

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

RICARDO INÁCIO FOGAROLI

**Erosão pluvial como geoindicador no monitoramento ambiental
de bacias hidrográficas – Estudo em Jaú (SP)**

São Carlos

2013

RICARDO INÁCIO FOGAROLI

**Erosão pluvial como geoindicador no monitoramento ambiental
de bacias hidrográficas – Estudo em Jaú (SP)**

Monografia apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo para obtenção da graduação em Engenharia Ambiental

Orientador: Profº Dr. Oswaldo Augusto Filho

São Carlos

2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

F655e Fogaroli, Ricardo Inácio
Erosão pluvial como geoindicador no monitoramento
ambiental de bacias hidrográficas - estudo em Jaú (SP)
/ Ricardo Inácio Fogaroli; orientador Oswaldo Augusto
Filho. São Carlos, 2013.

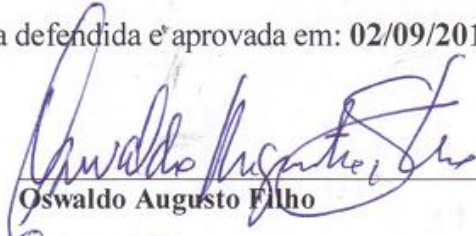
Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2013.

1. Indicadores. 2. Erosão. 3. Sistema de informação
geográfica (SIG). 4. Jaú. I. Título.

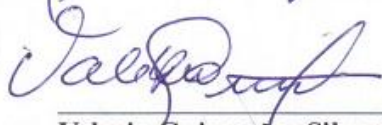
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato(a): **Ricardo Inácio Fogaroli**

Monografia defendida e aprovada em: **02/09/2013** pela Comissão Julgadora:



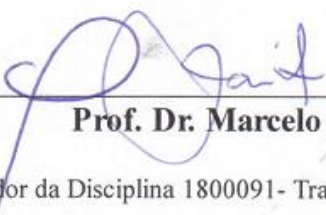
Oswaldo Augusto Filho



Valeria Guimarães Silvestre Rodrigues



Rogério Pinto Ribeiro



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

AGRADECIMENTOS

Ao Profº Dr Oswaldo Augusto Filho, pela oportunidade de trabalhar no Departamento de Geotecnia, pela orientação e apoio a este trabalho.

À Valéria Lopes Rodrigues pelo suporte e auxílio.

Aos meus amigos, em especial Eduardo Blanco e Juliana Polizel.

À Andressa dos Santos Esteves, pelo apoio e dedicação.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

RESUMO

FOGAROLI, R. I. **Erosão pluvial como geoindicador no monitoramento ambiental de bacias hidrográficas – estudo em Jaú (SP)**. 2013. 72 f. Monografia - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

Os processos erosivos pluviais têm causado forte degradação de solos, além de colocar em risco a população, causando grandes prejuízos econômicos e ambientais. A dinâmica desses processos envolve diversos fatores, naturais e antrópicos. Os indicadores, e em particular, os geoindicadores, têm sido crescentemente utilizados como ferramenta para o monitoramento dos processos geomorfológicos. O objetivo do presente trabalho foi o de analisar a influência de diferentes atributos ambientais na formação de erosões pluviais e estudar a aplicação da evolução temporal de processos erosivos pluviais como geoindicador no monitoramento ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Jaú (São Paulo). As características ambientais foram levantadas a partir de consulta a textos técnicos, análise de fotos aéreas e imagens de satélite. As análises foram feitas sobre imagens que abrangem os períodos de 2001, 2005 e 2010, donde foram obtidas informações de uso e ocupação do solo e incidência de erosões pluviais. Foi gerado o Modelo Digital do Terreno (MDT), de onde derivaram os mapas de declividade e curvatura de encosta. As informações foram organizadas em banco de dados por meio de Sistema de Informações Geográficas (SIG), através do uso de dois programas, Arcview e Arcgis. O estudo concluiu que todos os atributos ambientais observados contribuem para a ocorrência de erosões, havendo forte relação com as declividades mais acentuadas, com as áreas antropizadas, a curvatura de encosta e o tipo de solo. Por fim, foi utilizada a evolução temporal e espacial da erosão pluvial linear como geoindicador de monitoramento ambiental da bacia do Córrego dos Pires.

Palavras-Chave: Indicadores, erosão, Sistema de Informação Geográfica (SIG).

ABSTRACT

FOGAROLI, R. I. **Rain erosion as geoindicador to characterize environmental basins monitoring – case study of Jaú (SP, Brazil).** 2013. 72 f. Monografia - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

The rain erosion have caused serious soils degradation, besides endangering the population, causing great economic losses and environmental. The dynamics of these processes involves several factors, both natural and anthropogenic. The Indicators, and in particular geoindicadores, have been increasingly used as basic parameters for environmental monitoring. The objective of this study was to analyze the influence of different environmental attributes in the formation of pluvial erosion and study the application of the temporal evolution of pluvial erosion as geoindicador in the environmental monitoring of a urban watershed in the city of Jau (São Paulo). Environmental characteristics were raised from consultation to technical texts, analysis of aerial photos and satellite images. The analyses were performed on images that cover the periods 2001, 2005 and 2010, where information of use and occupation and incidence of pluvial erosion was obtained. It was generated the Digital Terrain Model (DTM), which derived from the maps of slope and curvature of slope. The information was organized into a database through Geographic Information System (GIS), through the use of two programs, Arcgis® and Arcview®. The study concluded that all environmental attributes contribute to the observed occurrence of erosion, there is a strong relationship with the steeper slopes and the use and occupation of land, the curvature of the slope and soil type were shown to be important factors. Finally, we used the density variation of pluvial erosion in time and space as geoindicador to characterize environmental monitoring basin of stream of Pires.

Keywords: Indicators, erosion, Geographic Information System (GIS), Jaú.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização do Município de Jaú, São Paulo.....	23
Figura 2 – Localização da Bacia do Córrego dos Pires, Jaú.....	24
Figura 3 – Mapa Hipsométrico da Bacia do Córrego dos Pires, Jaú.....	35
Figura 4 - Verificação do MDT.....	37
Figura 5 - Mapa de Declividade da Bacia do Pires	39
Figura 6 – Tipos de curvatura de encosta (Fonte: http://www.funape.org.br/geomorfologia).40	
Figura 7 - Mapa de Curvatura de Encosta da Bacia do Pires	42
Figura 8 - Mapa de Materiais Inconsolidados da Bacia do Pires	44
Figura 9 - Mapa Temático de Uso e Ocupação da Bacia do Córrego dos Pires, 2001.....	47
Figura 10 - Mapa Temático de Uso e Ocupação da Bacia do Córrego dos Pires, 2005.....	49
Figura 11 – Evolução Temporal do Uso e Ocupação da Bacia do Córrego dos Pires	51
Figura 12 - Mapa Temático de Uso e Ocupação da Bacia dos Pires, 2010.....	52
Figura 13 – Mapa Temático de Feições Erosivas na Bacia do Córrego dos Pires, 2001	54
Figura 14 - Mapa Temático de Feições Erosivas na Bacia do Córrego dos Pires, 2005.....	55
Figura 15 - Mapa Temático de Feições Erosivas na Bacia do Córrego dos Pires, 2010.....	56
Figura 16 - Erosão Pluvial Segundo a Declividade.....	58
Figura 17 - Erosão Pluvial Segundo Materiais Inconsolidados.....	60
Figura 18 - Erosão Pluvial Segundo Curvatura da Encosta.....	61
Figura 19 – Erosão Pluvial Segundo Uso e Ocupação	64
Figura 20 – Ruas perpendiculares a curvas de nível (Área urbana em consolidação, 2005) ...	65
Figura 21 – Erosão por escoamento superficial (Área Parcelada, 2001).....	65
Figura 22 - Mapa Temático de Densidade de Erosão na Bacia do Córrego dos Pires, 2001 ...	67
Figura 23 - Mapa Temático de Densidade de Erosão na Bacia do Córrego dos Pires, 2005 ...	68
Figura 24 - Mapa Temático de Densidade de Erosão na Bacia do Córrego dos Pires, 2010 ...	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Geoindicadores e algumas mudanças ambientais por eles refletidos (Modificado de Berger (1998))	16
Tabela 2 – Imagens de Satélite e Imagens Aéreas Utilizadas no Trabalho – agregar na tabela de materiais/programas utilizados.	29
Tabela 3 – Equipamentos Utilizados no Trabalho.....	33
Tabela 4 - Distribuição das classes de declividade na bacia do Pires	38
Tabela 5 – Curvaturas de encosta na Bacia do Pires	41
Tabela 6 – Solos Componentes da Bacia do Pires	43
Tabela 7 - Distribuição das categorias de uso e ocupação na bacia do Pires, ano 2001	46
Tabela 8 - Distribuição das categorias de uso e ocupação na bacia do Pires, ano 2005	48
Tabela 9 - Distribuição das categorias de uso e ocupação na bacia do Pires, ano 2010	50
Tabela 10 – Comprimento de erosão	53
Tabela 11 - Ocorrência de erosão segundo a declividade	57
Tabela 12 - Ocorrência de erosão segundo o tipo de solo	59
Tabela 13 - Ocorrência de erosão segundo a curvatura da encosta	61
Tabela 14 - Ocorrência de erosão segundo o uso e ocupação	62

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
2.	OBJETIVOS.....	13
2.1	Objetivo Principal	13
2.2	Objetivos Específicos	13
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1	Fatores Ambientais nos Processos Erosivos Pluviais	14
3.2	Indicadores e Geoindicadores	15
3.2.1	Geoindicadores como Ferramenta na Gestão Urbana	20
3.3	Sistema de Informações Geográficas (SIG).....	20
4.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	23
4.1	Características gerais do município	23
4.2	Problemática da área de estudo.....	25
4.3	Plano Diretor de Jaú.....	25
5.	MÉTODOS E MATERIAIS.....	28
5.1	Revisão Bibliográfica	28
5.2	Levantamento e Processamento de Dados.....	28
5.3	Fotointerpretação	29
5.4	Mapas Temáticos	30
5.5	Mapas Analíticos	31
5.6	Integração e Análise.....	32
5.6.1	Fatores Ambientais Intervenientes na Erosão Pluvial	32
5.6.2	Evolução da Densidade de Erosões no Tempo e Espaço – Erosão Pluvial como Geoindicador da Bacia.....	32
5.7	Materiais utilizados.....	33
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
6.1	Mapa Hipsométrico e Modelo Digital do Terreno (MDT)	34

6.2	Mapa de Declividade	38
6.3	Mapa Curvatura de Encosta	40
6.4	Mapa de Materiais Inconsolidados	43
6.4.1	Uso e Ocupação	45
6.4.2	Mapeamento de Erosões Pluviais na Bacia dos Pires.....	53
6.5	Fatores Ambientais e a Dinâmica da Erosão Pluvial	57
6.5.1	Erosão segundo a declividade	57
6.5.2	Erosão segundo Materiais Inconsolidados	58
6.5.3	Erosão segundo curvatura da encosta.....	60
6.5.4	Erosão segundo uso e ocupação	61
6.6	Frequência Temporal e Espacial da Erosão Pluvial, Monitoramento Ambiental da Bacia do Pires	65
7.	CONCLUSÕES.....	70
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	72

1. INTRODUÇÃO

O processo de concentração da população em áreas urbanas, principalmente nas décadas de 80 e 90, gerou uma situação não observada antes na história da humanidade. Só no Brasil, em 30 anos, a população cresceu em mais de 70 milhões de habitantes, e a proporção residente em áreas urbanas saltou de 68%, em 1980, para 84% em 2010, segundo o último censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os efeitos cumulativos da urbanização acelerada, junto à má gestão pública do território e à ausência dos instrumentos adequados para planejamento urbano, resultaram em impactos ambientais de intensidade também nunca vista anteriormente.

Nas grandes cidades brasileiras, é comum observarmos aglomerados urbanos precários muito adensados e sem infraestrutura, o aumento do número de vias de acesso, canalização de córregos, avenidas construídas em fundos de vales, exposição do solo a efeitos erosivos, aumento de áreas impermeabilizadas, concentração de escoamento e etc. (LISTO; VIEIRA, 2009). Esses fatores são os principais catalisadores dos processos erosivos, resultando em grandes problemas socioambientais, e gerando grandes prejuízos para as cidades e seus habitantes.

A gênese de feições erosivas pluviais pode estar relacionada a fatores naturais e antrópicos. Os primeiros são resultado da dinâmica natural do ambiente, que inclui o regime pluviométrico, a cobertura vegetal, as declividades, os tipos de solos e a natureza do substrato rochoso. Já os fatores antrópicos são representados pelo uso e ocupação do solo, tais como agricultura e áreas urbanizadas. De acordo com Alfaro e Oyague (1997), os indicadores ambientais refletem o estado do meio ambiente, e relacionam as pressões impostas pelas diversas atividades antrópicas sobre a qualidade de seus componentes. Dentro deste tema temos os geoindicadores, que segundo Berger e Iams (1996) são definidos como magnitudes, frequências, taxas ou tendências de processos geológicos e fenômenos que ocorrem na ou perto da superfície da Terra e que são importantes para a avaliação ambiental de mudanças que ocorrem ao longo de períodos de 100 anos ou menos.

A utilização de tal ferramenta, associada ao uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permite não só a caracterização, o estudo e o monitoramento de áreas impactadas, como também auxiliam na tomada de decisões quanto a intervenções, permitindo assim alterar ou cessar os processos erosivos, preservando ou recuperando a qualidade ambiental (TAVARES; CRUZ; LOLLO, 2007).

O presente trabalho analisou a influência de diferentes fatores ambientais, naturais e antrópicos, na dinâmica da formação de feições erosivas pluviais, utilizando como geoindicador a sua evolução temporal e espacial em uma bacia em urbanização, localizada na cidade de Jaú (São Paulo). Este estudo desenvolveu-se como parte do processo de Iniciação Científica financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e posteriormente como Trabalho de Graduação (TG) para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental pela supracitada escola.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do presente trabalho foi estudar a influência dos atributos ambientais na formação de processos erosivos pluviais, utilizando a evolução temporal destes processos como geoindicador. Como área de estudo foi adotada a bacia hidrográfica do Córrego dos Pires, localizada no município de Jaú, São Paulo.

2.2 Objetivos Específicos

- 1) Analise da influência dos atributos ambientais (meio físico, biótico e socioeconômico) na dinâmica dos processos de erosão pluvial.
- 2) Utilizar a evolução temporal da erosão pluvial como geoindicador no monitoramento ambiental de uma bacia hidrográfica, situada em Jaú, São Paulo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Fatores Ambientais nos Processos Erosivos Pluviais

As incisões da erosão linear instalam-se a partir do momento em que a velocidade do fluxo superficial vence a resistência mecânica do solo e consegue escavar a superfície. Conforme estas incisões vão aumentando o fluxo deixa de ser laminar e descontínuo passando a concentrar-se em filetes, onde a velocidade é maior. A concentração do escoamento, que tende a ocorrer em linhas preferenciais, dependendo da frequência e da intensidade, pode dar origem a sulcos, ravinas e boçorocas (CANIL, 2006).

Ao encontrar-se saturado, o solo irá formar poças e a água começará a escoar na superfície de maneira proporcional à inclinação do terreno (declividade), passando para fluxos lineares. A permeabilidade do solo e o consequente escoamento superficial dependerão, dentre outros fatores, do seu tipo de cobertura do e das suas propriedades, tais como teor de areia, silte e argila e teor de matéria orgânica.

No meio ambiente, os elementos que compõem o meio físico (rocha, relevo e solo) interagem mutuamente com o clima e a vegetação originando processos do meio físico, os quais ocorrem em equilíbrio (SALOMÃO; CANIL; RODRIGUES, 2012). A ocupação antrópica, graças a sua capacidade de transformação da paisagem, altera o equilibrado do ambiente natural, intensificando processos geomorfológicos. A ocupação antrópica é acompanhada de remoção da cobertura vegetal e exposição da camada superior do solo aos processos geodinâmicos, aumento da compactação e diminuição da capacidade de armazenamento de água nos solos e substratos, privilegiando o escoamento superficial e o arraste de partículas do solo. A urbanização tem provocado uma intensa degradação dos recursos naturais dentre os quais podemos citar as enchentes (BORGES et al., 2012), os deslizamentos e as erosões (GRUPTA, 2002). Dada a sua importância na geomorfologia, a ocupação de uma bacia pode ter reflexos e papel determinantes na seleção de prioridades de ação, e, em alguns casos, facilitar intervenções para recuperação ou remediação de áreas (PIRES; CRAVEIRO; ANTUNES, 2012).

Cunha (1991) observa que a ocupação humana do território representa o fator decisivo na aceleração dos processos erosivos, que são comandados pelos seguintes fatores naturais:

- Volume d'água que atinge o terreno: o volume d'água e sua distribuição no tempo e espaço são determinantes da velocidade dos processos erosivos;

- Cobertura vegetal: o tipo de cobertura vegetal determina a maior ou menor proteção contra o impacto e a remoção das partículas de solo pela água;
- Tipo de solo/rocha: determina a suscetibilidade dos terrenos à erosão (à erodibilidade), em função de suas características texturais (argilosos, siltsos e arenosos), estruturais, de espessura de solos etc.;
- Lençol freático: a profundidade do lençol freático nos solos é fator decisivo para o desenvolvimento de voçorocas;
- Topografia: maiores declividades determinam maiores velocidades de escoamento das águas, aumentando sua capacidade erosiva. Maior comprimento da encosta implica maior tempo de escoamento e, conseqüentemente, maior erosão.

Podemos ainda acrescentar a esta lista o formato da encosta.

É importante salientar a importância do tipo de solo, sendo o meio físico onde as feições erosivas se desenvolvem, seu entendimento e conhecimento são de fundamental importância. Solos mais arenosos tendem a ser de fácil desagregação, além de possuírem maior permeabilidade. Estas características fazem destes solos suscetíveis à erosão. Solos argilosos são menos permeáveis e possuem maior força de coesão entre as partículas, o que os torna mais resistentes à erosão. No entanto, quando expostos e compactados favorecem o escoamento superficial, o que em uma chuva intensa pode acabar por gerar grandes erosões em um espaço curto de tempo.

As erosões são vistas como graves passivos ambientais, pois depreciam o patrimônio paisagístico, oferecem perigos à população, aos equipamentos do entorno, ao meio ambiente e também causam a perda de áreas agricultáveis (GAERTNER, 1999). Devido aos grandes problemas e prejuízos ocasionados por processos erosivos, cada vez mais se tem dado atenção à necessidade de monitorá-los. Os geoindicadores podem se tornar uma importante ferramenta de gerenciamento deste processo (RUFINO, 2002).

3.2 Indicadores e Geoindicadores

Neimanis e Kerr (1996) definem indicadores ambientais como parâmetros que representam ou resumem aspectos do estado do ambiente, e a relação entre as atividades humanas e os recursos naturais.

Berger (1996) define geoindicadores como medidas de superfície, ou próximo da superfície, de fenômenos e processos geológicos que variam significativamente no período de 100 anos ou menos, e que proveem informações para avaliações ambientais.

O termo “geoindicador” foi originalmente usado por Berger e Iams (1996) para descrever um conjunto de informações do meio que representasse suas condições ambientais, bem como os processos de dinâmica superficial em andamento no local. Os indicadores nos transmitem informações de forma resumida e direta (COSTA; SILVA JÚNIOR; SANTOS, 2007), tendo também como características os aspectos agilidade, simplicidade de uso e baixo custo de obtenção, além de poder ser facilmente interpretado. Essas qualidades refletem o potencial do uso dos geoindicadores para o monitoramento de áreas degradadas (HIRAI; AUGUSTO FILHO, 2008) e para a gestão pública territorial (GRUPTA, 2002; RIBEIRO; HELLER, 2004).

