



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Julio de Mesquita Filho”

CÂMPUS DE OURINHOS

Alexandre Catania Greco de Oliveira

Mudanças no uso da terra e avaliação do escoamento superficial das microbacias urbanas de Piraju entre 1986 e 2013 utilizando os modelos Land Change Modeler e Curva Número.

Ourinhos, junho de 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Julio de Mesquita Filho”

CÂMPUS DE OURINHOS

Mudanças no uso da terra e avaliação do escoamento superficial das microbacias urbanas de Piraju entre 1986 e 2013 utilizando os modelos Land Change Modeler e Curva Número.

Alexandre Catania Greco de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora para obtenção do título de Bacharel em Geografia pela Unesp – Campus Experimental de Ourinhos.

Orientador:
Prof. Dr. Edson Luís Piroli

Ourinhos
2015

Banca examinadora:

Prof. Dr. Edson Luís Piroli

Prof. Dr. Rodrigo Lilla Manzione

Me. Julio Cesar Demarchi

Ourinhos, 08 de Julho de 2015

Dedico:
À minha afilhada,
Maria Eduarda Domingues de Oliveira e
em memória de
Lucas Alexandre de Oliveira.

Resumo

Esta monografia de bacharelado em geografia pretende caracterizar as áreas das microbacias hidrográficas urbanas de Piraju - SP, classificar os usos da terra em 1986 e compará-los aos de 2013, analisando ganhos, perdas e persistências nas classes de usos identificados; realizar estudos de infiltração e escoamento superficial das microbacias, aplicando métodos estatísticos através de ferramentas computacionais de geoprocessamento e sensoriamento remoto; sintetizar as informações em planilhas e tabelas; e realizar diagnósticos e prognósticos ambientais através da interpretação e análise dos mapas apresentados para essas microbacias hidrográficas urbanas. Para a infiltração e escoamento superficial, utilizou-se o método da Curva Número do USDA - SCS de 1973 em razão da mudança do uso da terra; e para ganhos, perdas e persistência utilizou-se a ferramenta Modeladora de Mudança do Uso da Terra. Observou-se que, no período analisado, houve ganho no uso da terra, floresta e água e perda substantiva dos usos cultura temporária adulta e cultura temporária jovem. Com relação ao escoamento e infiltração, observou-se que houve aumento das taxas de impermeabilização do solo, com consequente aumento do escoamento superficial.

Palavras chave: mudança no uso da terra, infiltração, escoamento superficial, LCM e SCS.

Abstract

This bachelor's monograph in geography intends characterizing the areas of urban watersheds of Piraju - SP, classifying land uses in 1986 and comparing them to 2013 ones, analyzing gains, losses and persistence in the identified uses classes; performing studies about infiltration and superficial runoff from watersheds, applying statistical methods by using computational tools of geoprocessing and remote sensing; synthesizing the information into spreadsheets and tables; and doing environmental diagnostics and prognostics through the interpretation and analysis of the maps presented to these urban watersheds. For infiltration and superficial runoff it was used the method of the Curve Number USDA - SCS 1973 due to the change of land use; and for gains, losses and persistence it was used the Modeling of Change of Land Use tool. It was observed that in this period there was gain in land use, forest and water and substantive loss of the uses of adult temporary culture and young temporary culture. Regarding the runoff and the infiltration, it was observed that there was an increase of soil sealing rates, with consequent increase in the superficial runoff.

Keywords: changes in land use, infiltration, superficial runoff, LCM and SCS.

