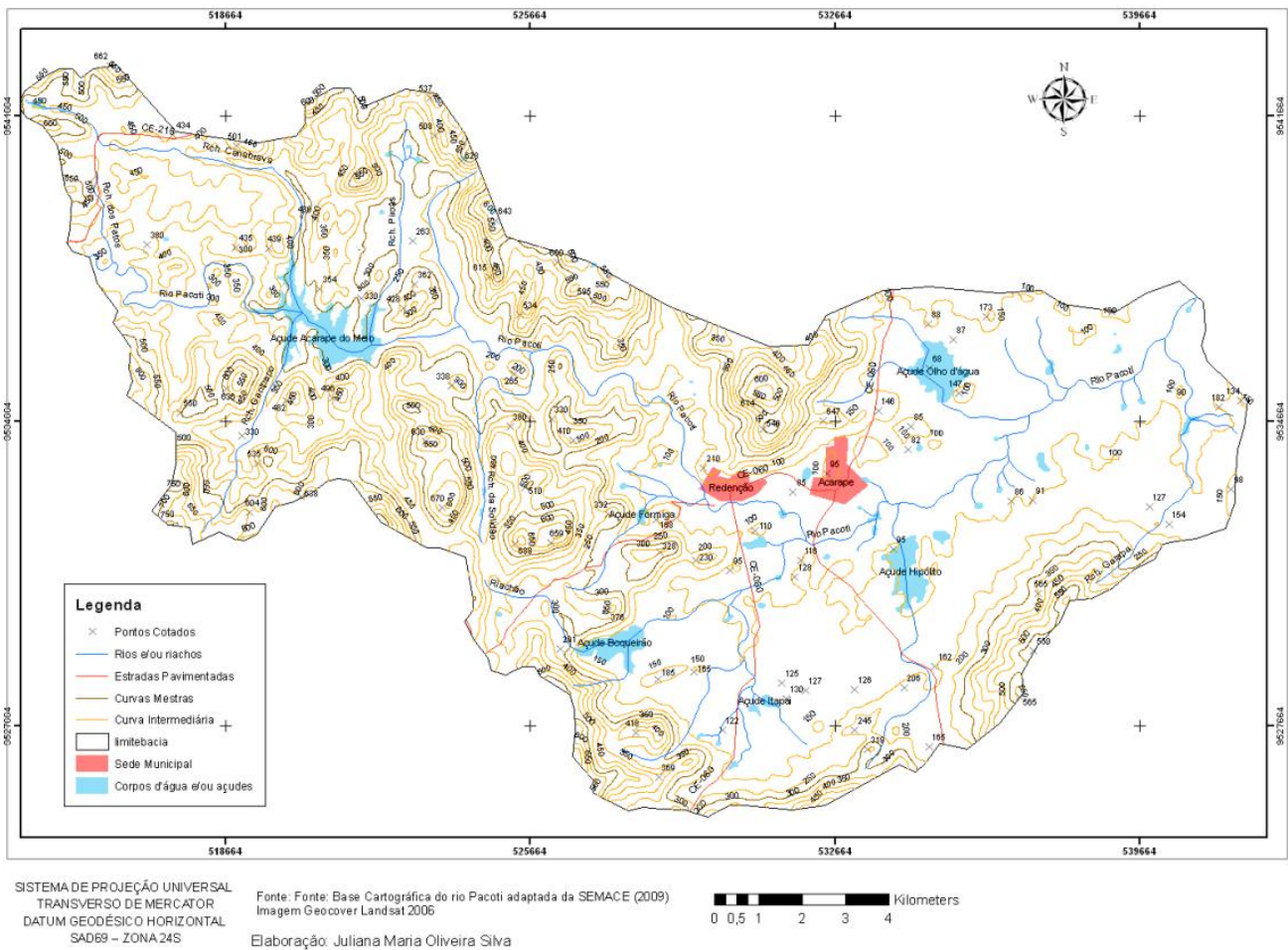


Figura 02: Mapa Planialtimétrico da área de estudo  
Elaboração: Silva, 2010

## REFERENCIAL TEÓRICO

### **Planejamento Ambiental em Bacias Hidrográficas: apontamentos para a conservação dos recursos naturais.**

A degradação ambiental dos recursos naturais de uma bacia hidrográfica está diretamente associada ao uso das terras. É nessa discussão que o Planejamento Ambiental surge como um importante instrumento de ordenação do uso e ocupação de terras, sobretudo em bacias hidrográficas.

Na leitura de Almeida (1993) o planejamento ambiental, ganhou impulso, nas últimas três décadas, em função do aumento dramático da competição de terras, água, recursos energéticos e biológicos, que gerou a necessidade de organizar o uso da terra, de compatibilizar esse uso com a proteção de ambientes ameaçados e de melhorar a qualidade de vida das populações. Surgiu também como uma resposta adversa ao desenvolvimento tecnológico materialista, que busca o desenvolvimento como um estado de bem-estar humano, ao invés de um estado de economia local.

Atualmente uma importante concepção vem sendo desenvolvida por uma série de estudiosos, aquela que adota a bacia hidrográfica como unidade para o planejamento ambiental de uma determinada região. Essa perspectiva de estudo envolve a análise da bacia hidrográfica a partir de algumas etapas básicas: delimitação da escala de análise (bacias e/ou sub-bacias); o reconhecimento dos componentes ambientais através da delimitação das unidades geocológicas (fase de inventário); o inter-relacionamento dos componentes ambientais (fase de análise); a identificação da problemática ambiental da área (fase de diagnóstico); estabelecimento de instrumentos administrativos, jurídicos, legais, sociais (fase propositiva); e a elaboração de estratégias para a gestão e monitoramento das ações propostas (fase executiva).