Após extensa revisão de parâmetros significativos para as áreas terrestres e costeiros, a União Internacional de Ciências Geológicas selecionou vinte e sete geoindicadores e compilou-os em uma lista (Tabela 1). Esta lista de geoindicadores resume as muitas maneiras em que as paisagens podem mudar, qualquer que seja a causa e os fatores envolvidos (BERGER, 2002), refletindo o caráter multimodal dos geoindicadores.

Tabela 1 – Geoindicadores e algumas mudanças ambientais por eles refletidos (Modificado de Berger (1998))

Geoindicadores	Mudanças ambientais refletidas
Composição química do coral e padrões de crescimento	Temperatura da água superficial, salinidade
Crostras superficiais desérticas e fissuras	Aridez
Formação de dunas	Velocidade e direção do vento, umidade, aridez, disponibilidade de sedimentos
Magnitude, duração e frequência de tempestades de poeira	Transporte de poeira, aridificação, uso do solo
Congelamento do solo	Hidrologia, movimento descendente, especialmente em camada ativa
Flutuações glaciais	Precipitação, insolação, escoamento derretido
Característica química das águas subterrâneas da zona não saturada	Intemperismo, uso do solo

Continua

Geoindicadores	Mudanças ambientais refletidas
Nível da água subterrânea	Captações e as recargas
Qualidade da água subterrânea	Poluição industrial, agrícola e urbana, intemperismo de rocha e solo, uso do solo, chuva ácida, radioatividade
Carstificação	Composição química e fluxo da água subterrânea, cobertura vegetal, processos fluviais
Nível e salinidade dos lagos	Uso do solo, vazão, fluxo de água subterrânea
Nível relativo do mar	Afundamento e elevação costeira, afastamento das águas, sedimentação e compactação
Sequência e composição do sedimento	Uso do solo, erosão e deposição
Sismicidade	Estresse terrestre liberado por causas naturais ou induzidas pelo homem
Posição da linha costeira	Erosão costeira, uso do solo, nível do mar, transporte e deposição de sedimentos
Ruptura da encosta - deslizamento	Estabilidade da encosta, movimento de massa, uso do solo
Erosão do solo e sedimentação	Superfície de escoamento, vento, uso do solo
Qualidade do solo	Uso do solo, composição química, biológica, e processos físicos
Vazões	Precipitação, descarga da bacia, uso do solo
Morfologia do canal do curso d'água	Carga de sedimentos, vazão, clima, uso do solo, deslizamentos superficiais
Carga e armazenagem de sedimentos no curso d'água	Transporte de sedimentos, vazões, uso do solo, descarga da bacia

Geoindicadores	Mudanças ambientais refletidas
Perfil de temperatura do subsolo	Fluxo de calor, uso do solo, cobertura vegetal
Deslocamento da superfície	Elevação e afundamento do solo, falha, extração de água
Qualidade da água superficial	Uso do solo, interações entre água, solo e rocha, vazões
Sismicidade vulcânica	Movimento perto da superfície do magma, fluxo de calor, desgaseificação magmática
Tamanho, estrutura e hidrologia das áreas alagadas	Uso do solo, produtividade biológica, vazões
Erosão eólica	Uso do solo, vegetação

Conclusão

A possibilidade de utilização de multi agentes causais como base para a produção de geoindicadores permite que este seja utilizado para o monitoramento de geodinâmicas nos mais diversificados ambientes, como fluviais, costeiros, desérticos, montanhosos e de geleiras, e também para diferentes escalas.

Zuquette, Pejon e Collares (2004) desenvolveram um trabalho para avaliação de degradação do solo no ambiente costeiro.

Busnelli, Neder e Sayago (2006) avaliaram a degradação do solo utilizando indicadores para avaliação de erosão ocasionada pela água, e pelo gradiente pluviométrico ao longo do tempo.

Ferreira et al. (2005) apresenta a definição de quatro indicadores da degradação ambiental devido à extração mineral de saibro, e secundariamente rocha ornamental, (processos erosivos, irregularidade do terreno, solo exposto e cobertura vegetal) e sua quantificação, obtendo-se um índice numérico de degradação.

Edmunds (1995) desenvolveu um trabalho para monitoramento de águas subterrâneas, discutindo a influência de fatores como, lançamento de efluentes, contaminação do solo, aridez e desertificação, salinização, urbanização, abandono de minas e acidificação.

Canuti et al. (2004) estudou geoindicadores de deslizamento de solo, desenvolvidos em regiões montanhosas.

A primeira etapa para a definição dos indicadores deve ser a identificação dos impactos ambientais a serem estudados. Identificado os impactos, os indicadores devem ser aqueles que resumam ou simplifiquem as informações relevantes, facilitando a interpretação e a compreensão.

Não obstante as características do ambiente em estudo, os geoindicadores devem ser selecionados segundo alguns princípios, como agilidade e baixo custo na obtenção das informações. Não devem se restringir apenas à quantificação de impactos sobre o meio ambiente, sua significância deve estender-se além daquela associada ao valor, deve também conter informações sobre as condições ambientais, configurando-se em uma ferramenta completa. No entanto, a funcionalidade desta ferramenta dependerá da qualidade e da quantidade de informação, fundamental para interpretar e estimar as conexões, inter-relações e os efeitos sinérgicos que geram os impactos (WINOGRAD, 1996).

Devido à complexidade dos ambientes e da dinâmica dos processos, os geoindicadores a serem utilizados variam de caso a caso, muitas vezes é necessária à aplicação de uma diversidade de indicadores para a avaliação de um único evento (TAVARES; CRUZ; LOLLO, 2007).

Para Berger (1997) os geoindicadores devem contribuir na resposta a quatro questões básicas:

- O que está acontecendo no ambiente? (condições e tendências);
- Por que está acontecendo? (causas, humanas e/ou naturais);
- Por que é importante? (efeitos ecológicos, econômicos e na saúde);
- O que se pode fazer acerca disso? (implicações no planejamento e nas políticas)

Apenas a seleção de indicadores adequados não basta, para que os indicadores sejam aplicados, de forma satisfatória, será necessária uma base sólida de informações ambientais que será estruturada de forma a facilitar a análise e compreensão de impactos ambientais e seus fatores causais.

Para a estruturação, organização, espacialização e processamento desta base de dados têm-se utilizado cada vez mais ferramentas denominadas Sistema de Informações Geográficas (SIG).

3.2.1 Geoindicadores como Ferramenta na Gestão Urbana

O estudo da geomorfologia em conjunto com a aplicação de geoindicadores constituem ferramentas em potencial para o planejamento e zoneamento do uso do solo urbano. No âmbito do Plano Diretor, a geomorfologia é utilizada como um dos critérios fundamentais para orientar o zoneamento urbano, a definição das áreas destinadas à expansão urbana, à preservação ambiental e à gestão de riscos (SAADI, 1997). Estas duas ferramentas ajudam na caracterização das condições geradoras dos processos naturais de erosão na bacia, na identificação e delimitação das áreas com susceptibilidade à erosão (zoneamento e planejamento estratégico), e ajudam também na identificação e caracterização dos catalisadores antrópicos da erosão (principalmente o uso e ocupação do solo).

As informações obtidas pelo consórcio de geoindicadores e o SIG podem ser usadas como base para um planejamento estratégico, ajudando na gestão de risco e na precaução de processos erosivos. O ganho econômico por si só justifica tal investimento, vale ressaltar que os custos de recuperação de áreas atingidas por fenômenos naturais agravados por intervenções antrópicas, como no caso das erosões, são significativamente superiores aos que normalmente são utilizados na gestão dos fatores intervenientes (CANIL, 2006).

3.3 Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Rocha (2000) define SIG como um sistema com capacidade para aquisição, armazenamento, tratamento, integração, processamento, recuperação, transformação, manipulação, modelagem, atualização, análise e exibição de informações digitais georreferenciadas, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanuméricos. Um Sistema de Informação Geográfica deve ser capaz de realizar operações espaciais, tais como: interpolação, interpretação, análise de proximidade, processamento de imagens e análises de rede.

A capacidade de realizar operações com dados espaciais relacionados a atributos permite ao SIG o levantamento, a manipulação digital, o mapeamento e a análise de um conjunto de atributos georreferenciados. Com isso, os aplicativos SIG estão contribuindo na produção científica, no gerenciamento dos recursos e na tomada de decisões do planejamento urbano (BERGER, 1997; BRIGUENTI, 2002).

Devido às características facilitadoras para o gerenciamento, existe um enorme potencial para a utilização de bancos de dados geográficos em todas as áreas de atuação do

poder público municipal. As aplicações podem ser variadas, abordando temas como tributação, licenciamento de atividades, parcelamento, uso e ocupação do solo, planejamento urbano, educação, saúde, transportes e trânsito, infraestrutura urbana (redes de energia elétrica, telecomunicações, abastecimento de água, drenagem pluvial, esgotamento sanitário) (DAVIS JÚNIOR; OLIVEIRA, 2002), além de planos estratégicos, setorização e etc. Para isso, ela trabalha com um conjunto de disciplinas como geografia, cartografia, sensoriamento remoto e fotogrametria. Os dados podem ser obtidos de diversas fontes, tais como: fotografias aéreas, imagens de satélite, mapas, e pesquisas e medições de campo.

Uma característica sobre os SIG é que estes, além de manipular itens de dados chamados “convencionais” (números, textos, booleanos, etc.), também manipulam dados espaciais (geometria e relacionamentos topológicos das entidades geográficas) e dados pictóricos.

Os dados em um SIG podem ser representados em dois formatos:

(a) Vetorial: representa objetos geométricos por intermédio de pontos, linhas, e polígonos.

(b) Matricial ou Raster: caracteriza-se por uma matriz de pontos, onde cada ponto representa o valor de um atributo fornecido por uma localização geográfica do mundo-real.

Segundo Rocha (2000), um SIG deve possuir as seguintes características:

- Ter capacidade para coletar e processar dados espaciais obtidos a partir de fontes diversas, tais como: levantamentos de campo (incluindo o sistema GPS), mapas existentes, fotogrametria, sensoriamento remoto e outros;

- Ter capacidade para armazenar, recuperar, atualizar e corrigir os dados processados de uma forma eficiente e dinâmica;

- Ter capacidade para permitir manipulações e a realização de procedimentos de análise dos dados armazenados, com possibilidade de executar diversas tarefas, tais como, alterar a forma dos dados através de regras de agregação definidas pelo usuário, ou produzir estimativas de parâmetros e restrições para modelos de simulação e gerar informações rápidas a partir de questionamentos sobre os dados e suas interrelações;

- Ter capacidade para controlar a exibição e saída de dados em ambos os formatos, gráfico e tabular.

Podemos acrescentar a esta lista uma interface intuitiva e simples que facilite o acesso ao programa (COSTA; SILVA JÚNIOR, SANTOS, 2007).

Uma das maiores dificuldades de se aplicar o SIG é a construção de um banco de dados que agregue informações suficientes para análise do ambiente físico. Valério Filho e

Araújo Junior (1995) enfatizam que o uso de técnicas de geoprocessamento em SIG possibilita a aquisição, manipulação e a integração de dados numéricos, servindo de subsídios para a caracterização espacial/temporal de áreas.

A facilidade de integração de dados de diversas fontes e para produção de mapas tornam o SIG uma potente ferramenta. Os mapas gerados podem mostrar mais que endereços e quadras, eles podem revelar as diferentes expressões de fenômenos como exclusão social, criminalidade, risco ambiental entre outros. E quando associado a indicadores podem capturar a noção de que espaço geográfico está em permanente mudança. Entretanto a qualidade das análises depende fortemente da disponibilidade de dados, e de sua confiabilidade (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2005).

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Características gerais do município

O município de Jaú está localizado no centro-oeste do Estado de São Paulo (Figura 1), e tem como marco central a Latitude Sul 22° 17' 44'' e Longitude Oeste 48° 33' 30''. Possui uma área de 688 Km² e altitude média de 522 metros.

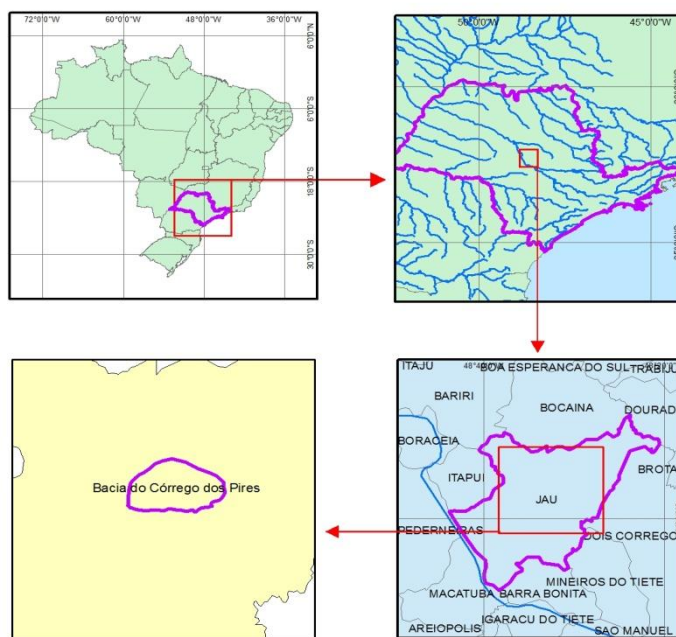


Figura 1 – Localização do Município de Jaú, São Paulo

De acordo com a classificação de Köppen o clima de Jaú é do tipo CWA Mesotérmico, também chamado de Tropical de Altitude, caracterizado por possuir inverno seco e verão chuvoso, com temperatura média superior a 22°C. A precipitação média anual é de 1.428 mm, com período chuvoso de outubro a março e período seco de abril a setembro, apresentando uma umidade relativa média do ar de 70%.

Jaú está situada em um planalto basáltico de baixas altitudes com morrotes alongados e espigões, drenagem de média a alta densidade, com padrões dendríticos e vales fechados (Rodrigues, V.L., 2008).

O município está inserido na UGRHI 13 (unidade hidrográfica de gerenciamento de recursos hídricos).

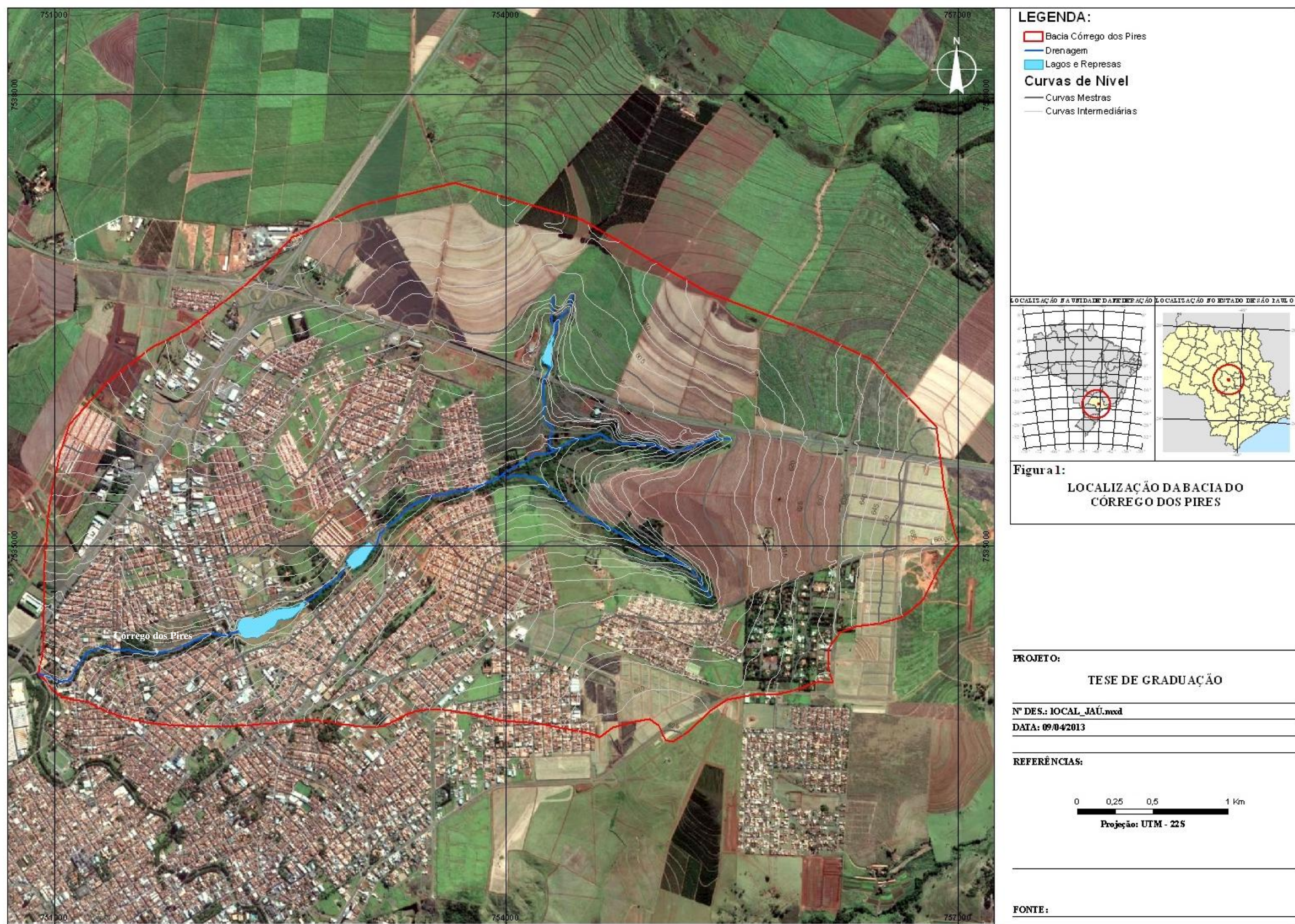


Figura 2 – Localização da Bacia do Córrego dos Pires, Jaú

4.2 Problemática da área de estudo

A área estudada compreende uma bacia localizada no interior da malha urbana do município de Jaú, formada pelo Córrego dos Pires, cuja bacia possui uma área de 16,6 km² (Figura 2), caracterizada como uma bacia de ocupação recente e de forte dinâmica ocupacional, tendo praticamente toda a sua superfície sofrido processo de antropização.

A grande quantidade de pessoas que migraram em direção aos centros urbanos passou a ocupar as áreas periféricas da cidade de Jaú, e essas áreas, em grande parte dos casos, não dispunham de nenhum tipo de planejamento para receber a nova população. Os loteamentos instalados de forma desordenada nas áreas periféricas alteraram a dinâmica superficial de escoamento, expondo o solo aos processos erosivos. Essa sucessão favoreceu o aparecimento de grandes feições erosivas que podem resultar em riscos, poluição de cursos d'água, aumento da produção de sedimentos, e ocorrência de enchentes, como observado em casos semelhantes de urbanização (CANIL, 2001, 2006; LISTO; VIEIRA, 2009).

O Plano Diretor elaborado para a cidade tem como objetivo dar as diretrizes e orientar a ocupação desses novos espaços, além de garantir a correta gestão do território. Se atendido, a expectativa é de que os impactos decorrentes da ocupação antrópica sejam reduzidos.