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Índice de figuras	8
Índice de tabelas.....	9
1. Introdução e justificativa	10
2. Objetivos.....	12
3. Fundamentação Teórica	12
4. Procedimentos metodológicos	15
5. Resultados e Discussão	24
6. Considerações finais	60
7. Referências	61

Índice de figuras

Figura 1: Carta Topográfica georreferenciada	16
Figura 2: Chuvas mensais para o ano de 1986.....	20
Figura 3: Chuva mensal para o mês de agosto de 1986.....	21
Figura 4: Chuvas mensais para o ano de 2013.....	21
Figura 5: Chuva mensal para o mês de julho de 2013	22
Figura 6: Mapa de localização da microbacias hidrográficas urbanas de Piraju – SP.	25
Figura 7: Carta Imagem das MBH's Urbanas do Município de Piraju em 1986.....	26
Figura 8: Carta Imagem das MBH's Urbanas do Município de Piraju em 2013.	27
Figura 9: Primeiro uso da terra de Piraju em 1986.....	29
Figura 10: Primeiro uso da terra de Piraju em 2013.....	30
Figura 11: Mapa clinográfico de Piraju.....	31
Figura 12: Mapa hipsométrico de Piraju.....	32
Figura 13: Mapa de uso da terra do município de Piraju no ano de 1986.....	34
Figura 14: Mapa de uso da terra do município de Piraju no ano de 2013.....	35
Figura 15: Hidrogramas das bacias hidrográficas urbanas segundo o uso da terra.	36
Figura 16: Hidrograma da chuva de 20 a 22 de agosto de 1986.....	39
Figura 17: Hidrograma da chuva de 19 a 22 de julho de 2013.....	40
Figura 18: Mapa dos perfis hipsométricos das MBH urbanas de Piraju.	41
Figura 19: Gráfico comparativo dos perfis hipsométricos das MBH urbanas de piraju.	42
Figura 20: Carta Imagem do Município da Estância Turística de Piraju em 1986.....	46
Figura 21: Mapa de Uso da Terra Geral do município de Piraju no ano de 1986.	47
Figura 22: Carta Imagem do Município da Estância Turística de Piraju em 2013.....	48
Figura 23: Mapa de Uso da Terra Geral do Município de Piraju no ano de 2013.	49
Figura 24: Mapa de Persistência no uso da terra para Piraju 1986 – 2013.	51
Figura 25: Mapa de Perdas, Persistência e Ganhos para uso Florestal.....	53
Figura 26: Mapa de Perdas, Persistência e Ganhos para o uso corpo d'água continental. ...	56
Figura 27: Síntese de Perdas e Ganhos para os Usos da Terra.	57
Figura 28: Variação Líquida para os Usos da terra em Piraju.	59

Índice de tabelas

Tabela 1: Curva Número (CN) para usos agrícolas segundo os grupos hidrológicos.....	18
Tabela 2: Síntese da adaptação dos métodos de classificação e uso da terra.....	20
Tabela 3: Bacias hierarquizadas por tamanho	22
Tabela 4: Alinhamento dos dados da Classif. Supervisionada com o método SCS.	37
Tabela 5: Ponderação para hidrogramas.....	37
Tabela 6: Resultados de escoamento superficial para as bacias estudadas.....	43
Tabela 7: Quantidade em hectares dos usos da terra que persistiram.....	52

1. Introdução e justificativa

A região, objeto de estudo do presente trabalho, apresenta características peculiares no que tange a exploração dos recursos naturais, pois se trata de uma cidade que possui três usinas hidrelétricas construídas e existe um projeto para construção de uma quarta dentro dos limites municipais de Piraju. Essa potência energética pode revelar uma característica importante para os estudos do presente trabalho, pois hidrelétricas normalmente são construídas em áreas de relevo acidentado, ou seja, o desnível precisa ser abrupto para instalação da UHE (Usina Hidrelétrica). Hoje, a Estância Turística de Piraju é uma cidade que busca no turismo de esportes aquáticos uma forma de reconstrução da sua economia que nos tempos áureos do café tinha grande importância regional e ainda é conhecida por possuir elevadas safras deste produto.