Por fim, Pires e Santos (1995) reafirmam que a bacia hidrográfica é a unidade ambiental mais adequada para o tratamento dos componentes e da dinâmica das inter-relações concernentes ao planejamento e a gestão do desenvolvimento, principalmente no âmbito local e/ou regional. O insucesso no gerenciamento dos recursos naturais de uma bacia hidrográfica é identificado através da degradação e perda da produtividade do solo, assoreamento dos canais fluviais, redução da vazão, enchentes, baixa qualidade da água e processo de erosão nas encostas.

## **METODOLOGIA DA PESQUISA**

Para o desenvolvimento da pesquisa, recorreu-se á utilização de informações cartográficas e dados cadastrais referentes à área de estudo, a saber:

- Base Cartográfica da bacia hidrográfica do rio Pacoti, adaptada da SEMACE, referente ao ano de 2009;
- Imagens de satélite LANDSAT TM referente aos anos de 1988 e 2010 cedidas pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) referente ano de 2010, cedidas pela EMBRAPA.
- Imagens do Programa Google Earth, referentes ao ano de 2008.
- Software Arcview 3.3; ArcGIS 9.1, GvSig 1.9.

Inicialmente, como em qualquer análise geográfica, o primeiro dado a ser coletado é aquele referente á delimitação da área de estudo, que foi realizada a partir da análise da base cartográfica do rio Pacoti, cedida pela SEMACE, referente ao ano de 2009. Na delimitação da área, foram considerados os critérios hidrográficos, como os divisores d'água e as cotas altimétricas. Em seguida será realizada a caracterização geoambiental da área, destacando os aspectos geológico-geomorfológicos, climáticos e pedológicos.

A caracterização hipsométrica e o mapa de declividade foram derivados dos dados da SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) cedidos pela EMBRAPA (2010), de onde foram extraídas as curvas de nível de 100m. A compilação e a manipulação desses dados se deu no ArcGIS 9.1. As imagens de satélite LANDSAT TM foram utilizadas para a elaboração dos mapas de uso da terra referente aos anos de 1988 e 2010. Essa imagens inicialmente foram vetorizadas no Programa GvSig 1.9. A vetorização consiste no processo e conversão de arquivos raster em arquivos vetoriais, ou seja, em linhas, polígonos, e pontos. Em seguida foram editadas e recortadas no Programa ArcGIS 9.1. As imagens do programa Google *Earth*, referentes ao ano de 2008, foram utilizadas principalmente a identificação das classes de uso da terra e dos impactos ambientais.

Para uma caracterização mais detalhada do ponto de vista quantitativo e objetivando uma maior compreensão dos fatores e processos que ocorrem neste trecho da bacia hidrográfica do rio Pacoti, optou-se por realizar a análise morfométrica através de alguns parâmetros, estudados inicialmente por autores como: Horton (1945), Stralher (1952), Miller

(1953), Wisler & Brater (1964), citados mais tarde por autores brasileiros como Christofolletti (1969) e Rocha (1997).

Os índices adotados neste trabalho são abordados em quatro itens: a hierarquia fluvial, que abrange basicamente a classificação dos cursos d'água dentro da bacia, a análise linear, envolvendo as medições efetuadas ao longo das linhas de escoamento (comprimento do rio principal), análise areal, que corresponde às medições planialtimétricas e lineares (área da bacia no trecho, forma, densidade de rios e densidade de drenagem), e a análise das formas da bacia, (índice de circularidade, coeficiente de compacidade). Para a determinação de todos os parâmetros morfométricos foram utilizadas as ferramentas do software Arcview 3.3.

No que se refere à hierarquização dos canais fluviais foi utilizada a proposta de Stralher (1952), onde os segmentos de canais formadores, sem tributários, são denominados de primeira ordem; da confluência de dois canais de primeira ordem surgem os segmentos de canais de segunda ordem que só recebem afluentes de ordem inferior. Da confluência de dois segmentos de canais de segunda ordem surgem os segmentos de terceira ordem que recebem afluentes de ordens inferiores.

Para determinar o comprimento médio dos segmentos hídricos em cada uma das ordens foi utilizada a proposta de Horton (1945). Na equação,  $L_m$  representa o comprimento médio dos canais,  $L_u$  o comprimento dos canais em cada ordem,  $N_u$  o número de canais de cada ordem.

$$L_m = L_u / N_u \quad (1)$$

- Relação de Bifurcação – representa a relação entre o número total de segmentos de determinada ordem e o número total de segmentos da ordem imediatamente superior. Estes valores indicam o grau de dissecação da bacia hidrográfica, quanto maior for o índice de bifurcação maior será o grau de dissecação, valores geralmente abaixo de dois, indica relevo colinoso. Para determinar a relação de bifurcação foi utilizada a equação abaixo, onde  $R_b$  é a relação de bifurcação,  $N_u$  o número de segmentos de determinada ordem e  $N_u + 1$  é o número de segmentos da ordem imediatamente superior.

$$R_b = N_u / N_u + 1 \quad (2)$$

- Densidade Hidrográfica - Esse parâmetro relaciona o número de rios ou canais com a área da bacia hidrográfica. Em outras palavras, expressa a magnitude da rede



hidrográfica, indicando sua capacidade de gerar novos cursos d'água em função das características pedológicas, geológicas e climáticas da área. Vale ressaltar que a densidade hidrográfica e a densidade de drenagem referem-se a aspectos diferentes da textura topográfica. Na equação abaixo,  $n$  é o número de canais e  $A$  é a área total da bacia.