4.3 Plano Diretor de Jaú

O Plano Diretor é um dos instrumentos oficializados pelo Estatuto da Cidade (lei 10.257 de 10 de julho de 2001), tornando-se uma das principais ferramentas de planejamento urbano. Segundo a definição no escopo da lei, o Plano Diretor é "o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana", sendo obrigatório para Municípios que se encontram enquadrados em qualquer um dos aspectos a seguir:

- Municípios com mais de vinte mil habitantes ou conurbados;
- Municípios integrantes de "área de especial interesse turístico" ou área em que haja atividades com significativo impacto ambiental;
- Municípios que queiram utilizar de parcelamento, edificação ou utilização compulsória de imóvel.

O município de Jaú atende ao menos a uma destas categorias, possuindo mais de 20 mil habitantes.

Atendendo à obrigatoriedade legal Jaú formulou seu plano diretor no ano de 2006, implementado pela Lei Complementar número 277, de 10 de outubro de 2006 (PLANO DIRETOR DE JAHU, 2006).

A bacia do Córrego dos Pires esta localizada em uma área de relevante interesse ambiental, tendo diretrizes voltadas a sua conservação e gestão.

A bacia do Córrego dos Pires está inserida dentro da política municipal de áreas verdes, que por sua vez visa:

- I. “Dar tratamento adequado à vegetação enquanto elemento integrador na composição da paisagem urbana;
- II. Promover a arborização viária e o cumprimento da função de lazer dos parques e praças municipais;
- III. Promover e, quando for o caso, exigir a recuperação de áreas verdes degradadas;
- IV. Programar e exigir a efetiva implantação de áreas verdes em conjuntos habitacionais e loteamentos.”

Na Seção 5, do referido Plano Diretor, que dispõe sobre “Saneamento Básico”, encontra-se o seguinte objetivo:

“III. Despoluir e manter despoluídos o Rio Jahu, os córregos Figueira, Pires, Independência, Ave Maria, Água Branca, Pouso Alegre e Pau D’Alho.”

O Córrego dos Pires encontra-se ainda classificado dentro da Zona Especial de Parques Urbanos (ZEPUR):

“III. A ZEPUR do Córrego do Pires corresponde à área lindeira e de alta fragilidade ambiental na cabeceira do Córrego dos Pires, iniciando-se nas divisas dos Jardins Cyla Bauab e Dr Roberto Pacheco até as áreas de proteção das nascentes do referido córrego e destina-se a preservar e recuperar as áreas ambientalmente frágeis desta micro-bacia hidrográfica;”

Sobre os processos erosivos, foco do estudo deste trabalho, a orientação se refere a obras de drenagem em loteamentos. O Artigo 153 da Seção 6 assim dispõe:

“Art. 153 – O projeto de Loteamento do solo para fins urbanos poderá ser aprovado desde que o Loteador:

- IV. Apresente plano de drenagem que inclua a implantação da rede de drenagem de águas pluviais e as obras e providências destinadas a assegurar a permeabilidade do solo e o adequado escoamento das águas para os cursos

d'água comprovadamente capazes de acolher a água a ser drenada, a fim de evitar inundações e erosões.”.

Estas diretrizes compõem o planejamento urbanístico para a bacia do córrego dos Pires, sendo de fundamental importância para a correta gestão ambiental deste espaço.

5. MÉTODOS E MATERIAIS

Com base nos objetivos propostos nesta pesquisa e tendo como referência geral outros trabalhos voltado ao estudo dos processos erosivos pluviais e à sua utilização como geoindicador (CANIL, 2006; CUNHA, 1991; BERGER, 1998), foram definidas seis grandes etapas de trabalho, descritas a seguir.

5.1 Revisão Bibliográfica

O levantamento das informações para a construção dos argumentos do trabalho foi feito utilizando como biblioteca virtual as bases; Dédalus (SIBi USP), SciELO, SBU (Biblioteca Digital da Unicamp), Web of Knowledge (Thonson Reuters) e SciVerse. Utilizando para a pesquisa, comumente, as palavras chaves; Indicadores Ambientais, Geoindicadores, Sistema de Informação Geográfica (SIG), Erosão pluvial, Expansão da malha urbana e etc.

5.2 Levantamento e Processamento de Dados

O levantamento de dados é a uma das etapas mais importantes de projetos que envolvem geoprocessamento, é nesta etapa que se constituirá o banco de dados, que consiste em capturar e armazenar as informações importantes.

Os mapas topográficos foram obtidos utilizando como fonte o “Plano Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC, 1980)”, em escala 1:10000. Com os dados obtidos do mapa topográfico foi possível gerar o Modelo Digital do Terreno (MDT), Declividade e Curvatura da encosta, que constituíram os mapas temáticos. Visando o mapeamento do uso e ocupação do solo e o mapeamento de erosões, foram levantadas imagens que cobriam o período de 10 anos, abrangendo os anos de 2001, 2005 e 2010 (Tabela 2).

Tabela 2 – Imagens de Satélite e Imagens Aéreas Utilizadas no Trabalho – agregar na tabela de materiais/programas utilizados.

Ano	Fonte	Escala	Tipo
2001	Base SA	1:12500	Foto aérea
2005	Engemap	1:8000	Foto aérea
2010	Google Earth	-	Imagem de satélite

A primeira etapa do geoprocessamento foi a digitalização dos mapas topográficos para obtenção das curvas de nível. Para tal finalidade, utilizou-se a base de dados cartográficas do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC), em escala 1:10.000. Ademais, foi efetuado o georreferenciamento das imagens referentes aos anos de 2001, 2005 e 2010, seguido pela digitalização de todos os componentes da paisagem que pudessem ser significativos para processos de modelação do terreno e úteis aos indicadores.

O uso e cobertura do solo, e as erosões pluviais foram mapeadas a partir das imagens de satélite supracitadas, constituindo os mapas analíticos.

O processo de digitalização e vetorização foi realizado por meio do programa *ArcView*.

5.3 Fotointerpretação

A fotointerpretação consistiu na identificação de alguns equipamentos urbanos, como estradas e ruas, além de uso e ocupação e feições erosivas, tendo como resultado principal a base para as análises ambientais.

A caracterização e avaliação da bacia hidrográfica do córrego do Pires foi realizada por meio de dois processos subsequentes, o processo de fotointerpretação, e o processo de digitalização e processamento dos dados obtidos da fotointerpretação. Estes dois processos constituem parte dos procedimentos empregados para estudo ambiental da bacia do Córrego dos Pires, no período de dez anos (2001 a 2010).

5.4 Mapas Temáticos

No presente estudo foram elaborados mapas temáticos, sendo eles o Mapa Hipsométrico, o Mapa de Declividade e o Mapa de Curvatura da Encosta. O Mapa de Materiais Inconsolidados foi adaptado da dissertação de Rodrigues (2008).

Mapa Hipsométrico e Modelo Digital do Terreno (MDT)

O Mapa Hipsométrico foi elaborado a partir da base topográfica 1:10.000, para sua elaboração procedeu-se com a digitalização de elementos representativos do relevo, que são as Drenagens, os Pontos Cotados e as Curvas de Nível. Com estes atributos, por meio do programa *ArcView*, elaborou-se o Modelo Digital do Terreno (MDT), para isso utilizou-se o comando *Surface → Create TIN from features*. Por fim foi feita uma reclassificação dos intervalos das cotas do terreno, por meio do “Editor de Legendas” do arquivo *TIN*.

Para verificar a qualidade do MDT foram geradas curvas de nível a partir do arquivo *TIN*. As curvas de nível geradas foram sobrepostas às curvas do mapa topográfico utilizado no trabalho.

Mapa de Declividade

Fator de suma importância na formação da erosão pluvial, o mapa de Declividade foi gerado a partir do MDT, por meio da ferramenta *Surface Derive Slope*, do programa *ArcView*, calculando a primeira derivada do arquivo *TIN*, representativo do relevo.

Mapa de Curvatura da Encosta

O Mapa de Curvatura da Encosta foi gerado a partir do MDT, sendo a segunda derivada, calculado por meio da ferramenta *Surface Derive Slope*, do programa *ArcView*. Os valores numéricos obtidos com estes comandos foram classificados em encostas côncavas (concentradoras de fluxo superficial, valores positivos), convexas (dispersoras de fluxo superficial, valores negativos) e planas (valores próximos a zero).

Mapa de Materiais Inconsolidados

O Mapa de Materiais Inconsolidados foi elaborado utilizando como base o mapeamento de materiais inconsolidados elaborado por Rodrigues (2008), para a cidade de Jaú.

5.5 Mapas Analíticos

Os mapas Analíticos gerados foram, Mapa de Uso e Ocupação do Solo e Mapa de Processos Erosivos Pluviais.

Mapeamento de Classes de Uso e Ocupação

Para digitalização do Mapa Temático de Uso e Ocupação foi utilizado o programa *ArcView*, através do comando *Draw Rectangle → Draw Line to Append Polygon*, utilizando-se como base as imagens de satélite. Em seguida efetuou-se a classificação dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo (intervenções antrópicas).

Em linhas gerais as categorias de uso do solo foram adotadas segundo o trabalho de Canil (2006), adaptada à realidade da bacia foco do estudo:

- a) Cobertura Vegetal Natural: Áreas cobertas principalmente por matas;
- b) Reflorestamento: Formações florestais artificiais, disciplinadas e homogêneas;
- c) Área Agrícola: Área destinada a produção agrícola. Este grupo será dividido em agricultura perene e temporária;
- d) Pastagens: Áreas onde predomina vegetação herbácea, com alguns arbustos e árvores esparsas.
- e) Campo Antrópico: Área com solo exposto, sem cobertura vegetal ou com cobertura esparsa. Serão consideradas ainda dentro deste tema, as estradas.
- f) Área Urbana Consolidada: Área densamente ocupada, com ampla disponibilidade de infraestrutura básica e equipamentos, atividades de comércio e serviços, etc;
- g) Área Urbana em Consolidação: Áreas com densidade de ocupação média/alta, apresentando ainda alguns vazios urbanos, infraestrutura e equipamentos não abundantes e pouco abrangentes;
- h) Área Urbana Parcelada: Ocupação periférica com densidade média/baixa, caracterizada por loteamento em implantação, destinados à classe social menos favorecida, em que há falta de infraestrutura e equipamentos urbanos.

Mapeamento das Erosões Pluviais

Os processos erosivos pluviais lineares de sulcamento e ravinamento foram identificados a partir do estudo de imagens de satélite (2010) e fotos aéreas (2001 e 2005).

Após a sua identificação, foram digitalizadas utilizando o comando *Draw Line* do *ArcView*, gerando linhas representativas desses processos.

5.6 Integração e Análise

Com as informações obtidas nas digitalizações e formação da base de dados, diversas ponderações e sobreposições foram feitas, objetivando obter relações causais da erosão pluvial e de sua distribuição no tempo e no espaço como geoindicador da qualidade ambiental da bacia hidrográfica estudada.

5.6.1 Fatores Ambientais Intervenientes na Erosão Pluvial

Utilizando-se do recurso do *ArcView* de manipulação dos dados em tabelas de atributo, diversas ponderações foram feitas, visando à obtenção das relações dos diversos fatores com a ocorrência de processos erosivos. As ponderações foram feitas utilizando a densidade de erosões segundo os diferentes fatores (m/ha); classes de declividade, materiais inconsolidados e curvatura da encosta e classes de usos e ocupação.

- 1) Erosão segundo classes de declividade;
- 2) Erosão segundo material inconsolidado;
- 3) Erosão segundo curvatura da encosta;
- 4) Erosão segundo uso e ocupação da bacia;

Todas as ponderações foram feitas para os três anos de análise (2001, 2005 e 2010).

5.6.2 Evolução da Densidade de Erosões no Tempo e Espaço – Erosão Pluvial como Geoindicador da Bacia

Para visualização da evolução das erosões ao longo do tempo e espaço, foi gerado um Mapa de Densidade de Erosão abrangendo a bacia de estudo. Para elaboração do mapa foi criada uma malha quadriculada com cada célula medindo 200 metros de lado. A densidade foi calculada considerando-se a razão entre o comprimento linear de erosão e a área do quadrado que a contém (quatro hectares). Assim, a densidade de erosão foi dada em m/hectares.

Os Mapas de Densidade de Erosão Pluvial foram aplicados aos três anos de análise, como geoindicador da qualidade ambiental da bacia. A análise por meio do geoindicador objetivou a comparação e a observação da tendência de evolução. Este mapa, em análise

conjunta com os mapas de fatores ambientais, pôde fornecer um entendimento da dinâmica da formação de processos erosivos.

5.7 Materiais utilizados

Os principais materiais, equipamentos e aplicativos necessários no desenvolvimento deste trabalho estão discriminados na Tabela 3.

Tabela 3 – Equipamentos Utilizados no Trabalho

Equipamentos Utilizados
Aplicativo SIG <i>ArcView</i> , versão 3.2a
Plano Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC, 1980)
Fotografias Aéreas (Base AS, 2001; Engemap, 2005)
Imagens de Satélite (GoogleEarth, 2010)

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são apresentados e discutidos os principais resultados obtidos com o presente trabalho.

6.1 Mapa Hipsométrico e Modelo Digital do Terreno (MDT)

O MDT é uma representação digital do relevo da área de estudo, gerada a partir do mapa hipsométrico. A partir desta representação digital do terreno podemos gerar diversos outros mapas, como o de declividade e de curvatura de encosta, ambos essenciais para as futuras análises. A Figura 3, ilustra o mapa hipsométrico.

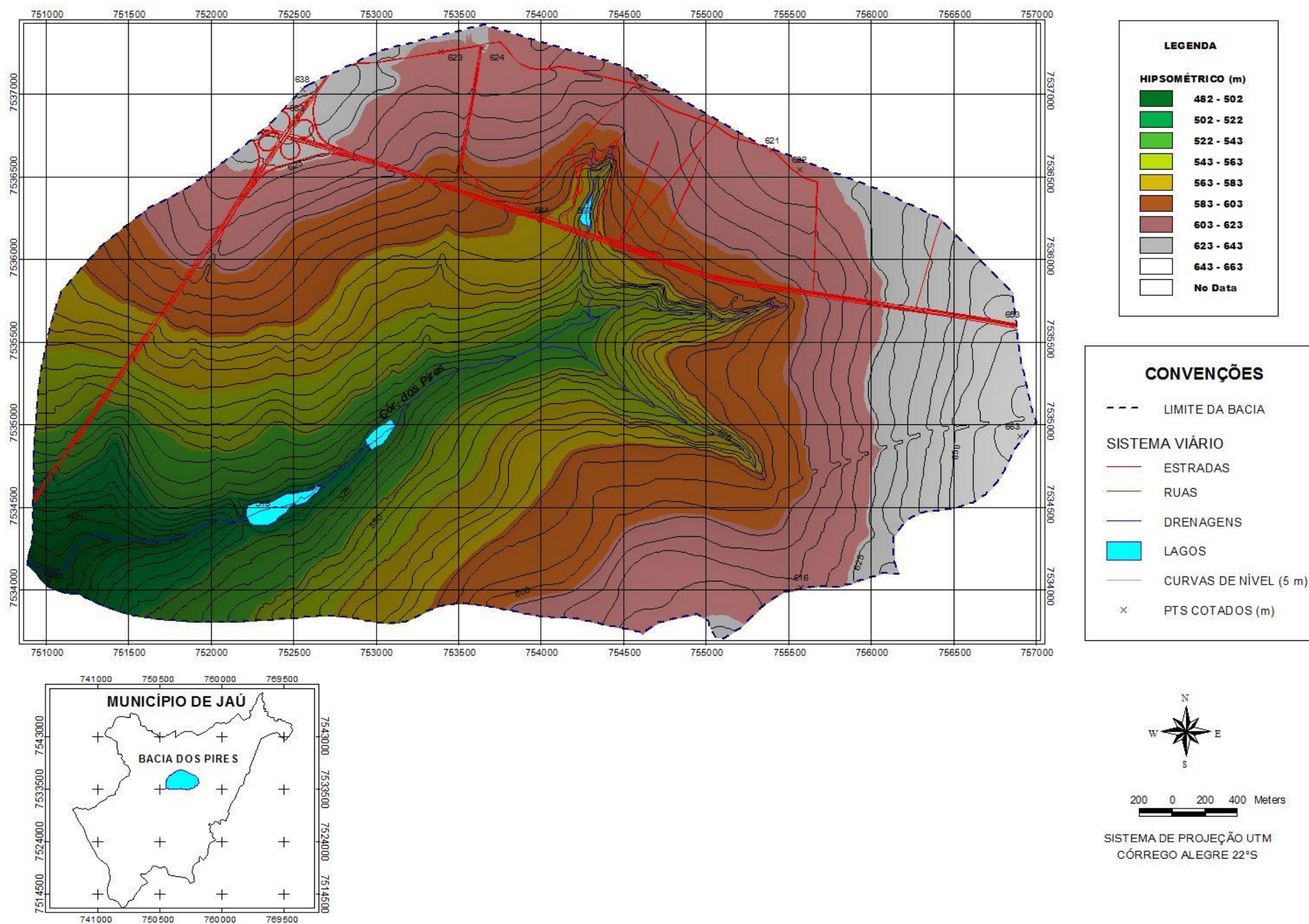


Figura 3 – Mapa Hipsométrico da Bacia do Córrego dos Pires, Jaú

Devido à importância do modelo digital do terreno (MDT) para o estudo procedeu-se com a verificação de sua consistência (Figura 4). O resultado obtido foi uma combinação exata dos traçados das curvas de nível geradas à partir do MDT com as curvas pertencentes à base de dados utilizada no presente trabalho (IGC, 1980). Com este resultado podemos concluir que o Modelo Digital do Terreno, construído com auxílio do ArcView 3.2a, é uma representação próxima à realidade.