$$D = N / A \quad (3)$$

- Densidade de Drenagem - Essa variável se relaciona diretamente com os processos climáticos atuantes na área estudada, os quais influenciam o fornecimento e o transporte de material detrítico ou indicam o grau de manipulação antrópica. Em outras palavras, para um mesmo tipo de clima, a densidade de drenagem depende do comportamento hidrológico das rochas. Assim, nas rochas mais impermeáveis, as condições para o escoamento superficial são melhores, possibilitando a formação de canais e, conseqüentemente, aumentando a densidade de drenagem. Na equação,  $C$  é o comprimento total dos canais e  $A$  é a área total da bacia.

$$D = C / A \quad (4)$$

- A Extensão do Percurso Superficial (Eps) - representa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente. O resultado obtido também serve para caracterizar a textura topográfica, sendo calculada através da equação abaixo, onde Eps é a extensão do percurso superficial e Dd é a densidade de drenagem.

$$Eps = 1 / 2 \times Dd \quad (5)$$

- Coeficiente de manutenção- Esse parâmetro fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. É considerado como um dos índices mais importantes do sistema de drenagem. Na equação Dd é a densidade de drenagem.

$$Cm = 1 / Dd \times 1000 \quad (6)$$

- Índice de Circularidade - Esse índice representa a relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da área total da bacia, que, na expansão areal, melhor se relaciona com o escoamento fluvial. Na equação, A é a área total da bacia e P é a área do círculo de perímetro igual ao da área total da bacia.

$$I_c = 12,57. A / P^2 \quad (7)$$

- Coeficiente de Compacidade - O coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) relaciona a forma da bacia com um círculo. Constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Conforme Silva & Mello (2008), podem-se classificar bacias hidrográficas em função do valor de  $K_c$  da seguinte forma:  $1,00 \leq K_c < 1,25$  - bacia com alta propensão a grandes enchentes;  $1,25 \leq K_c < 1,50$  - bacia com tendência mediana a grandes enchentes;  $K_c \geq 1,50$  - bacia não sujeita a grandes enchentes. Na equação abaixo  $K_c$  é o coeficiente de compacidade, P é o perímetro (m) e A refere-se área de drenagem ( $m^2$ ).

$$K_c = P / \sqrt{A} \times 0,28 \quad (8)$$

- Índice de Sinuosidade - Relaciona o comprimento verdadeiro do canal (projeção ortogonal) com a distância vetorial (comprimento em linha reta) entre os dois pontos extremos do canal principal. Na equação abaixo, L é o comprimento do canal principal e dv é a distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal.

$$I_s = L / dv \quad (9)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Geologicamente esse setor da bacia é formado, pelas seguintes unidades litoestratigráficas: Complexo Ceará, Granitóides Diversos, e Depósitos Aluviais. Do ponto de vista geomorfológico, esse setor da bacia abrange os Sertões Periféricos do Maciço de Baturité, marcado pela alternância de relevo plano e suave em alguns setores (200 m) a trechos onde o relevo é ondulado, com altitude em torno de 600m. Nesses locais a topografia

exibe feições dissecadas e com algumas características semelhantes às feições morfológicas do ambiente serrano. A Figura 03 apresenta os níveis altimétricos para este setor da bacia.

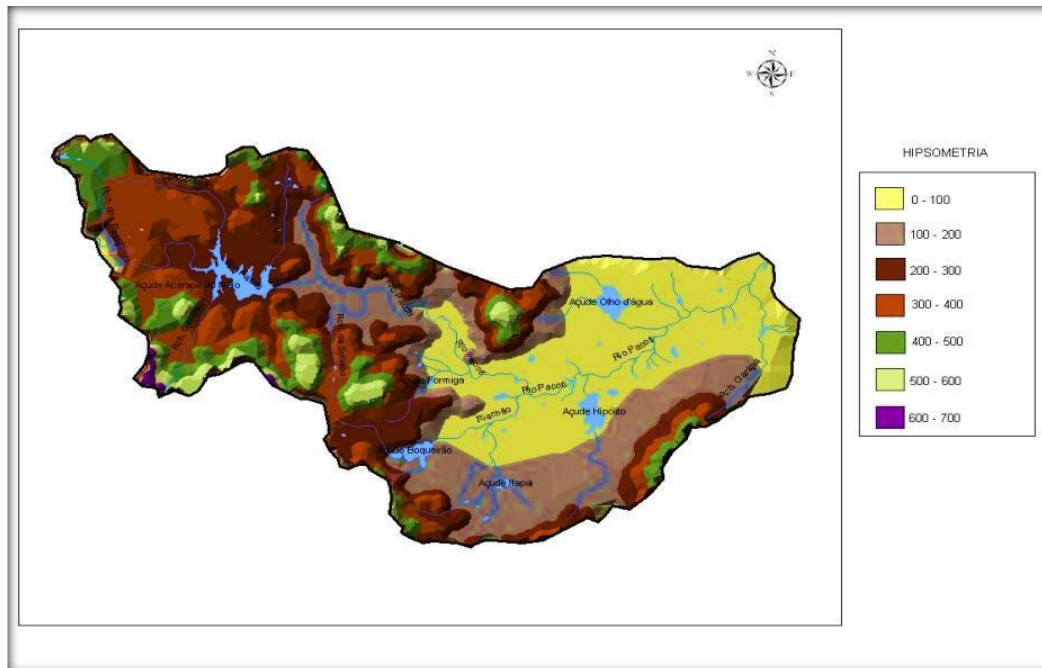


Figura 03- Hipsometria da área de estudo.  
Elaboração: Queiroz, 2010.

No tocante a declividade constatou-se cinco classes, que foram adaptadas da metodologia de Ross (1990), conforme mostra o quadro 01.