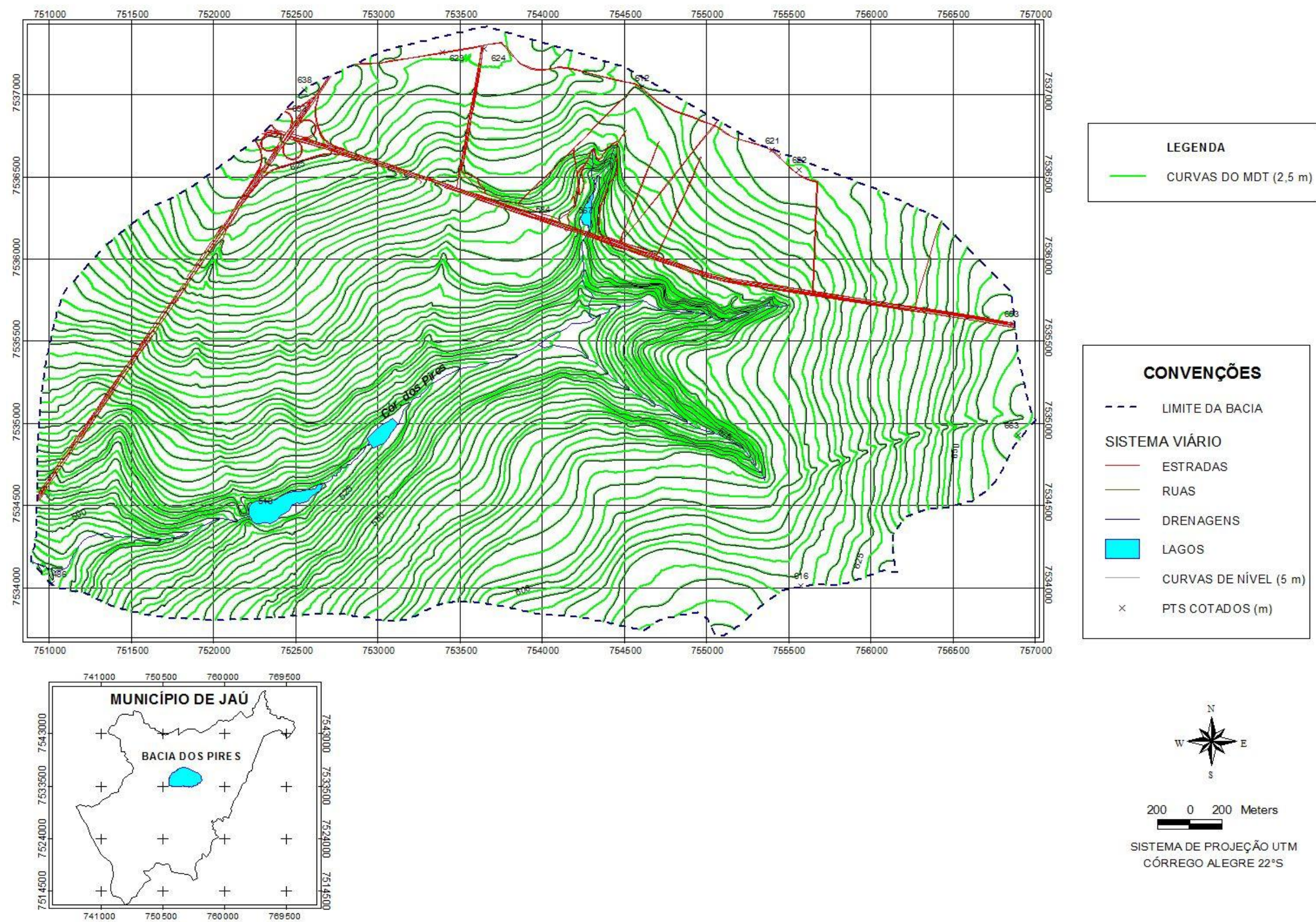


Figura 4 - Verificação do MDT

6.2 Mapa de Declividade

O fator declividade mostra-se diretamente ligado à ocorrência de impactos ambientais. Quanto maior for o declive do terreno, maior será a velocidade do escoamento da água sobre sua superfície.

As classes de declividades elaboradas obedeceram aos intervalos de declives que representam as principais diferenças no comportamento do escoamento superficial, e que possibilitam o transporte de materiais em diferentes níveis.

As divisões foram feitas seguindo os intervalos: 0 a 3%, correspondente às áreas planas, onde o escoamento superficial é muito lento; 3 a 6%, correspondente às áreas quase planas, onde o escoamento apresenta média velocidade, podendo haver riscos de erosão caso haja outros fatores envolvidos; 6 a 12%, correspondente às áreas com relevo suave ondulado e nas quais o escoamento superficial é médio ou rápido, e onde a pré-disposição natural à erosão passa a ser maior; 12 a 20%, correspondente às áreas com relevo ondulado, nas quais o escoamento superficial é rápido; acima de 20%, correspondente às vertentes fortemente inclinadas, cujo escoamento é muito rápido.

A Tabela 4 ilustra a distribuição das classes de declividades na bacia do Pires, segundo o Mapa de Declividades gerado a partir do MDT.

Tabela 4 - Distribuição das classes de declividade na bacia do Pires

Classes de declividade (%)	Área na Bacia (m²)	Área na Bacia (%)
0 - 3	2743531	16.6
3 - 6	7814958	47.2
6 - 12	4862665	29.4
12 - 20	905603	5.5
> 20	276939	1.7

O Mapa de Declividades gerado (Figura 5) nos indica um predomínio das áreas até 6% de declividade. Esse parâmetro indica uma baixa pré-disposição à formação de erosões. No entanto, embora exerça grande influência, a declividade é apenas um dentre os diversos fatores que predispõem a formação de erosões pluviais, e por isso, analisar apenas este fator é insuficiente para conclusões ou avaliações.

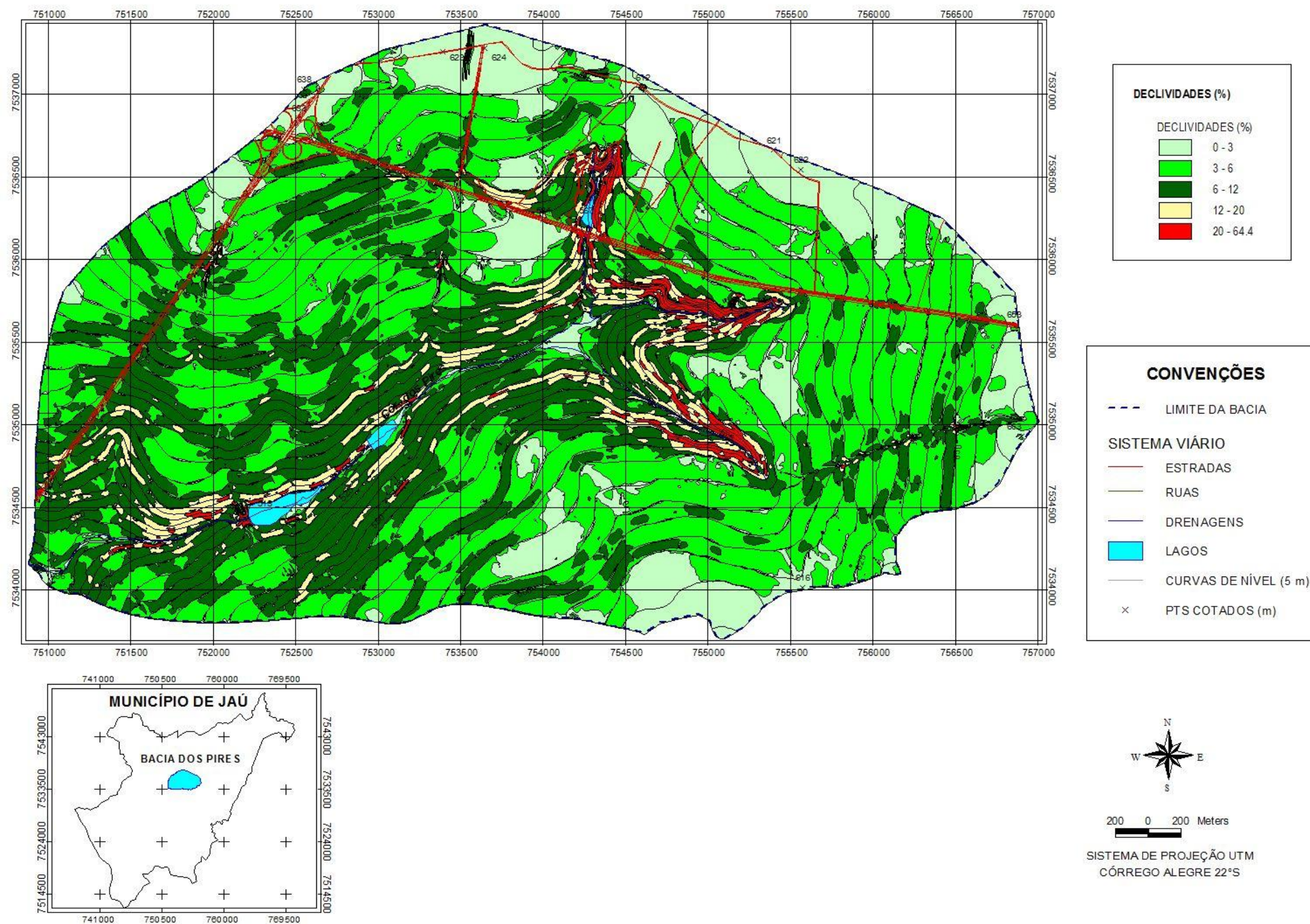


Figura 5 - Mapa de Declividade da Bacia do Pires

6.3 Mapa Curvatura de Encosta

Para entendimento dos processos associados ao fluxo superficial das águas, foi produzido um mapa de curvatura de encostas, que visa classificar as encostas em côncavas, convexas e planas.

Uma vertente apresenta perfil retilíneo quando tem seus ângulos de declividade aproximadamente constantes. Convexo, quando o perfil apresenta curvatura positiva, com ângulos que aumentam continuamente para baixo. Côncavo, quando o perfil apresenta curvatura negativa, com ângulos decrescentes para baixo. Na Figura 6 estão representados os diferentes perfis de encostas.

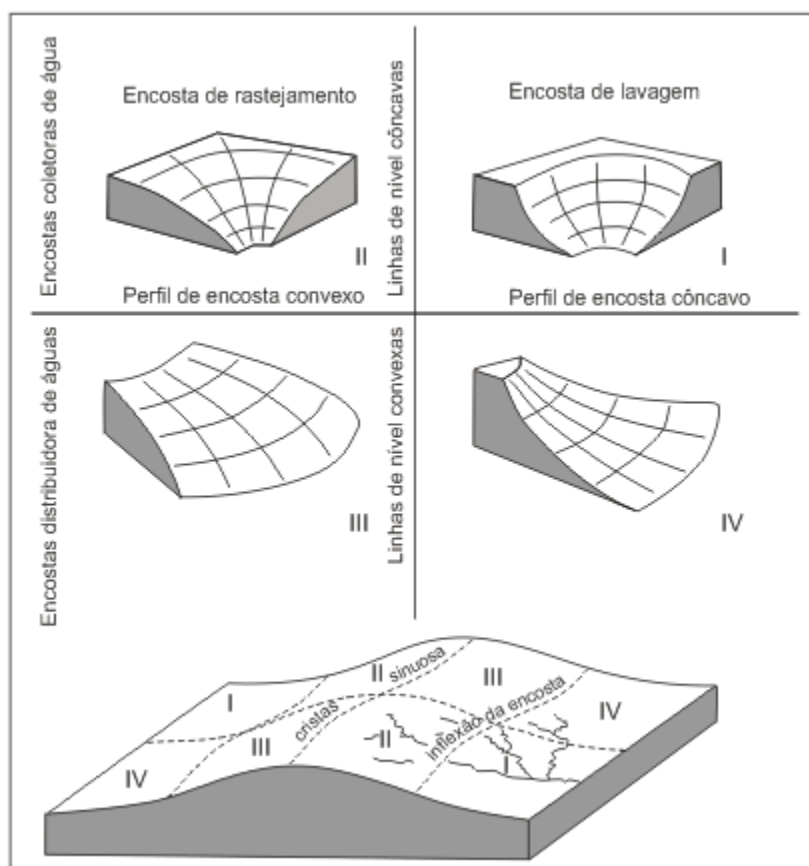


Figura 6 – Tipos de curvatura de encosta (Fonte: <http://www.funape.org.br/geomorfologia>)

Em termos de processo erosivo, as encostas com linhas de nível côncavas são as mais críticas, pois tendem a concentrar o fluxo de água o que aumenta o risco de ocorrência desse fenômeno. As encostas com linhas de nível convexas tendem a espalhar o fluxo, o que reduz o risco de erosões.

Com o auxílio do programa *ArcView 3.2*, foi gerado o mapa de curvatura da encosta através da segunda derivada do MDT (Figura 7). A distribuição de curvaturas pela área da bacia pode ser visualizada na Tabela 5.

Tabela 5 – Curvaturas de encosta na Bacia do Pires

Classes de Curvatura de Encosta	Área na Bacia (m²)	Área na Bacia (%)
<i>Côncava</i>	2716467	16.4
<i>Convexa</i>	5303754	32.1
<i>Plana</i>	8583128	51.5

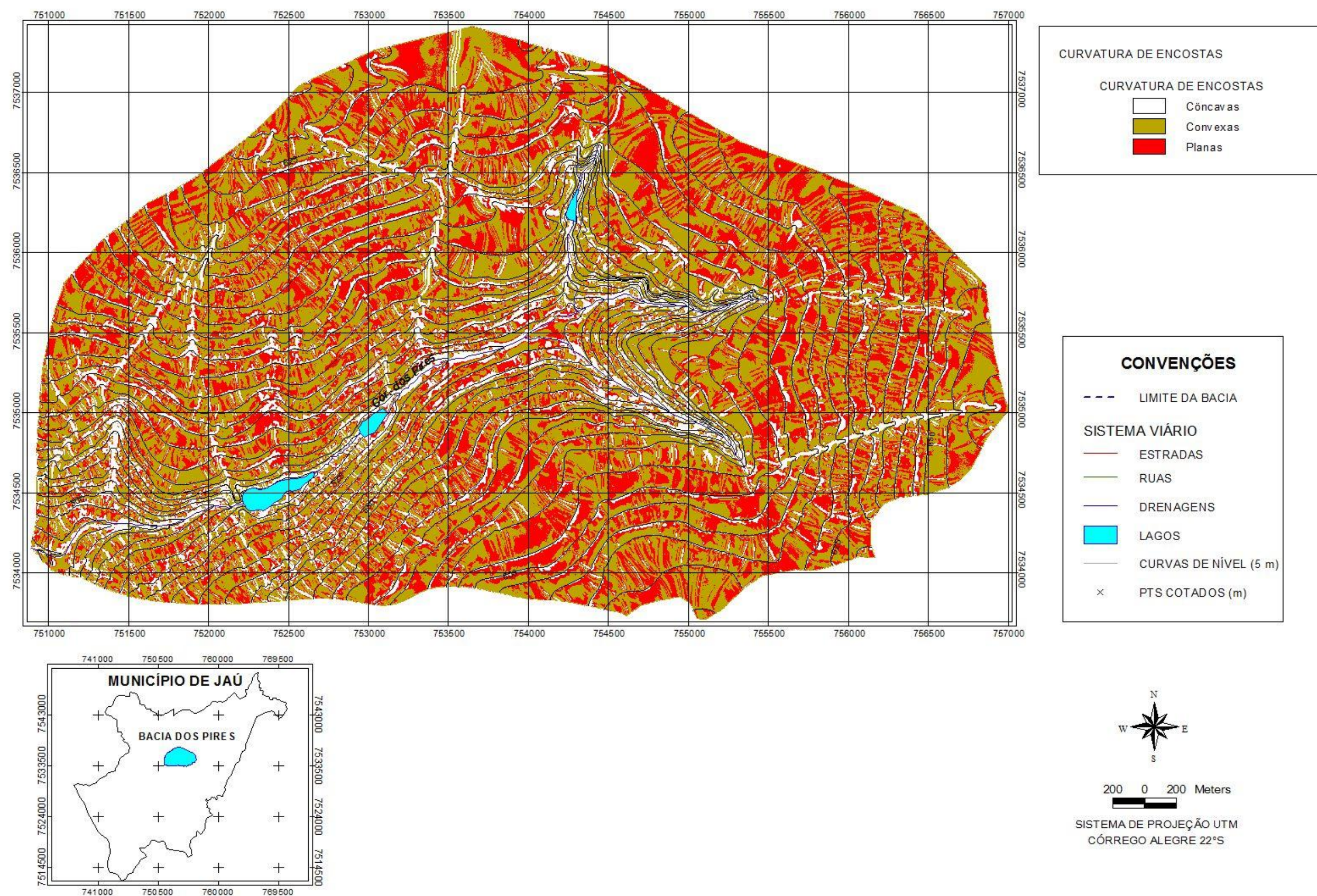


Figura 7 - Mapa de Curvatura de Encosta da Bacia do Pires

6.4 Mapa de Materiais Inconsolidados

A bacia em estudo é caracterizada por solos aluvionares, solo sedimentar da formação Itaqueri, solo residual de basalto maduro e solo residual de basalto jovem (Rodrigues, V.L., 2008).

O solo sedimentar é proveniente da formação Itaqueri, que é caracterizado por camadas alternadas de arenito com cimento argiloso (IPT, 1993), dando origem a um solo residual de arenito. Os solos residuais maduros de basalto e os residuais jovens de basalto são originários da formação Serra Geral. O solo residual maduro de basalto, identificado nesta área, é marcado por um horizonte espesso e textura argilosa, o solo residual jovem, por sua vez, possui um horizonte pouco profundo e de mesma textura (Rodrigues, V.L., 2008). O solo aluvionar é resultante de um ambiente cuja dinâmica é governada pelo transporte e deposição hídrica, a textura depende muito da energia cinética do corpo hídrico e da declividade, sendo em grande parte das vezes argilosa, como verificado na área em estudo. A Tabela 6 sintetiza a ocorrência desses solos na Bacia do Pires, e sua distribuição pode ser visualizada na Figura 8.

Tabela 6 – Solos Componentes da Bacia do Pires

Solos	Área na Bacia (m²)	Área na Bacia (%)
<i>Solo aluvionar</i>	225209	1.59
<i>Solosedimentar formação Itaqueri</i>	1932415	13.63
<i>Solo residual maduro de basalto</i>	11782472	83.14
<i>Solo residualjovem de basalto</i>	245837	1.73

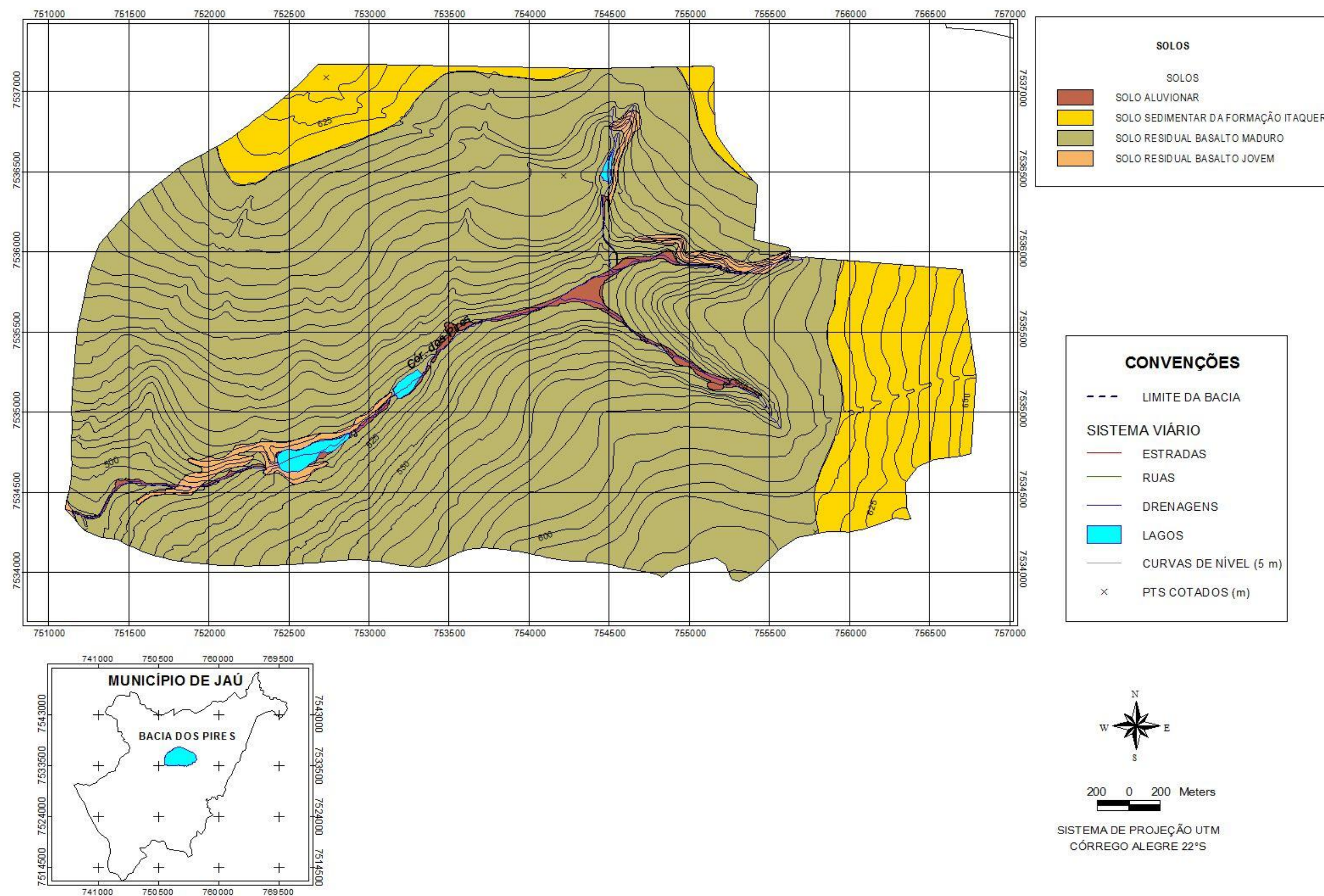


Figura 8 - Mapa de Materiais Inconsolidados da Bacia do Pires

6.4.1 Uso e Ocupação

Em áreas de ocupação antrópica recente, em especial em áreas de especulação imobiliária elevada, os impactos ocasionados pela dinâmica acelerada são difíceis de monitorar, necessitando, muitas vezes, de uma frequência de monitoramento muito curta para acompanhar as mudanças e sua influência nos processos morfodinâmicos.

Dentre os tipos de intervenção antropogênicas demarcadas, destacam-se: campo antrópico, área urbana consolidada e cultura temporária, que compreende os usos mais representativos na bacia. Pequenas porções isoladas de áreas com vegetação natural estão distribuídas pela bacia, ao longo dos cursos d'água, a presença de mata ciliar é escassa, quase inexistente.

A remoção da cobertura original, substituída por equipamentos urbanos e vias de acesso, alteram a superfície do relevo deixando-o exposto à ação da chuva. A maior ou menor intensidade dos fenômenos erosivos, desencadeados pela implantação dos loteamentos e equipamentos urbanos, dependerá da adoção de cuidados.

Para os três anos de análise foram feitos o mapeamento e a quantificação dos tipos de uso e ocupação, visando acompanhar seu desenvolvimento ao longo do tempo, além de permitir a associação com a ocorrência de erosões.

Ano de 2001

O ano de 2001 corresponde ao primeiro ano de estudo deste trabalho. A Tabela 7 ilustra a distribuição segundo as diferentes categorias de uso e ocupação do solo.

Tabela 7 - Distribuição das categorias de uso e ocupação na bacia do Pires, ano 2001

Categorias de uso e ocupação	Área na Bacia (m²)	Área na Bacia (%)
<i>Campo antrópico</i>	4953600	35
<i>Área urbana parcelada</i>	1395589	9.8
<i>Área urbana em consolidação</i>	1325064	9.3
<i>Área urbana consolidada</i>	3841313	27.1
<i>Área agrícola</i>	2576814	18.2
<i>Cobertura vegetal natural</i>	20122	0.1
<i>Reflorestamento</i>	54907	0.4

Os principais tipos de uso e ocupação encontrados na Bacia são campo antrópico (35%) e área urbana consolidada (27.1%), ao passo que a cobertura vegetal natural ocupa uma área ínfima (0.1%), o que confirma uma bacia com grande interferência antrópica.

Baseado na análise da imagem de 2001 da Bacia dos Pires traçou-se o mapa de uso e ocupação (Figura 9).

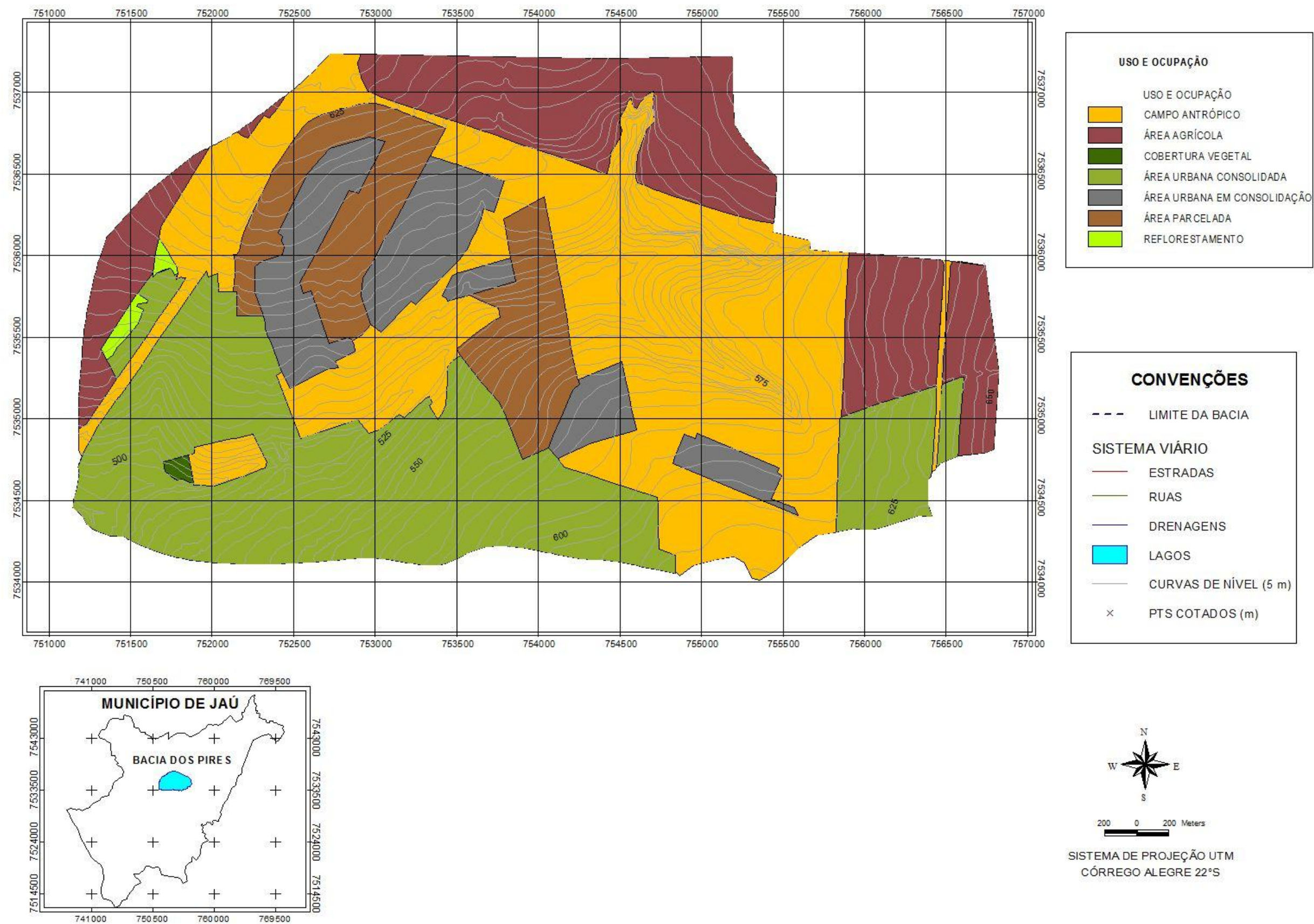


Figura 9 - Mapa Temático de Uso e Ocupação da Bacia do Córrego dos Pires, 2001

Ano de 2005

A Tabela 8 ilustra a distribuição das diferentes categorias de uso e ocupação do solo para o ano de 2005.

Tabela 8 - Distribuição das categorias de uso e ocupação na bacia do Pires, ano 2005

Categorias de uso e ocupação	Área na Bacia (m²)	Área na Bacia (%)
<i>Campo antrópico</i>	4773419	33.7
<i>Área urbana parcelada</i>	1206534	8.5
<i>Área urbana em consolidação</i>	7471586	5.3
<i>Área urbana consolidada</i>	4871586	34.4
<i>Área agrícola</i>	2477608	17.5
<i>Cobertura vegetal natural</i>	25197	0.2
<i>Reflorestamento</i>	76646	0.5

Assim como na imagem correspondente ao ano de 2001, podemos observar que os principais tipos de uso e ocupação encontrados na Bacia são Campo antrópico (33.7%) e Área urbana consolidada (34.4%). Com relação à evolução do uso e ocupação em comparação com o ano de 2001, a principal alteração encontrada foi o aumento expressivo da área urbana consolidada, que teve um aumento de 21.2 % (7,3 % em número absoluto). Podemos destacar também diminuição nas áreas das classes de área urbana parcelada e área urbana em consolidação, isto ocorreu devido à sucessão natural entre suas classificações, com o passar dos anos estas áreas se consolidaram passando à área urbana consolidada.

Baseado na análise da imagem do ano de 2005 traçou-se o mapa de uso e ocupação (Figura 10).

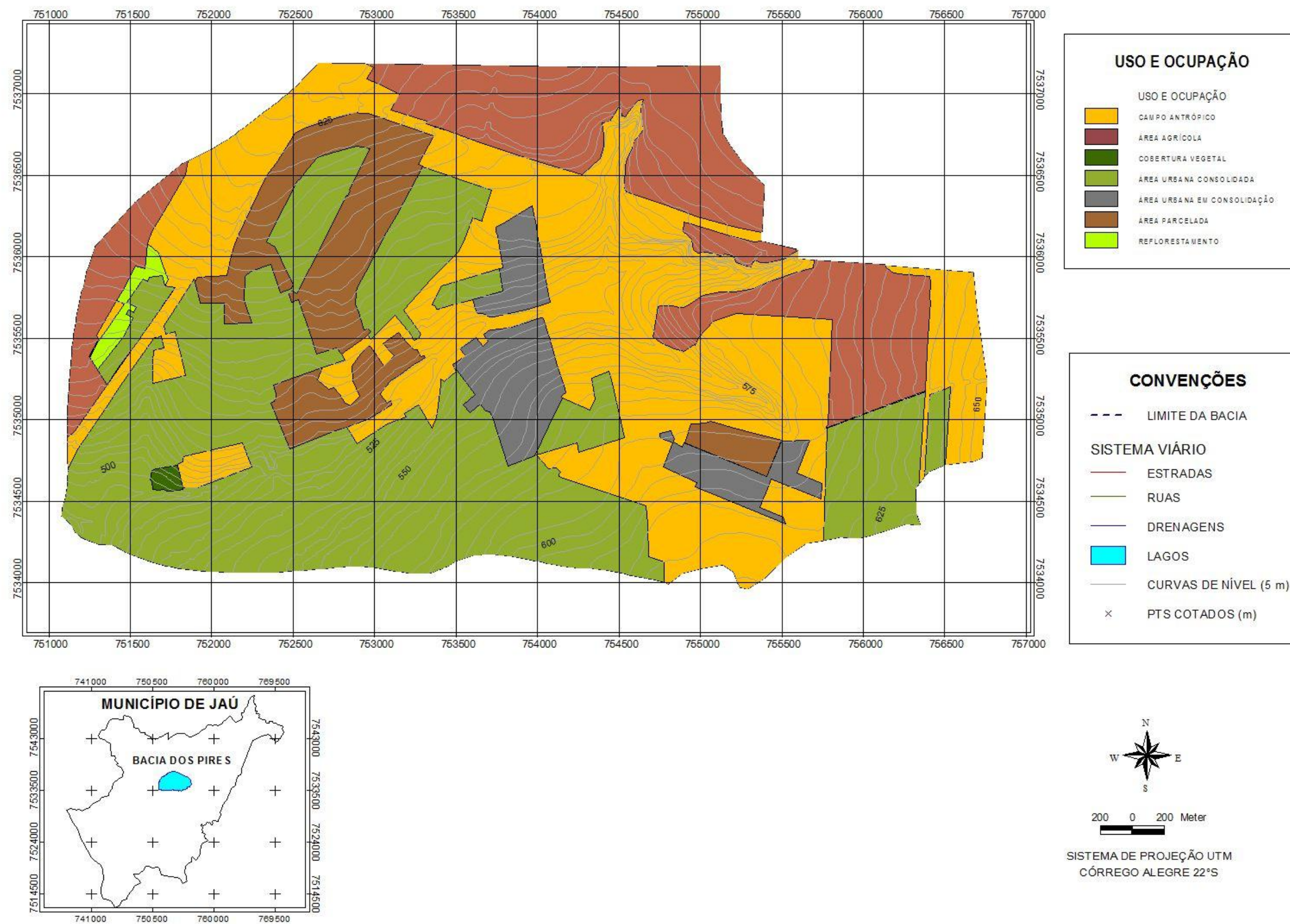


Figura 10 - Mapa Temático de Uso e Ocupação da Bacia do Córrego dos Pires, 2005

Ano de 2010

A Tabela abaixo ilustra a distribuição segundo as diferentes categorias de uso e ocupação do solo traçados na bacia em estudo, no último ano de análise, correspondente ao ano de 2010.

Tabela 9 - Distribuição das categorias de uso e ocupação na bacia do Pires, ano 2010

Categorias de uso e ocupação	Área na Bacia (m²)	Área na Bacia (%)
<i>Campo antrópico</i>	2784991	19.7
<i>Área urbana parcelada</i>	1265367	8.9
<i>Área urbana em consolidação</i>	2341847	16.5
<i>Área urbana consolidada</i>	5154841	36.4
<i>Área agrícola</i>	2565026	18.1
<i>Cobertura vegetal natural</i>	34850	0.2
<i>Reflorestamento</i>	25674	0.2

Assim como nas imagens correspondentes aos anos anteriores, podemos observar que os dois principais tipos de uso e ocupação encontrados na Bacia são Campo antrópico (19.7%) e Área urbana consolidada (36.4%). A evolução do uso e ocupação em relação às avaliações anteriores mostrou que ocorreu um aumento da área urbana consolidada, um acréscimo de 5.5 % em sua área (2% em número absoluto). A alteração mais substancial foi o decréscimo significativo na área da classe de campo antrópico, que sofreu uma redução de 41.5 % em sua área, esta redução foi acompanhada pelo crescimento da área de representação das classes de área urbana em consolidação e área urbana parcelada. Esta sucessão esperada representa a continuidade da ocupação antrópica da bacia. A Figura 11 resume e ilustra a dinâmica de ocupação da bacia estudada ao longo da década avaliada

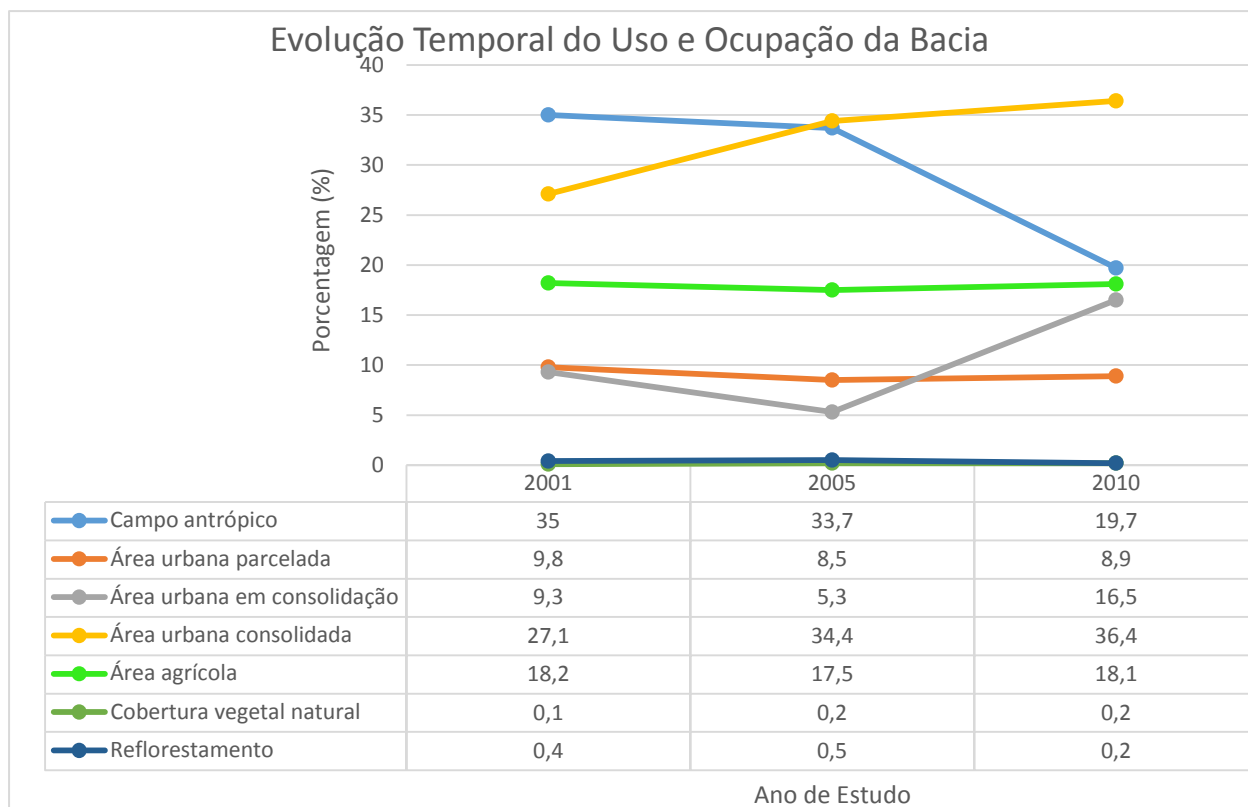


Figura 11 – Evolução Temporal do Uso e Ocupação da Bacia do Córrego dos Pires

Baseado na análise da imagem do ano de 2010 traçou-se o mapa de uso e ocupação (Figura 12 - Mapa Temático de Uso e Ocupação da Bacia dos Pires, 2010).