Quadro 01: Classes de Declividade para este setor da bacia.

| Classes | Intervalos de declividade (%) | Características do relevo | Categoria   |
|---------|-------------------------------|---------------------------|-------------|
| A       | < 5 %                         | Plano e suave             | Muito Fraca |
| B       | 5 -10%                        | Suave ondulado            | Fraca       |
| C       | 10 a 15%                      | Ondulado                  | Média       |
| D       | 15 a 25%                      | Forte ondulado            | Forte       |
| E       | 25 a 45%                      | Montanhoso/escarpado      | Muito Forte |

Fonte: Queiroz (2010) adaptado de Ross (2000).

A classe A: 0 até 5%- (relevo plano e suave)- é formada por áreas planas ou quase planas, onde o escoamento superficial é bastante lento. A declividade do terreno não oferece restrição ao uso, não havendo erosão hídrica significativa, exceto naquelas áreas onde as vertentes apresentem rampas muito longas e com solos susceptíveis a processos erosivos. As declividades de 5% são consideradas limite para o desenvolvimento de processos erosivos. Neste setor da bacia, essa classe ocupa uma área de aproximadamente 114,4km<sup>2</sup> e abrange

boa parte da depressão sertaneja e da planície fluvial. A classe B:5 a 10%- (relevo suave ondulado)- abrange áreas com declives suaves, nos quais, na maior parte dos solos o escoamento superficial é lento ou médio. Em alguns tipos de solos com esses declives, a erosão hídrica não oferece nenhum problema; em muitos deles, são necessárias apenas práticas de conservação. Abrange uma área de aproximadamente 31,5 km<sup>2</sup>.

A classe C:10 a 15% (relevo ondulado)- são áreas onde o relevo é ligeiramente inclinado, nos quais, o escoamento superficial, para a maior parte dos solos é médio ou rápido. Em alguns casos a erosão hídrica oferece poucos problemas ou então pode ser controlada com práticas simples; na maioria das vezes, práticas complexas de conservação dos solos são necessárias para que terrenos como esses possam ser utilizados para atividades agrícolas. Ocupa uma área em torno de 36,1km<sup>2</sup>, correspondendo a área dos pés-de-serras.

A classe D: 15 a 25% (relevo forte ondulado) abrange áreas bastante inclinadas, onde o escoamento superficial é muito rápido em boa parte dos solos. Os solos dessa classe são facilmente erodíveis. Abrange aproximadamente 51,8 km<sup>2</sup>. A classe E: 25 a 45%,( relevo montanhoso) representa as áreas com severa suscetibilidade a erosão, não sendo recomendadas para o uso agrícola, sob pena de serem erodidas em poucos anos. Nessas áreas deve ser estabelecida uma cobertura vegetal de preservação ambiental. Ocupa uma área de 13,4 km<sup>2</sup>, correspondendo aos topos de morros.

A Figura 04 espacializa essas classes de declividades neste setor da bacia hidrográfica do rio Pacoti.

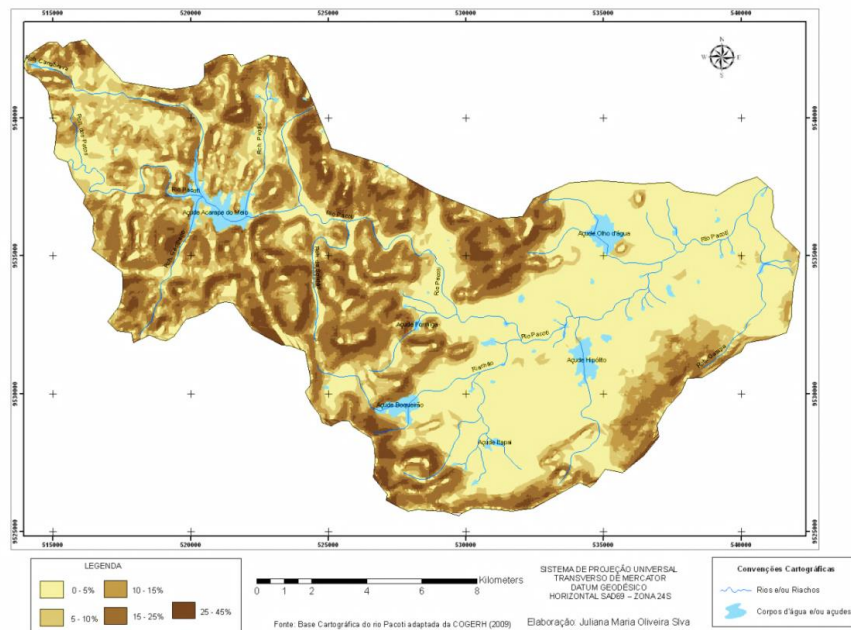


Figura 04-Mapa de Declividade  
Elaboração: Silva, 2010.

As condições climáticas subúmidas favorecem a intensificação das condições de dissecação do relevo. Nas formas aguçadas, com relevo de topo contínuo e aguçado separados geralmente por vales em “V”, a dissecação varia de muito fraca (< 250 m) a muito forte (>750 <1750 m). Já nas formas convexas, onde o relevo de topo é convexo, com diferentes ordens de grandeza e de aprofundamento da drenagem, separado por vales em “V” e eventualmente por vales de fundo plano, a dissecação é fraca (<250 m).

A caracterização climática para este setor da bacia refere-se aos dados de temperatura e precipitação dos municípios de Redenção e Acarape, que se encontram inseridos neste setor da bacia. Os valores anuais de pluviosidade para Redenção oscilam entre 344,5 mm/ano (1993) e 1902,1 mm/ano (2001), já para Acarape oscilam entre 365,6 mm/ano (1993) e 1767,2 mm/ano (1994), resultando numa média total de 1164 mm para Redenção e 1039,4 mm para Acarape. No que se refere às temperaturas médias mensais, o município de Redenção registrou mínima de 24,7° C em julho e a máxima de 26,4°C em dezembro e janeiro, resultando numa média anual de 25,6°C. Já no município de Acarape, a mínima foi de 26,1°C em julho e a máxima de 27,7°C em dezembro e janeiro, resultando numa média anual de 27,0°C (FUNCEME, 2008).