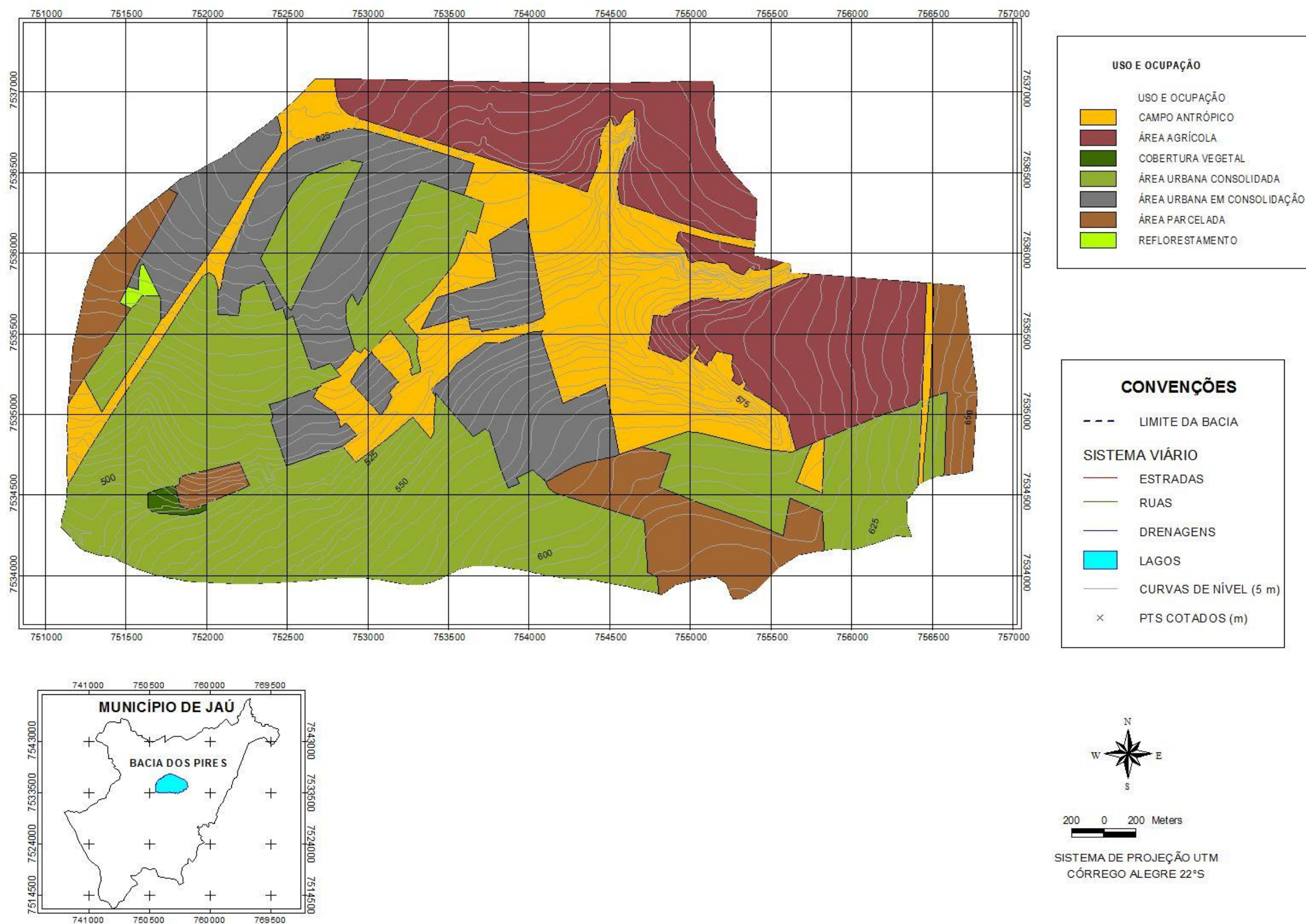


Figura 12 - Mapa Temático de Uso e Ocupação da Bacia dos Pires, 2010

6.4.2 Mapeamento de Erosões Pluviais na Bacia dos Pires

A partir da análise detalhada das imagens utilizadas no presente trabalho as erosões pluviais lineares de sulcamento e ravinamento foram vetorizadas (Figura 13; Figura 14; Figura 15). Estes dados foram utilizados para análise em ponderações com diversos atributos que caracterizam a bacia de estudo.

Devido à dinamicidade da ocupação da bacia, um dos principais fatores causadores de processos erosivos, as erosões sofreram grandes alterações em quantidade de ocorrência e localização. A Tabela 10 lista o comprimento de erosão registrada nos três anos de análise.

Tabela 10 – Comprimento de erosão

Data das imagens	Comprimento de Erosão (m)
2001	36636
2005	26356
2010	17554

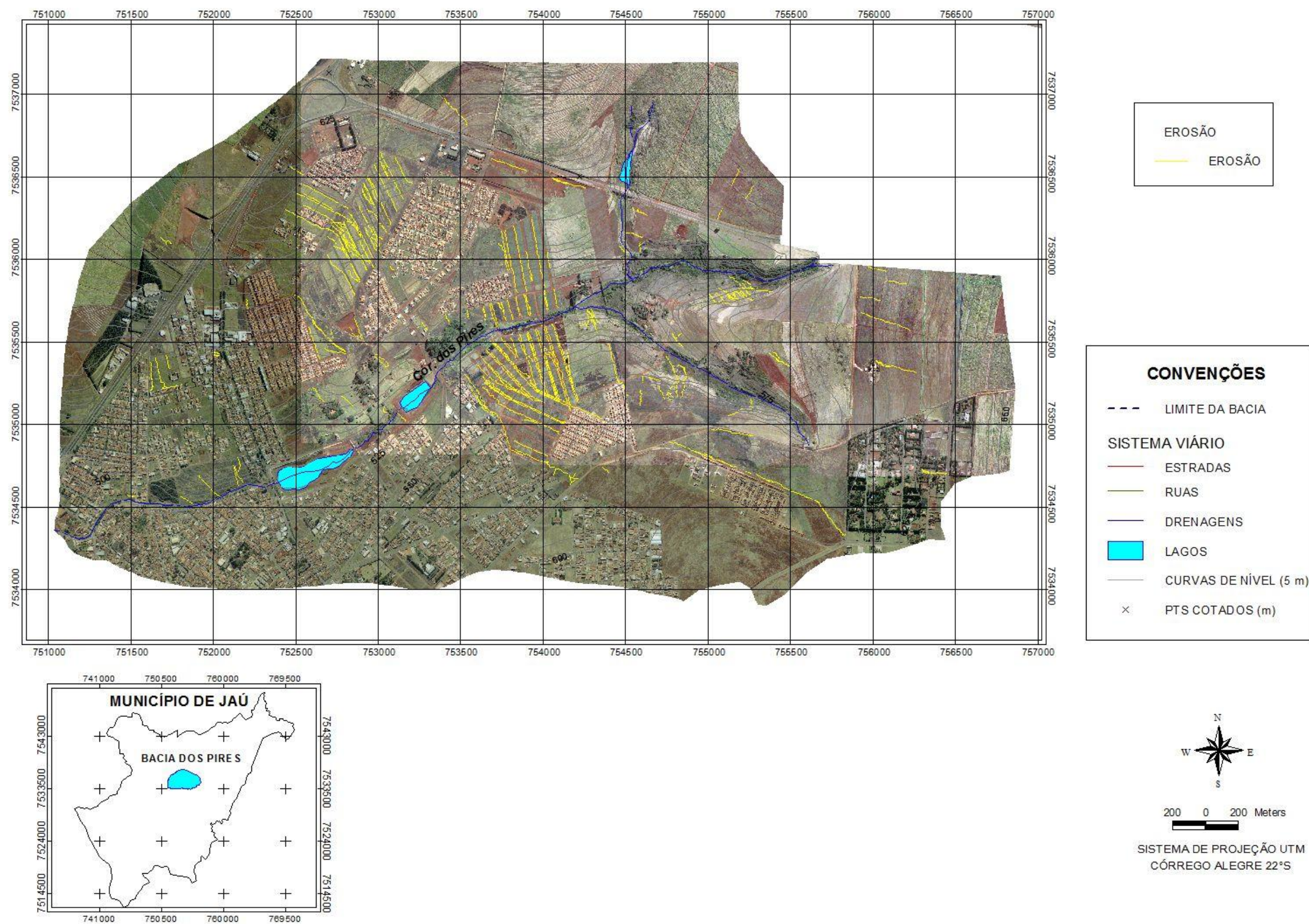


Figura 13 – Mapa Temático de Feições Erosivas na Bacia do Córrego dos Pires, 2001

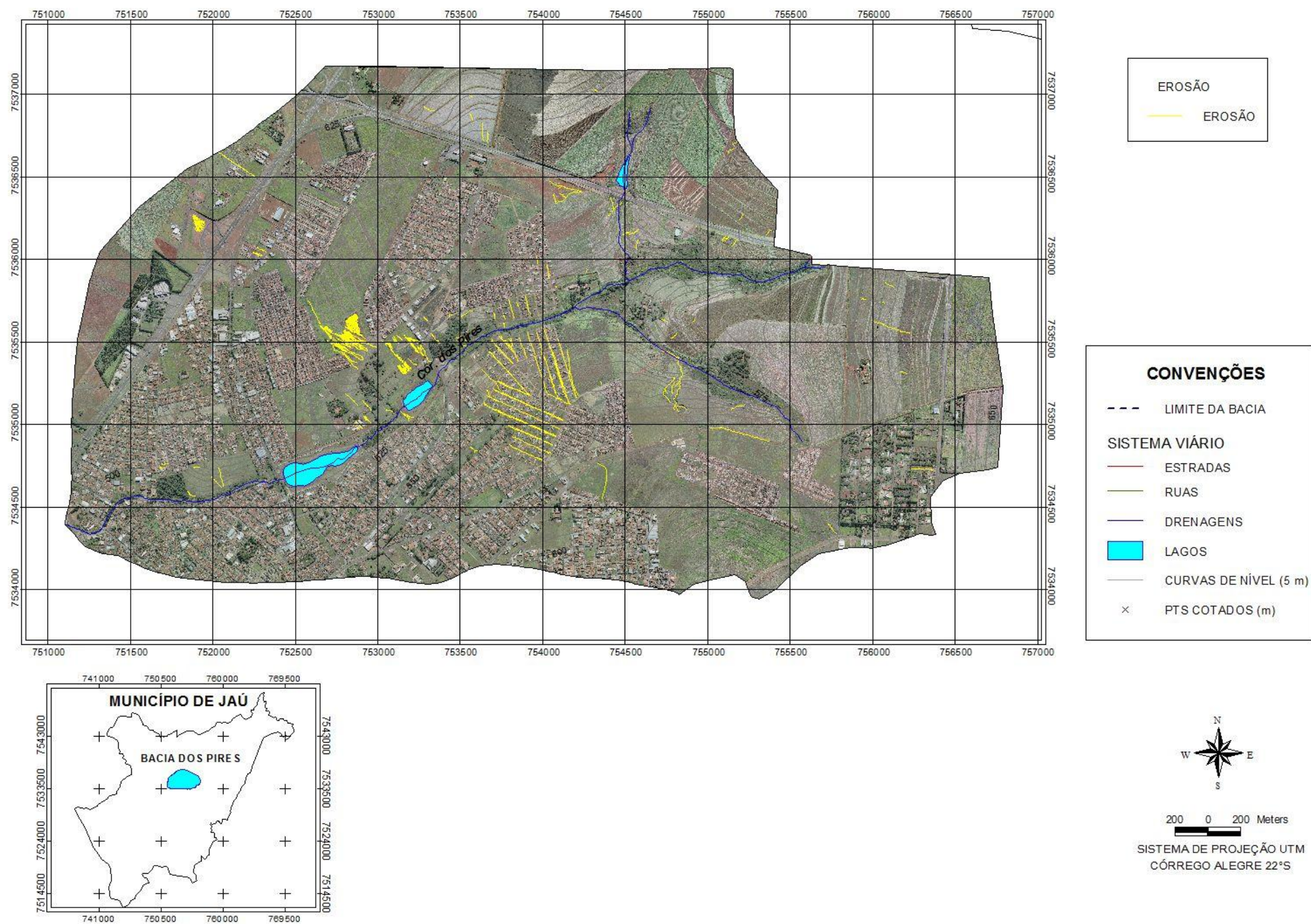


Figura 14 - Mapa Temático de Feições Erosivas na Bacia do Córrego dos Pires, 2005

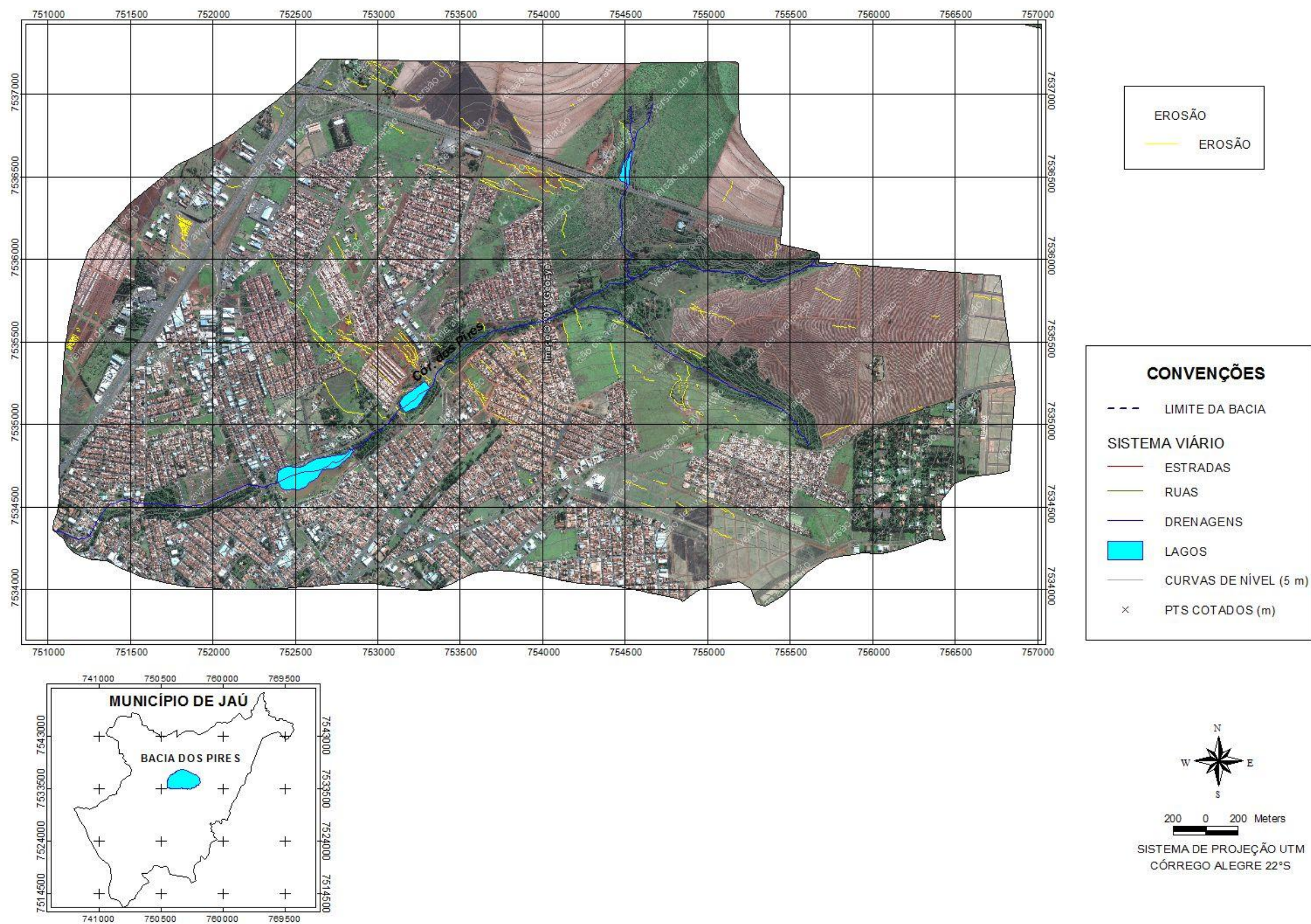


Figura 15 - Mapa Temático de Feições Erosivas na Bacia do Córrego dos Pires, 2010

6.5 Fatores Ambientais e a Dinâmica da Erosão Pluvial

6.5.1 Erosão segundo a declividade

A declividade do terreno é um dos fatores de maior influência na velocidade do escoamento superficial. Visando observar a influência deste fator na ocorrência de erosões na bacia de estudo, foi ponderado o comprimento de erosão por classe de declividade, para os três anos avaliados.

A Tabela abaixo relaciona a ocorrência de erosões segundo as classes de declividade, a relação de erosão pluvial com a declividade é dada por densidade (m/ha) e por comprimento total para cada classe.

Tabela 11 - Ocorrência de erosão segundo a declividade

Data de análise	Classe de declividade (%)	Densidade (m/ha)	Comprimento (m)
<i>2001</i>	0 - 3	5.9	1626
	3 - 6	19.7	15390
	6 - 12	31.8	15470
	12 - 20	40.3	3648
	> 20	18.1	502
<i>2005</i>	0 - 3	4.8	1316
	3 - 6	13.7	10693
	6 - 12	25.1	12212
	12 - 20	20.5	1854
	> 20	10.15	281
<i>2010</i>	0 - 3	7.17	1966
	3 - 6	10.7	8383
	6 - 12	11.7	5679
	12 - 20	14.18	1284
	> 20	8.7	241

Analisando apenas o comprimento de erosão por classe de declividade, a relação nos mostra um predomínio nas classes que abrangem os intervalos de 3 a 6 % e 6 a 12 %, no

entanto, este predomínio é ilusório, ele ocorre devido à maior ocorrência de área destes dois intervalos. Ao se verificar a densidade podemos ter um vislumbre menos deturpado da realidade, segundo o parâmetro as erosões se concentram nas áreas de maior declividade da bacia, nos intervalos de 6 a 12 % e 12 a 20 %, o que pela teoria era esperado. O intervalo que abrange valores superiores a 20 % não possui uma relação estatística condizente devido à baixa representatividade na área da bacia (1.7%).

A Figura 16 ilustra a evolução temporal da ocorrência de erosão segundo a declividade.

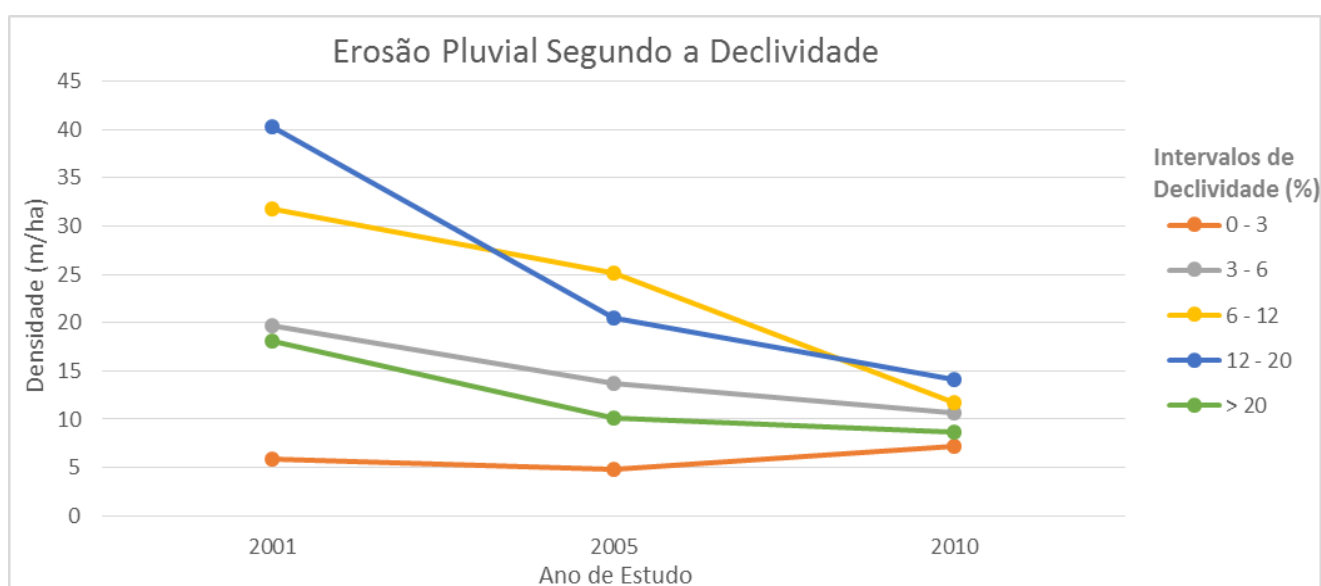


Figura 16 - Erosão Pluvial Segundo a Declividade

Em análise à figura acima fica evidente a maior densidade de feições erosivas nas declividades mais acentuadas (6-12 e 12-20 %), é possível verificar também um decréscimo global da densidade ao longo dos anos estudados.