De acordo com o levantamento realizado pela EMPBRAPA(1999), a pedologia da área é formada pelas seguintes classes de solos: Argissolos Vermelho Amarelo Eutrófico (193,4 km<sup>2</sup>) e Distrófico (12,4 km<sup>2</sup>), Luvisolos (25,6 km<sup>2</sup>) e NeossolosFlúvicos (12,82 km<sup>2</sup>).

A bacia, no trecho de estudo, apresenta uma área em torno de 247,6 km<sup>2</sup>, e um perímetro de 84,13 km. O comprimento verdadeiro (projeção ortogonal) do rio principal é da ordem de 38,21 km, e a distância vetorial que representa o comprimento em linha reta entre os dois pontos extremos do canal é da ordem de 25,55 km. Foram contabilizados um total de 54 canais com um comprimento total de 140 km de extensão. Desses 54 canais, 42 segmentos são de primeira ordem, 9 de segunda, 2 de terceira e 1 de quarta ordem. Esses valores indicam um elevado controle estrutural nas nascentes do rio, comandando a formação de cursos fluviais

Os segmentos de primeira ordem possuem um comprimento total de 81,7 km, os de segunda 26,5 km, os de terceira 19,5 km, e o de quarta ordem 12,3 km. Obteve-se que os canais de primeira ordem têm comprimento médio em torno de 1,94 km, os de segunda ordem 2,94 km, os de terceira 9,75 km e o de quarta ordem 12,3 km. No que se refere aos índices de bifurcação foram encontrados os seguintes valores: 4,66 para os canais de segunda ordem, 4,50 para os canais de terceira ordem e 2,0 para os canais de quarta ordem. Esses valores de bifurcação indicam que nas áreas de nascentes o relevo é bastante dissecado. A Tabela 01 destaca a síntese dos parâmetros lineares para este trecho da bacia hidrográfica.

Tabela 01: Síntese dos parâmetros lineares

| Ordem | Nº de segmentos | Compr. Total (km) | Compr. Médio dos Canais -Lm | Índice de Bifurcação |
|-------|-----------------|-------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1ª    | 42              | 81,7              | 1,94                        | —                    |
| 2ª    | 9               | 26,5              | 2,94                        | 4,66                 |
| 3ª    | 2               | 19,5              | 9,75                        | 4,50                 |
| 4ª    | 1               | 12,3              | 12,3                        | 2,0                  |
| Total | 54              | 140               | —                           | —                    |

Fonte: Queiroz, 2010.

Em seguida foi calculado o Coeficiente de Manutenção, que indica a área mínima necessária para existir um metro de canal de escoamento, ou seja, indica a capacidade de manter cursos perenes. Para a área o valor do coeficiente de manutenção encontrado é de 1.785 m<sup>2</sup>/m. Cabe ressaltar que este valor é elevado indicando que a bacia, no trecho, não é rica em cursos d'água. O coeficiente de manutenção encontrado predomina nas áreas onde o relevo é mais plano, diminuindo gradativamente na medida em que o relevo se torna mais ondulado. Este comportamento pode ser explicado quando da ocorrência de chuvas de grandes intensidades nas áreas planas, quando o escoamento superficial tende a se concentrar, formando fluxos preferenciais e gerando, desta forma, os canais que compõem a rede de drenagem. No relevo mais acidentado o escoamento superficial tende a seguir a declividade natural do terreno escavando o solo nos pontos de menor resistência ao cisalhamento, proporcionando uma concentração maior de canais naturais e, por sua vez, a maior densidade de drenagem.

Um terceiro índice analisado refere-se à Extensão do Percurso Superficial, (Eps) que para a área é de 892,8 indicando o comprimento do caminho percorrido pelas águas pluviais antes de se estabilizarem ao longo de um canal. Segundo Rocha (1997), em termos ambientais, a determinação deste parâmetro é de fundamental importância, podendo ser relacionado ao indicativo de erosão. O valor encontrado é elevado e indica uma predisposição à erosão.

A partir dos valores do coeficiente de manutenção e extensão do percurso superficial, é possível enfatizar que a vegetação formada por matas úmidas e matas secas ajuda a proteger as vertentes contra os processos erosivos. Entretanto a remoção desta cobertura vegetal sem técnicas adequadas expõe os solos e os materiais inconsolidados, naturalmente susceptíveis a erosão, diretamente à ação das chuvas. Tal efeito provoca um aumento no escoamento

superficial e sub-superficial favorecendo uma dinâmica intensa nas vertentes, principalmente em áreas de alta declividade, que pode conduzir a processos de erosão laminar e concentrada.

Outro aspecto avaliado diz respeito à densidade de drenagem, que na área é de  $0,56\text{km}/\text{km}^2$ . De acordo com Villela e Matos (1975) esse índice pode variar entre  $0,5\text{km}/\text{km}^2$  em bacias com drenagem pobre a  $3,5\text{km}/\text{km}^2$  ou mais em bacias bem drenadas. Para a área o valor da densidade de drenagem (Dd) encontrado foi da ordem de  $0,56\text{km}/\text{km}^2$ , considerado regular dentro da classificação de Villela e Mattos (1975). No entanto, deve-se considerar como uma baixa drenagem se comparados a outras áreas. Valores baixos de densidade de drenagem estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis, o que não justifica, portanto, o valor encontrado para a área (Dd =  $0,56\text{ km}/\text{km}^2$ ), tendo em vista a geologia local está representado por rochas do complexo cristalino, altamente impermeáveis. Na área em estudo essa baixa densidade de drenagem está associada, sobretudo, aos depósitos de sedimentos colúvio-eluviais de idade quaternária, com granulometria variada, originados pela alteração do material das partes altas e transportados predominantemente pela gravidade, ou originados pelas alterações da rocha “in situ”.