6.5.2 Erosão segundo Materiais Inconsolidados

As características físicas do solo são fatores importantes a serem considerados, no entanto outras características influenciam fortemente no seu comportamento; a espessura do solo e a profundidade do lençol freático. Este trabalho visa apenas documentar a ocorrência das erosões nos diferentes tipos de solo que compõem a bacia, sem entrar no mérito da influência das variáveis supracitadas. A Tabela 12 contém a análise da ocorrência das erosões nos diferentes tipos de solo.

Tabela 12 - Ocorrência de erosão segundo o tipo de solo

Data de análise	Solos	Densidade (m/ha)	Comprimento (m)
<i>2001</i>	Solo aluvionar	1.24	28
	Solo formação Itaqueri	6.25	1207
	Solo residual maduro de basalto	29.57	34839
	Solo residual jovem de basalto	20.18	496
<i>2005</i>	Solo aluvionar	12.12	273
	Solo formação Itaqueri	4.7	908
	Solo residual maduro de basalto	21.14	24909
	Solo residual jovem de basalto	10.78	265
<i>2010</i>	Solo aluvionar	4.04	91
	Solo formação Itaqueri	8.17	1578
	Solo residual maduro de basalto	13.38	15762
	Solo residual jovem de basalto	5.21	128

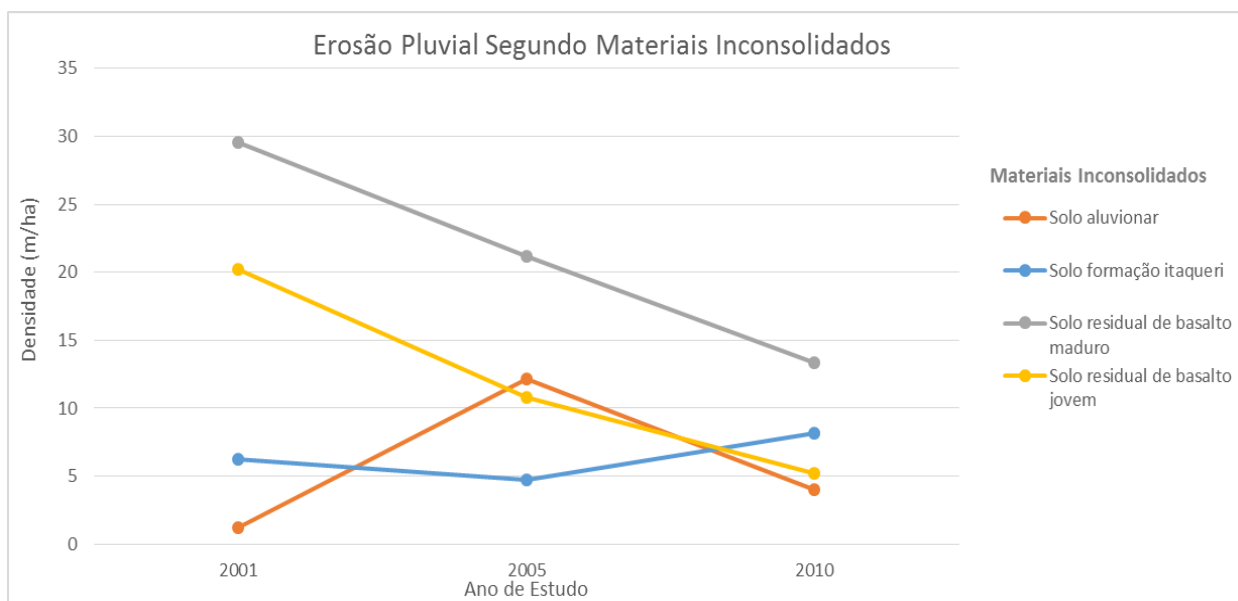


Figura 17 - Erosão Pluvial Segundo Materiais Inconsolidados

Como pode ser observado, o solo de maior ocorrência de processos erosivos, ao longo da década de estudos, é o solo residual de basalto maduro (Tabela 12 e Figura 17). Se formos ponderar as demais informações que possuímos, veremos que quase a totalidade da ocupação antrópica e da expansão da malha urbana ocorrem sobre este solo, resultando em extensas áreas de terreno descampado e compactado, o que reduz a resistência natural destes solos à erosão. O solo residual de basalto jovem e o Solo aluvionar concentram as áreas de maior declividade da bacia, marcadamente o solo residual de basalto jovem, que ainda possuía, até o ano de 2005, como agravante uma maior taxa de ocupação antrópica. No ano de 2005 foi observado a urbanização de áreas próximas à várzea dos rios, o que explica o aumento de feições erosivas sobre o solo aluvionar, considerando sua maior susceptibilidade devido ao fato de ter sua grande parte da sua extensão sobre as áreas de maior declividade da bacia.

6.5.3 Erosão segundo curvatura da encosta

A curvatura da encosta pode ser classificada como côncava, convexa ou plana. Para avaliação dos processos erosivos a curvatura que mais interessa ao estudo é a curvatura côncava, que tende a concentrar o escoamento superficial e consequentemente a formar feições erosivas, sendo assim mais restritiva. As curvaturas côncavas podem ter origem natural, como os leitos dos rios, ou antrópicas, ruas e estradas.

A Tabela 13 nos fornece a relação de erosão pela curvatura de encosta, através da densidade de ocorrência.

Tabela 13 - Ocorrência de erosão segundo a curvatura da encosta

Data de análise	Curvatura da encosta	Densidade (m/ha)
2001	Côncava	23.17
	Convexa	22.46
	Plana	20.86
2005	Côncava	16.6
	Convexa	16.17
	Plana	14.54
2010	Côncava	11.02
	Convexa	10.85
	Plana	9.89

Os valores obtidos na análise confirmam a tendência de concentração de erosão em encostas côncavas, embora os valores não sejam tão discrepantes em relação às demais classificações de curvaturas (Figura 18).

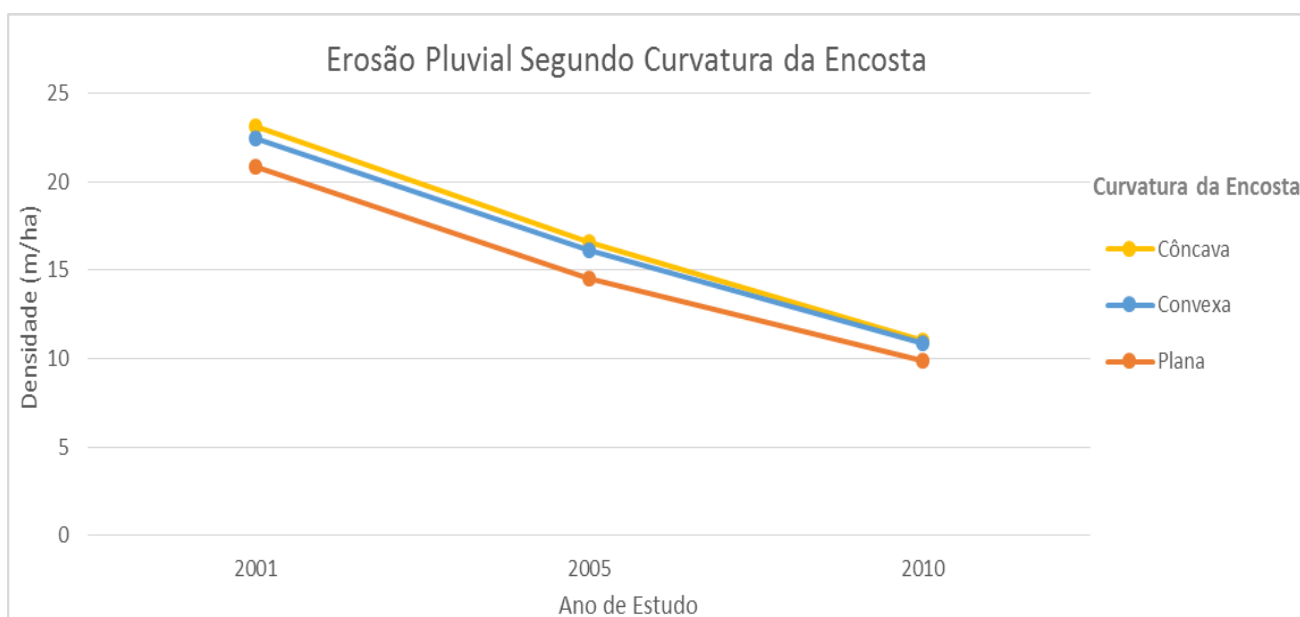


Figura 18 - Erosão Pluvial Segundo Curvatura da Encosta

6.5.4 Erosão segundo uso e ocupação

A alteração da paisagem segundo as atividades antrópicas exercidas é a principal fonte de impactos. Para a ocorrência de feições erosivas este pressuposto se confirma, as erosões ocorrem em maior número em áreas de solo exposto, e áreas em processo de antropização,

onde ocorre concentração de escoamento superficial por obras de drenagens mal executadas, ruas longas dispostas de forma perpendicular às curvas de nível e etc.

A Tabela abaixo representa a ocorrência de erosões por diferentes classes de uso e ocupação, tendo como parâmetro a densidade de erosão.

Tabela 14 - Ocorrência de erosão segundo o uso e ocupação

Data de análise	Uso e Ocupação	Densidade (m/ha)
<i>2001</i>	Área Agrícola	6.38
	Campo Antrópico	21.19
	Cobertura Vegetal	0
	Área Urbana em Consolidação	16.93
	Área Urbana Consolidada	2.95
	Área Parcelada	168.35
	Reflorestamento	0
<i>2005</i>	Área Agrícola	4.98
	Campo Antrópico	15.99
	Cobertura Vegetal	0
	Área Urbana em Consolidação	118.46
	Área Urbana Consolidada	0.76
	Área Parcelada	68.5
	Reflorestamento	0
<i>2010</i>	Área Agrícola	12.08
	Campo Antrópico	26.44
	Cobertura Vegetal	0
	Área Urbana em Consolidação	21.96
	Área Urbana Consolidada	0.7
	Área Parcelada	13.8
	Reflorestamento	0

As classes de uso e ocupação onde se observou maior incidência de erosão são; campo antrópico, área parcelada e área urbana em consolidação. O Campo antrópico corresponde às áreas de solo exposto e às áreas ocupadas por estradas, nestes locais a incidência de erosão é comum, pois ao se privar o solo da cobertura vegetal sua superfície fica susceptível a ações de compactação do solo, impacto direto das gotas de chuva e escoamento superficial. As estradas, por sua vez, acabam por se converter em grandes captadores de água, que são dispostas em canaletas e por fim é lançada/despejada em algum terreno, esse grande volume de água quando disposto sem os devidos cuidados causa grandes erosões (Figura 21).

Áreas classificadas como “Reflorestamento” e “Cobertura vegetal” não possuem feições erosivas. Podemos explicar tal acontecimento pela dissipação de energia pela cobertura vegetal, que intercepta as gotas de chuva, dissipa a energia cinética da queda e evita o seu impacto direto sobre a superfície, o que reduz o grau de desagregação do solo. Aliado a este, outro fator corrobora para a conservação destas áreas, nestes terrenos as ações de compactação ocasionadas pela circulação de animais ou então de engenhos humanos é nula ou muito reduzida, o que permite a manutenção de um ambiente resistente a processos erosivos.

Nas áreas classificadas como de área parcelada e área urbana em consolidação foi observado grande ocorrência de erosões, isto ocorre devido à forma precária como estas áreas são instaladas no terreno, sem obras de drenagem, e feitas em solo compactado. Em muitos dos loteamentos instalados, ao longo da década estudada, as ruas eram instaladas na perpendicular com as curvas de nível (Figura 21), a água coletada pela cobertura das casas acaba sendo acrescentada a água coletada pelas ruas, este volume crescente de água possui alto poder erosivo (Figura 20). Como pôde ser observado na Figura 19 as classificações de uso e ocupação que concentram as feições erosivas são: área parcelada, área urbana em consolidação, e campo antrópico. É marcante a inversão do pico de densidade de área parcelada para área urbana em consolidação, observada entre os anos 2001 e 2005, isto ocorreu devido à sucessão de áreas susceptíveis com grande incidência de erosões, que passaram a terrenos parcelados para urbano em consolidação sem que houvessem sido feitas as obras hidráulicas e recuperação das áreas impactadas.

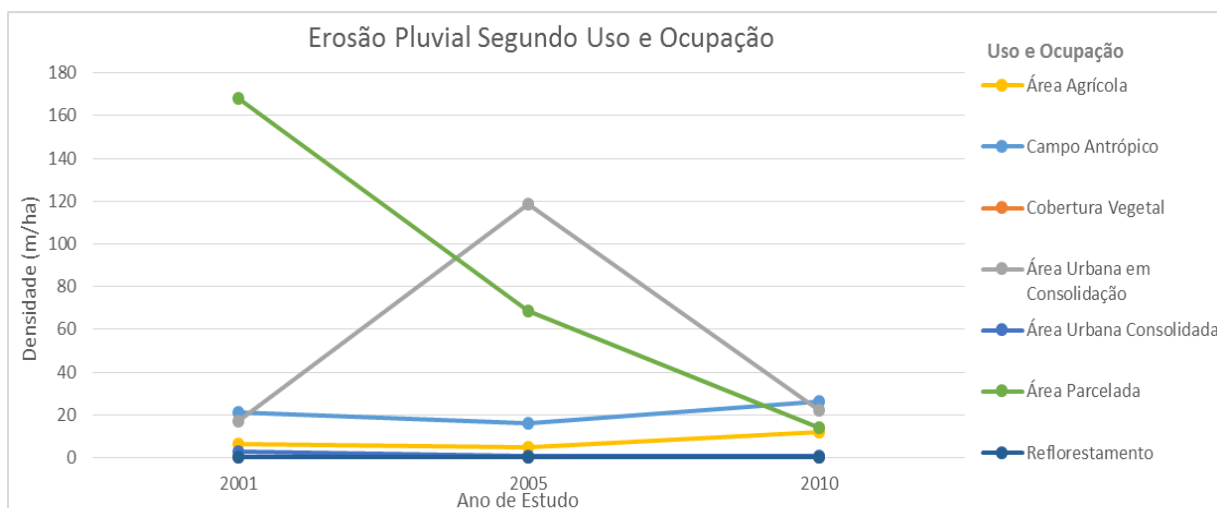


Figura 19 – Erosão Pluvial Segundo Uso e Ocupação

Iwasa & Fendrich (1998) recomendam algumas diretrizes a serem tomadas com relação a futuros loteamentos, dentre elas: manter desocupadas linhas de drenagem natural, utilizando-as como áreas verdes, o traçado viário deve evitar ruas longas situadas perpendicularmente às curvas de nível, procurar situar as vias principais paralelamente às curvas de nível; lotes vazios devem ser mantidos com cobertura vegetal. Estas diretrizes são sacramentadas e devem ser aplicadas visando reduzir a ocorrência de impactos, no entanto, como pudemos observar no presente estudo, tais medidas não foram aplicadas durante o loteamento da bacia do ribeirão dos Pires, o que resultou na incidência de impactos ambientais.

Conforme a ocupação se consolida, as obras de drenagem urbanas são instaladas, as ruas asfaltadas e assim as áreas de risco a ocorrência de erosão acabam sendo reduzidas. O que explica a baixa ocorrência em áreas classificadas como “Área Urbana Consolidada”.



Figura 20 – Ruas perpendiculares a curvas de nível (Área urbana em consolidação, 2005)



Figura 21 – Erosão por escoamento superficial (Área Parcelada, 2001)

6.6 Frequência Temporal e Espacial da Erosão Pluvial, Monitoramento Ambiental da Bacia do Pires

Visando acompanhar a evolução das áreas com ocorrência de erosão, ao longo do tempo e espaço, foi criado um mapa de densidade de erosão para cada um dos anos de estudo.

A aplicação deste geoindicador nos permitiu observar a redução da densidade de erosão pluvial ao longo do tempo. A análise numérica associada à análise espacial, viabilizada pela ferramenta de geoprocessamento, nos permitiu observar o comportamento espacial das áreas de adensamento de erosão pluvial. Nos anos de 2001 e 2005 os maiores adensamentos de erosão estavam relacionados aos loteamentos recém-instalados, que comumente eram implantados sem as devidas estruturas de drenagem e sem asfaltamento. Com a consolidação destas novas áreas urbanas tais estruturas foram implantadas, e os processos erosivos corrigidos, desta forma podem observar na Figura 24 - Mapa Temático de Densidade de Erosão na Bacia do Córrego dos Pires, 2010) a drástica redução na densidade de erosão e a dispersão espacial do processo geodinâmico estudado. No ano de 2010 permaneceram as feições erosivas que estavam associadas às áreas de maior declividade, quase sempre conjugada com solo exposto. Sendo que as maiores densidades observadas neste ano estavam relacionadas às áreas próximas às grandes vias, devido à água canalizada e despejada por esta, nos períodos de chuvas, e às áreas de empréstimo de solo, que foram expostos e tiveram a geomorfologia local alterada.