Ainda foi analisada a densidade de rios (Dr) que, assim como a densidade de drenagem tende a refletir os processos de controle no desenvolvimento da rede hidrográfica, sejam eles naturais ou artificiais. A relação entre o número total de rios e a área de uma bacia hidrográfica revela densidade de rios que expressa, em seu resultado a frequência (ou quantidade) com que os cursos d'água aparecem em uma área padrão. Para a área foi constatado uma baixa densidade hidrográfica em torno de  $0,21\text{ rios}/\text{km}^2$ , indicando uma baixa tendência à formação de canais. Quando o valor de (Dd) é superior ao (Dr), reflete um acentuado controle estrutural, o que reflete um menor número de canais, no entanto, com comprimentos mais elevados.

Cabe destacar que o avanço da urbanização, o crescimento das atividades industriais, atividades de mineração, a degradação ambiental dos solos e da cobertura vegetal comprometem diretamente os parâmetros morfométricos até aqui analisados. O soterramento dos cursos d'água, a canalização, o represamento, alteram significativamente o balanço sedimentológico do rio e, por conseguinte a dinâmica morfométrica.

Foram avaliados ainda, o Índice de Circularidade (Ic) e o Coeficiente de Compacidade (Kc) da área de estudo. De acordo com os resultados obtidos  $Kc = 1,50$  e  $Ic = 0,43$ , pode-se afirmar que esse trecho da bacia hidrográfica do rio Pacoti mostra-se pouco suscetível a enchentes em condições normais de precipitação (ou seja, excluindo-se eventos de intensidades anormais) pelo fato de o coeficiente de compacidade apresentar o valor acima da

unidade e o índice de circularidade ser menor que 0,51. Assim, há uma indicação de que a bacia não possui forma circular, possuindo, portanto, uma tendência de forma alongada.

Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1. Uma bacia será mais suscetível a enchentes acentuadas quando seu  $K_c$  for mais próximo da unidade. Já um índice de circularidade igual a 0,51 representa um nível moderado de escoamento; maior que 0,51 indica que essa bacia tende a circular; menor que 0,51 a bacia tende a ser mais alongada, o que favorece um maior escoamento.

Por fim, o índice de sinuosidade encontrado para a área foi de 1,18 (adimensional). Este valor informa que o canal principal da bacia tende a ser transicional, ora sinuoso, ora retilíneo. De acordo com Schumm (1963), valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo, já valores superiores a 2,0, indicam que o canal tende a ser tortuoso e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares em alguns trechos e irregulares em outros. Para Guerra e Cunha(1996), as diferentes sinuosidades dos canais são determinadas muito mais pelo tipo de carga detrítica do que pela descarga fluvial.

Todos esses valores foram associados aos Mapas de Uso da Terra elaborado para os anos de 1988 e 2010. Foram consideradas cinco classes de uso da terra, adaptadas do Manual Técnico de Uso da Terra do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE/2006. Foram definidas as seguintes classes: área urbanizada, agricultura, área industrial, solo exposto e mineração.

A classe área urbanizada compreende áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies não-agrícolas. Na classe agricultura foram consideradas as terras utilizadas para a produção de alimentos e outras commodities do agronegócio. A classe área industrial compreende o uso da terra por atividades industriais. A classe solo exposto que não apresentam nenhuma cobertura vegetal; a classe mineração referente àquelas áreas de extração de calcários, a classe vegetação referente aquelas áreas onde a vegetação encontra-se conservada e a classe corpos d'água, onde foram considerados os corpos d'água naturais (rios, lagoas) e artificiais (açudes). As Figuras 05 e 06 destacam os mapas de uso da terra para os anos de 1988 e 2010, respectivamente.



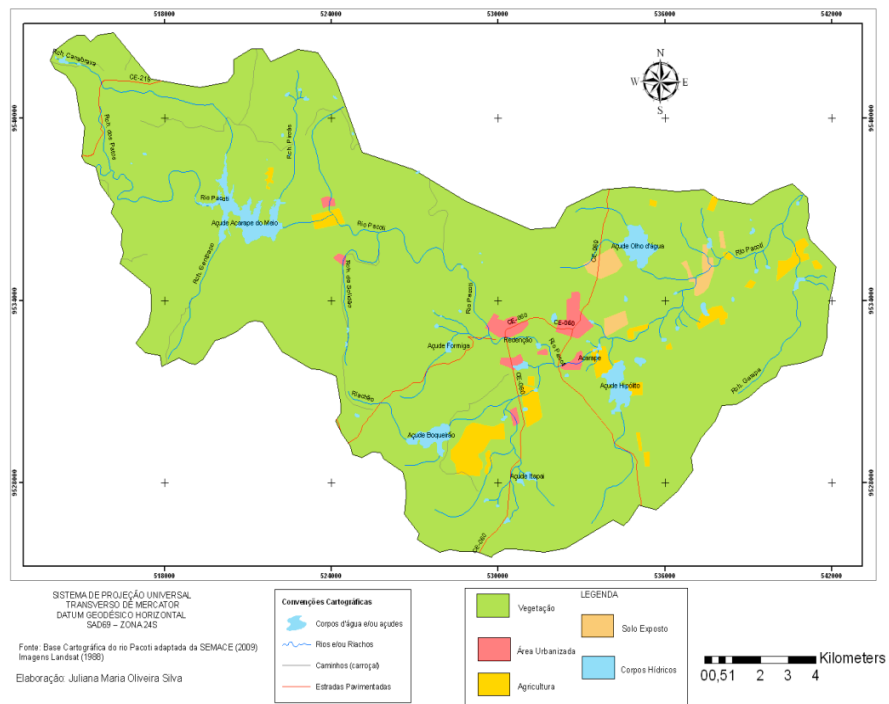


Figura 06: Mapa de Uso da terra referente ao ano de 1988  
Elaboração: Queiroz, 2010.