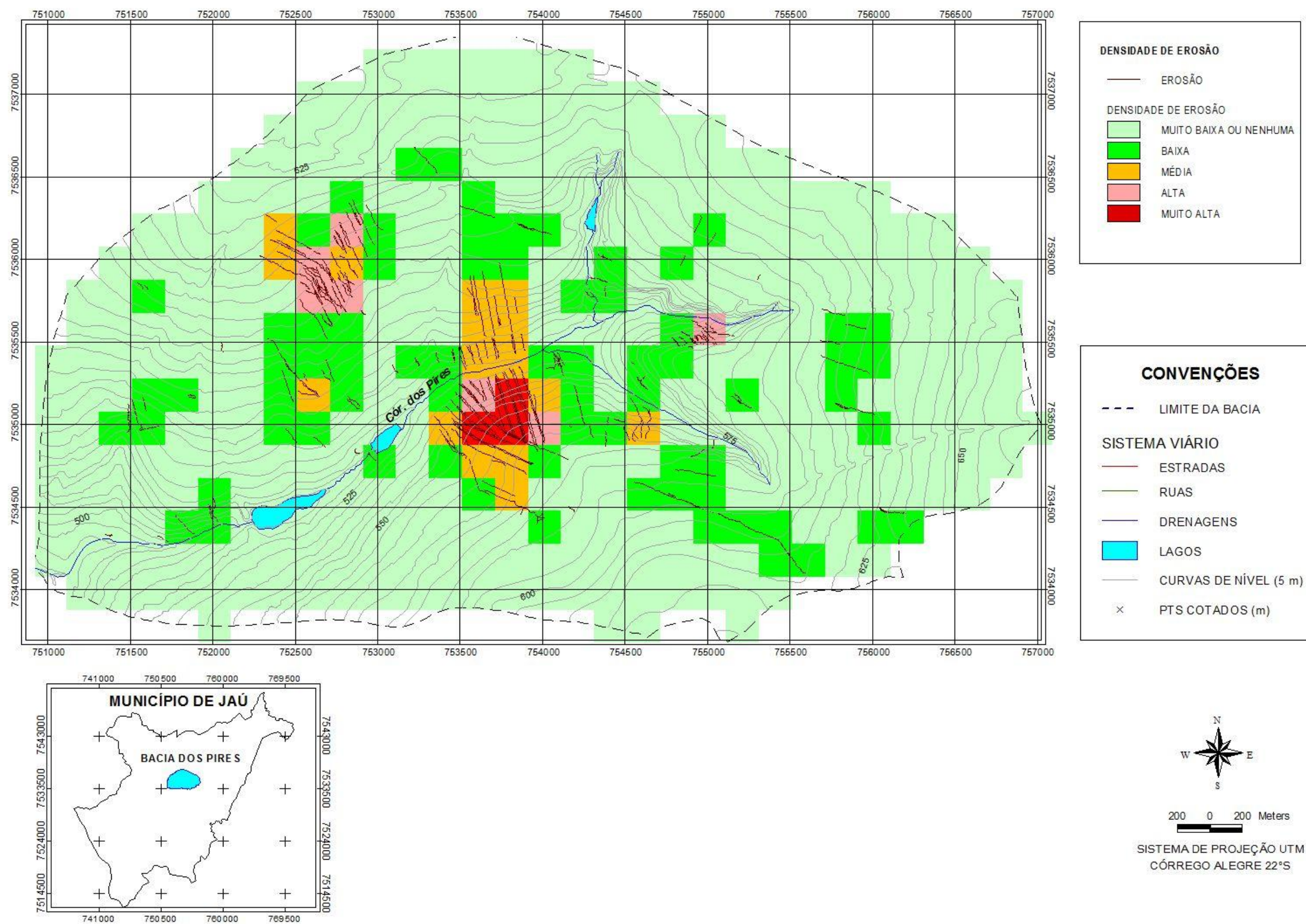


Figura 22 - Mapa Temático de Densidade de Erosão na Bacia do Córrego dos Pires, 2001

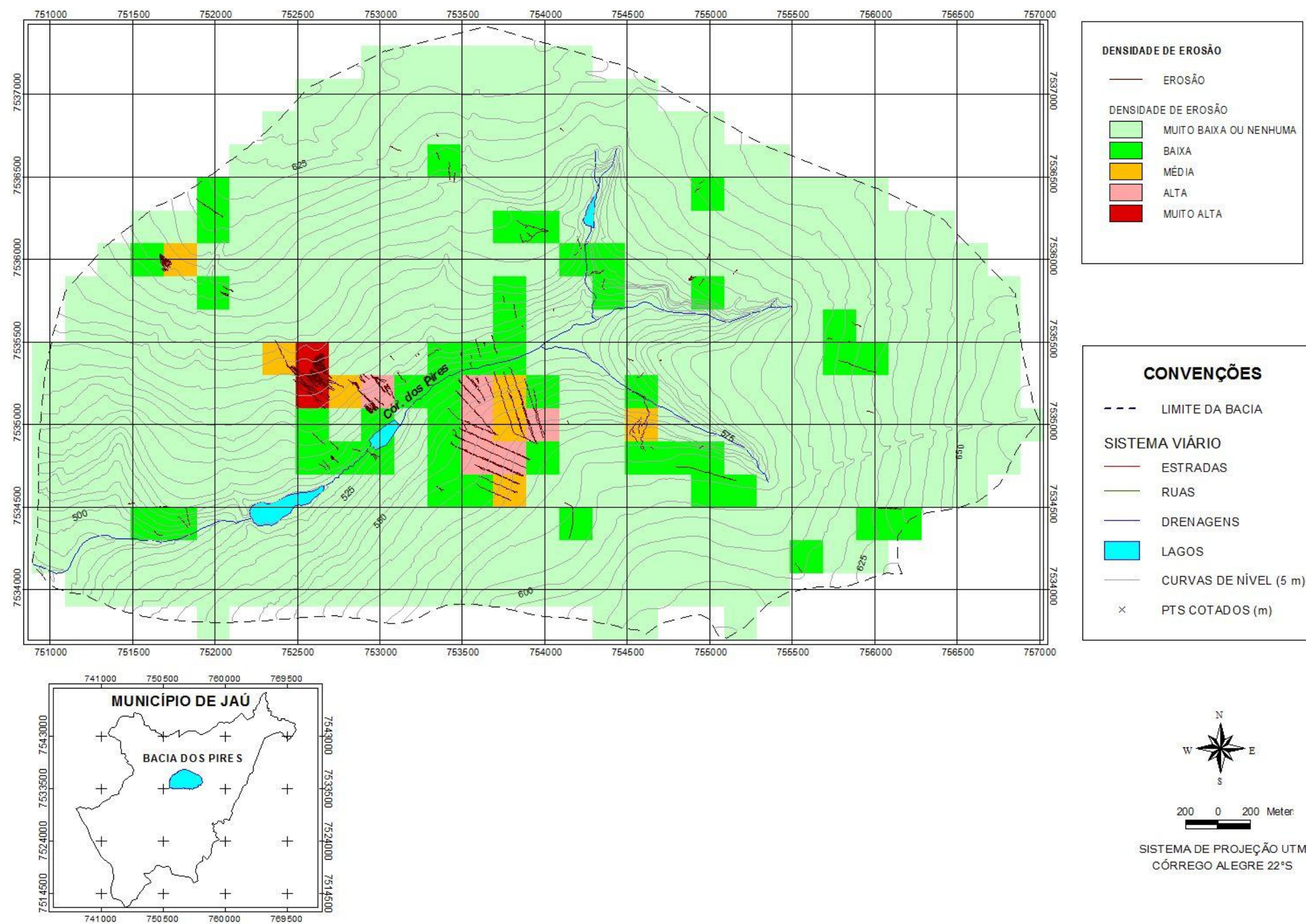


Figura 23 - Mapa Temático de Densidade de Erosão na Bacia do Córrego dos Pires, 2005

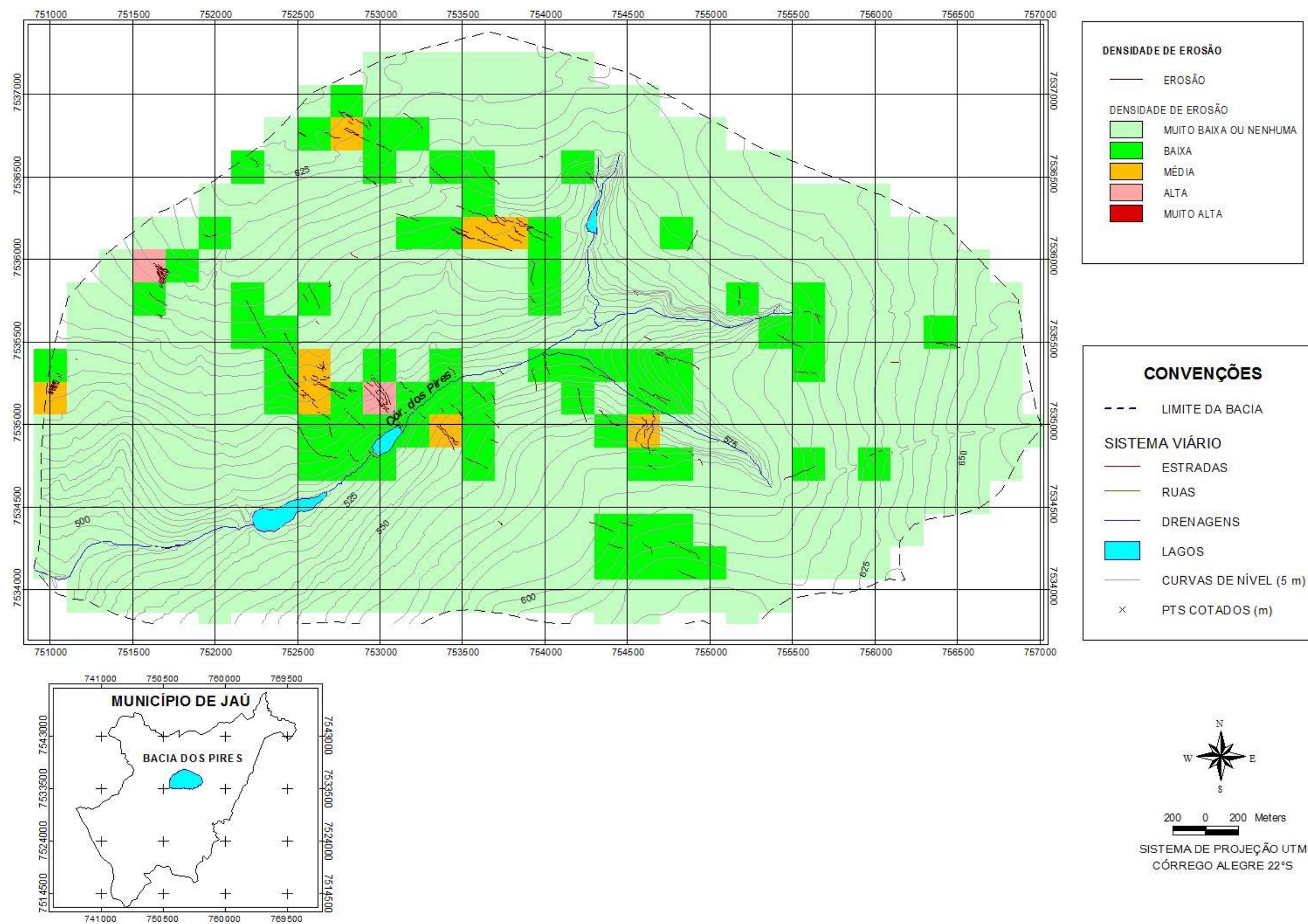


Figura 24 - Mapa Temático de Densidade de Erosão na Bacia do Córrego dos Pires, 2010

7. CONCLUSÕES

Os atributos ambientais condicionantes da erosão pluvial aqui levantados e estudados, a citar; Declividade, Curvatura da Encosta, Materiais Inconsolidados e Uso e Ocupação do Solo, mostraram ter relação com a ocorrência dos processos erosivos pluviais. Para o atributo declividade a relação com a ocorrência de erosão pluvial esteve relacionada às áreas de maior declividade, quanto à curvatura da encosta a ocorrência de feições erosivas predominou em encostas côncavas. A influência dos materiais inconsolidados esteve relacionada principalmente, ao tipo de uso e ocupação do solo que se desenvolveu em sua superfície, o solo em que observou-se maior incidência de erosões pluviais foi o solo residual maduro de basalto, sobre o qual desenvolve-se maior parte da malha urbana presente na bacia e onde instalou-se a maior parte dos loteamentos no período estudado. O atributo com a qual foi verificada a maior correlação foi uso e ocupação do solo, sendo as classes ocupação antrópica recente as mais influentes, com predominância de erosões nas áreas classificadas como; Área Parcelada e Área Urbana em Consolidação.

A utilização da frequência espacial e temporal como geoindicador de monitoramento e gestão do território urbano mostrou-se uma ferramenta funcional, ao permitir observar o comportamento espacial das áreas de adensamento de erosão pluvial e correlacionar com os atributos ambientais estudados, facilitando assim o entendimento da dinâmica de processos erosivos pluviais. Por meio deste geoindicador ficou evidente a redução da incidência de erosões pluviais verificada na bacia do Córrego dos Pires.

No presente estudo verificou-se relação de feições erosivas com assentamentos urbanos precários e sem infraestrutura, superfícies de solo expostos e supressão da mata ciliar, ausência de sistemas de drenagem urbana e pavimentação.

Os impactos observados poderiam ser evitados caso as diretrizes propostas no Plano Diretor fossem seguidas. A adoção destas medidas poderia assegurar e controlar a ocupação antrópica para que esta ocorra de forma racional e em conformidade com o meio onde se encontra, proporcionando assim um ambiente saudável. Aliado a adoção das diretrizes propostas pelo planejamento urbano contido no Plano Diretor, faz-se necessário o monitoramento das áreas mais susceptíveis, este poderia ser feito com a utilização dos indicadores ambientais. Estes indicadores facilitariam o entendimento do cenário e a compreensão dos fatores envolvidos, o que pode ser usado para direcionar as ações de gerenciamento e monitoramento da bacia.

O presente trabalho desenvolveu-se no Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, fazendo parte do projeto de Iniciação Científica financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), donde originou-se a presente Tese de Graduação (TG), para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental pela supracitada escola.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALFARO, F. M.; OYAGUE, P. R. **Sistema Nacional de Información Ambiental**. Lima, 1997.
- BERGER, A. R. **Tracking Rapid Geological Change**, 2002, EPISODES, v.25, n. 3, p. 154-159, 2002.
- BERGER, A.R. **Environmental Change, Geoindicators, and the Autonomy of Nature**. GSA Today, New York, p. 3-8, jan. 1998.
- BERGER, A.R. **Assessing Rapid Environmental Change Using Geoindicator**. Environmental Geology, New York, v. 32, p. 36-44, jul. 1997.
- BERGER, A.R.; IAMS W.J. **Geoindicators: Assessing rapid environmental changes in earth systems**. A.A. Balkema, Rotterdam, 466 p., 1996.
- BORGES, R.C.; VIEIRA, P.C.; SIMÕES FILHO, F.F.L.; LAPA, C.M.F. **Efeito Da Ocupação Urbana Na Drenagem Da Bacia Do Rio Faria-Timbó, RJ**. Revista Eletrônica do Curso de Geografia - Campus Jataí - UFG, Jataí, n. 19, p. 72-85, 2012.
- BRIGUENTI, E.C. O. **Uso de Geoindicadores na Avaliação da Qualidade Ambiental da Bacia do Ribeirão Anhumas, Campinas/SP**. 2002. 140 f.. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002
- BUSNELLI, J.; NEDER, L.D.; SAYAGO, J.M. **Temporal dynamics of soil erosion and rainfall erosivity as geoindicators of land degradation in Northwestern Argentina**. Quaternary International, v. 158, p. 147-161, 2006.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 03 Ago. 2013.
- CANIL, K. **Indicadores para monitoramento de processos morfodinâmicos: aplicação na Bacia do Ribeirão Pirajuçara, RMSP (SP)**. São Paulo. Tese de Doutorado - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 2006.
- CANIL, K. **Metodologia para elaboração da carta de risco de erosão do município de Franca, SP**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7., Goiânia (GO), 2001.
- CANUTI, P.; CASAGLI, N.; ERMINI, L.; FANTI, R.; FARINA, P. **Landslide activity as a geoindicator in Italy: significance and new perspectives from remote sensing**. Environmental Geology, v. 45, n. 7, p. 907-919, 2004.
- COSTA, R.A.; SILVA JÚNIOR, C.C.; SANTOS, F.O. **O Uso de Geoindicadores na Avaliação da Qualidade Ambiental da Cidade de Caldas Novas (GO)**. In: SIMPOSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA, 10., Catalão (GO), 2007.
- CUNHA, M.A.; FARAH, F.; CERRI, L.E.S. **Ocupação de Encostas**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991, 261 p., 1991.

DAVIS JÚNIOR., C.A.; OLIVEIRA P.A. **SIG Interoperável e Distribuído para Administrações Municipais de Grande Porte**. Revista Informática Pública. Belo Horizonte, n. 1, p. 121-141, 2002.

EDMUNDS, W.M. **Geochemical indicators in the groundwater environment of rapid environmental change**. In: SYMPOSIUM ON WATER-ROCK INTERACTION, 8., Vladivostok (Rússia), 1995.

FERREIRA, C.J.; SILVA, P.C.F.; FURLAN, S.A.; BROLLO, M.J.; TOMINAGA, L.K.; VEDOVELLO, R.; GUEDES, A.C.M.; FERREIRA, D.F.; EDUARDO, A.S.; SOBRINHO, J.M.A.; LOPES, E.A.; CRIPPS, J.C.; PÉREZ, F.A.; ROCHA, G.R.. **Devising strategies for reclamation of derelict sites due to mining of residual soil (saibro) at Ubatuba, north coast of São Paulo State, Brazil: the views and roles of the stakeholders**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE DEGRADAÇÃO DE TERRAS E DESERTIFICAÇÃO, 2005, UBERLÂNDIA. Sociedade & Natureza, Uberlândia, Special Issue, p. 643-660, 2005.

GAERTNER, C. **Erosão natural e simulada e produtividade em latossolo vermelho-escuro**. 1999. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

GRUPTA, A. **Geoindicators for Tropical Urbanization**. *Environmental Geology*, Berlin, 2002.

HIRAI, J. N.; AUGUSTO FILHO, O. **Avaliação ambiental por meio de geoindicadores: aplicação de erosão de solos e sedimentos**. Revista Minerva, v. 5, p. 35-43, 2008.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico da folha de Campinas**. São Paulo: DIGEO. Escala 1:250.000. 1993.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo, Bacia do Pardo Grande**. São Paulo, 3v. (IPT). Relatório, 28:184. 1990.

IWASA, O. Y.; FENDRICH, R. **Controle da erosão urbana**. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed.) *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 1998.

JAÚ. Lei Complementar Municipal n. 277. **Dispõe sobre Plano Diretor de Jaú, o sistema e o processo de Planejamento e Gestão do desenvolvimento urbano do município de Jaú**. Jaú: 10 Out 2006.

LISTO, F. L. R.; VIEIRA, B. C. **Mapeamento Preliminar das Áreas de Risco na Bacia do Alto Aricanduva, RMSP (SP)**. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, Viçosa-MG, 2009.

NEIMANIS, U.; KERR, A. **Developing national environmental geoindicators**. In: Berger AR, Iams WJ (eds) *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in Earth systems*. Balkema, Rotterdam, p. 369-376, 1996.

RIBEIRO, J. C. J.; HELLER, L. **Indicadores ambientais para países em desenvolvimento.** In: SIMPÓSIO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 29., Porto Rico, 2004.

PIRES, I.; CRAVEIRO, J.; ANTUNES, O. **Artificialização do solo e Vulnerabilidade Humana em duas zonas sujeitas a processos de erosão costeira: casos de estudo da Costa da Caparica e Espinho (Portugal).** Revista da Gestão Costeira Integrada 12(3), p. 277-290, 2012.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar.** Juiz de Fora, MG, Ed. do Autor, 2000.

RODRIGUES, V. L. **Mapeamento Geotécnico como Base para o Planejamento Urbano e Ambiental: Município de Jaú/SP.** 2008. Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

RUFINO, R. C. **Avaliação da qualidade ambiental do município de Tubarão (SC) através do uso de indicadores ambientais.** 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2002.

SAADI, A. **A geomorfologia como ciência de apoio ao planejamento urbano em Minas Gerais.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 7.; FÓRUM LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 1., 1997, Curitiba. Anais v. 2. Curitiba: UFPR, p. 1-3, 1997.

SALOMÃO, Fernando Ximenes de Tavares; CANIL, Kátia; RODRIGUES, Samantha Paulo. **Exemplo de aplicação da geologia de engenharia no controle preventivo e corretivo dos processos erosivos.** Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 2, n. 2, p. 39-56, 2012.

TAVARES, A.B.; CRUZ, S.P.; LOLLO, J.A. **Geoindicadores para a caracterização de estado de diferentes ambientes.** Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia, Rio Claro, v.5, n.2, p.51-68, Nov. 2007.

VALÉRIO FILHO, M.; ARAÚJO JUNIOR, G. J. L. **Técnicas de geoprocessamento e Modelagem Aplicadas no Monitoramento de Áreas Submetidas aos Processos de Erosão do Solo,** 1995.

WINOGRAD, M. **Environmental Indicators for Latin America and the Caribbean: Tools for Sustainability.** In: IUCN, I.C.E.P.P. California, pp.198-215. 1996.

ZUQUETTE L.V.; PEJON O.J.; COLLARES J.Q. dos S. **Land degradation assessment based on environmental ge indicators in the Fortaleza metropolitan region, state of Ceara, Brazil.** In: Environmental geology, v. 45, p. 408–425, 2004.