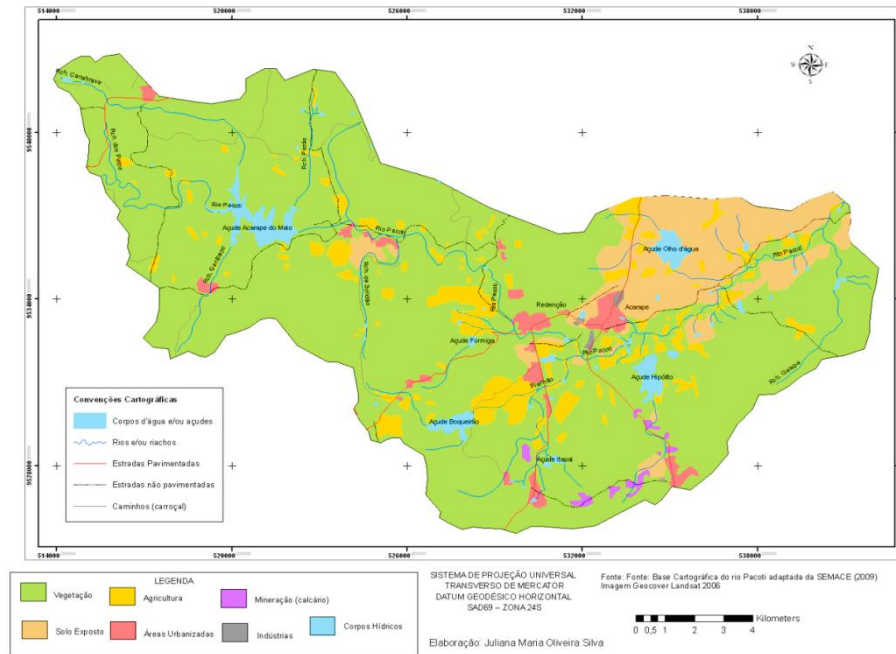


Figura 06: Mapa de uso da terra referente ao ano de 2010.  
Elaboração: Silva, 2010.

Foram elaborados dois cenários temporais de uso da terra, para os anos de 1988 e 2010, onde foram identificados no primeiro cenário cinco classes de uso da terra e sete classes no

cenário de 2010. Entre os anos de 1980 e 2010 três classes tiveram expansão (áreas urbanizadas, agricultura e solo exposto) e surgiram duas novas classes: indústria e mineração. Os dados de uso da terra estão resumidos na Tabela 02.

Tabela 02- Síntese do uso da terra na área de estudo- 1988-2010.

| Classes           | Uso da terra 1988 |                         | Uso da terra 2010 |                         |
|-------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|
|                   | Área em ha        | Área em Km <sup>2</sup> | Área em ha        | Área em Km <sup>2</sup> |
| Agricultura       | 626,02            | 6,2                     | 1670,60           | 16,7                    |
| Indústria         | -----             | -----                   | 38,05             | 0,38                    |
| Mineração         | -----             | -----                   | 91,1              | 0,9                     |
| Áreas urbanizadas | 280,49            | 2,8                     | 514,31            | 5,14                    |
| Solo exposto      | 211,44            | 2,1                     | 2411,54           | 24,1                    |
| Vegetação         | 22691,2           | 226,9                   | 18872,2           | 188,7                   |
| Corpos d'água     | 1158,2            | 11,5                    | 1158,2            | 11,5                    |

Elaboração: Queiroz, 2010.

Em 1988 a classe agricultura ocupava uma área em torno de 626,02 ha (6,2km<sup>2</sup>), passando a ocupar em 2010 uma área de 1670,60 ha (16,7 km<sup>2</sup>). O aumento desta classe nos últimos 21 anos está ligado ao avanço das plantações de milho, feijão, banana e cana-de-açúcar para comercialização. Constatou-se que tais práticas agrícolas ocupam as áreas dos Neossolos Flúvicos, próximas aos cursos d'águas e nas vertentes, fato que favorece a perda da camada orgânica do solo, pelas queimadas, escavações de valas e retirada da cobertura vegetal morta. Nesse caso é notório e inadequado o tratamento dado aos restos dos vegetais queimados, bem como da cobertura morta, pois ambos são jogados dentro do rio.

As classes indústria e mineração não foram identificadas na análise de 1988, no entanto em 2010 ocupam uma área de 38,05 ha (0,38 km<sup>2</sup>) e 91,1, ha (0,9km<sup>2</sup>), respectivamente. Importante destacar a presença da indústria de tintas Ytapáí Cor, que faz uso dos metacalcários presentes na estrutura geológica conhecida como Unidade Independência para fabricação de tinturas. Tal prática tem contribuído para a exposição dos solos aos efeitos climáticos ocasionando processos de erosão, uma vez que se constituem em áreas degradadas. Já a classe corpos d'água apresentou-se semelhante para ambos os anos, ocupando uma área de 1158,2 ha (11,5 km<sup>2</sup>).

A classe urbanização registrou em 1988 uma área de aproximadamente 280,49 ha (2,8 km<sup>2</sup>), passando em 2010 a ocupar uma área em torno de 514,31 ha (5,14 km<sup>2</sup>). Cabe destacar

que pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU)-Redenção (2000), o crescimento da área urbana deveria se dá em função da melhoria da qualidade de vida, do conforto das populações e das potencialidades de cada área.

Em relação ao solo exposto, percebeu-se uma significativa expansão dessa classe que em 1988 ocupava uma área de 211,44 ha (2,1 km<sup>2</sup>), passando e 2010 a ocupar 2411,54 ha (24,1 km<sup>2</sup>). Este fato pode ser justificado pelo aumento dos desmatamentos e queimadas especialmente nas áreas dos Luvisolos, onde a declividade varia entre 5% a 10%. É bastante comum na área bacia a utilização do fogo na preparação do terreno para agricultura, o que ao longo dos anos leva o solo a perder a fertilidade natural, bem como ao aumento dos processos erosivos. Esse fato pode ser explicado também pela pecuária extensiva, onde bovinos e caprinos, ficam livres para pastar, principalmente na área da Depressão sertaneja. Tais práticas podem comprometer as taxas de escoamento superficial e infiltração, em função da acelerada erodibilidade dos solos da bacia.

Por outro lado um aumento do solo exposto significa uma redução da cobertura vegetal. Em 1988 essa classe ocupava uma área de 22691,2 ha (226,9 km<sup>2</sup>), enquanto que em 2010 reduziu-se para 18872,2 ha (188,7 km<sup>2</sup>), resultando numa diferença de 37km<sup>2</sup> de área sem cobertura vegetal. Essa redução da cobertura vegetal contribui para a erosividade da chuva na área. Apesar da redução da cobertura vegetal, é importante destacar que ela ainda encontra-se bastante conservada, em vários topos das vertentes e trechos da planície fluvial.

De modo geral, essas alterações ambientais ao longo dos anos, podem comprometer os valores morfométricos encontrados para este setor da bacia, nesta pesquisa. Parâmetros como a extensão do percurso superficial, a densidade de drenagem, o coeficiente de manutenção, podem sofrer variações em seus valores, pois algumas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio das águas das chuvas, expressam estreita correlação com a litologia, estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A caracterização morfométrica das bacias hidrográficas é de fundamental importância nos estudos ambientais, isso porque descreve as características sobre o sistema fluvial e a modelagem do relevo identificando as possíveis alterações antrópicas provocadas dentro desse ecossistema, bem como na tentativa de compreensão da dinâmica fluvial. O uso da morfometria no estudo das bacias hidrográficas constitui-se num meio complementar para

explicar as interações que ocorrem entre todos os elementos da paisagem, dentre eles a pedologia, relevo e a rede hidrográfica e seus processos ambientais.

A aplicação da morfometria em um trecho do rio Pacoti, resultou em um conjunto de dados consistentes que permitiram avaliar o comportamento hidrogeomorfológico da bacia para fins de planejamento ambiental. A associação das propriedades morfométricas com a dinâmica de uso da terra permitiu a identificação dos principais vetores que atuam na transformação das paisagens local, gerando a degradação ambiental do relevo, dos solos, da vegetação e dos recursos hídricos.

A bacia no setor apresenta uma baixa densidade de drenagem e hidrográfica, elevado coeficiente de manutenção e extensão do percurso superficial, o que requer um manejo adequado da área em termos de cobertura vegetal e relevo para não comprometer as nascentes dos cursos fluviais. O índice de circularidade e o coeficiente de compacidade indicam que em condições normais de precipitação esse setor da bacia não é propício a enchentes.

Nessa direção cabe ao poder público tomar decisões vinculadas a um planejamento integrado, que deve contar com pesquisadores das mais diversas áreas do conhecimento, de modo a se levantar todas as possibilidades e atingir um resultado satisfatório a ser alcançado a médio e longo prazo. É importante salientar ainda que este estudo não buscou solucionar os problemas gerados pelos atores sociais envolvidos na problemática, mas analisar e procurar as causas, estimulando uma maneira diferente de analisar a bacia hidrográfica e seus problemas; e perceber que de uma forma ou de outra, absolutamente tudo está interligado dentro da dinâmica de sistemas.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALMEIDA, J. R. **Planejamento Ambiental: caminho para a participação popular e gestão ambiental para o nosso futuro comum. Uma necessidade, um desafio.** Biblioteca Universidade Estácio de Sá. Ed: Thax, Rio de Janeiro, 1993.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das Bacias Hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v.9, n18, p. 35-64, 1969.

DEPARTAMENTO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS / INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Catálogo de Imagens.** Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/>>. Acesso em: 20 ago. 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Base de Dados**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/>>. Acesso em: 18 nov. 2008.

GOOGLE EARTH- MAPAS. <http://mapas.google.com>. Consulta realizada em 20/10/2008.

GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. C. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol. Soc. America Bulletin**. [s.l.: s.n.], 1945.

MILLER, V.C. A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area. **Technical Report**. [s.l.: s.n.], 1953.

PIRES J.S.R.; SANTOS, J. E. Bacias Hidrográficas: integração entre o meio ambiente e desenvolvimento. **Revista Ciência Hoje: Águas do Brasil**, má utilização e falta de planejamento. 19 (110): 40-50, 1995.

ROCHA, J.S.M. **Manual de Projetos Ambientais**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1997. 423p.

ROSS, Jurandy Luciano Sanches. Geomorfologia Aplicada aos EIA's-RIMA's. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (org.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 3ª ed. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2000.

SCHUMM, S. A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. **Bulletin of Geological Society of America**. v. 74 , n. 9, 1963.

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Base Cartográfica**. <<http://www.semace.ce.gov.br/?s=cartografia>>. Acesso em 20 ago. 2008.

STRAHLER, A.N. **Physical Geographhy**. New York, Wiley, 1952.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, ed. Mcgraw- Hill do Brasil,1975.

WISLER, C. O. BRATER, E. F. **Hidrologia**. Rio de Janeiro, 1964