Por ser literalmente cortada ao meio pelo rio Paranapanema e possuir um reservatório hidrelétrico praticamente no centro da cidade, ela não se desenvolveu, pois a sua função econômica inicial não mudou ao longo do tempo e a insistência na produção apenas de café acabou estagnando seu desenvolvimento devido às diversas crises do produto no século passado. Em Piraju desde o início, seu espigão foi ocupado pelo cemitério e a cidade acaba concentrando suas águas pluviais em redes de escoamento até ribeirões que são afluentes do rio Paranapanema. Hoje esses ribeirões e suas áreas de contribuição, aqui estão inseridos e denominados como microbacias hidrográficas urbanas (MBH) e apresentam características importantes que merecem estudos como os de impermeabilização do solo, infiltração de água e escoamento superficial de águas pluviais devido à mudança na ocupação dentro dos limites de suas bacias.

Das diversas correntes existentes na geografia moderna, a busca pela integração dos diversos elementos que compõem a realidade de uma localidade sempre foi sua totalidade. Essa busca tem início com Alexander Von Humboldt e Carl Ritter no século XIX, os primeiros a proporem uma delimitação clara para o objeto geográfico. Já o determinismo de Ratzel associou clima e população sempre numa tentativa de integrar fenômenos naturais aos comportamentos humanos. Mesmo que equivocada essa tentativa traduz parte dos anseios do geógrafo. É possível citar inúmeras tentativas, porém é necessário retornar à geografia de síntese através do prussiano Emmanuel Kant, pois sua teoria nunca esteve tão perto de sua aceção, pois as geotecnologias possibilitam integração de dados quantitativos e qualitativos interpolados em mapas que tratam da realidade representada, principalmente nessa sociedade que mantém sua estrutura de concentração desigual, crises e violência, concepções que vão muito além do dado frio. Essa demanda cíclica despertou o aprimoramento da técnica de análise das paisagens e aumentou a agilidade na produção de mapas.

A evolução tecnológica das últimas décadas, o desenvolvimento de diversas técnicas de sensoriamento remoto aliadas as de geoprocessamento propiciaram uma nova metodologia de análise do uso da terra.

Essa ciência da informação geográfica que investiga as propriedades e o comportamento da informação, desde a origem, a disseminação, o armazenamento, a interpretação, gerenciando as forças que imperam sobre seus fluxos, possibilita uma ampla abordagem no uso destes dados. A Meteorologia, a Geologia, a Engenharia Ambiental, a Urbana e outras ciências dão o caráter multidisciplinar dos métodos encontrados nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Dessa forma pode-se dizer que o geoprocessamento é um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e ao tratamento de informações espaciais para um objetivo específico, ou seja, uma informação atrelada a um atributo geográfico (MOREIRA, 2011).

Para áreas urbanas, a mudança no uso da terra apresenta características especiais, devido à concentração de pessoas em espaços geográficos reduzidos onde os aglomerados urbanos são caracterizados pela intensa degradação dos recursos naturais e profundas mudanças aos ambientes naturais. O monitoramento e a análise da mudança do uso da terra podem ajudar a melhorar a qualidade e quantidade dos recursos disponíveis a população e auxiliar no desenvolvimento de políticas públicas para conservação da qualidade ambiental em áreas urbanas.

As imagens de satélite que foram analisadas estão disponíveis gratuitamente no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e também no site da NASA (Agência Espacial Norte Americana) através da USGS (Agência de Pesquisa Geológica dos Estados Unidos), os dados trabalhados serão da série de satélites Landsat que hoje possui o maior banco de dados de imagens devido ao pioneirismo norte americano.

O cruzamento de diversos fatores e elementos ambientais, ao serem comparados, classificados e analisados geraram dados referentes aos últimos trinta anos que podem ajudar na obtenção de diagnósticos e prognósticos para futuros estudos sobre microbacias hidrográficas urbanas da cidade de Piraju, além de traçar um perfil de ocupação para este caso, modelagem e tendência para uma pequena cidade ao longo dos anos e seus respectivos impactos.

A mudança nas taxas de impermeabilização influencia diretamente no escoamento superficial, que causa recorrentes transtornos a populações ribeirinhas na maioria das cidades brasileiras. Esta metodologia de análise poderia ser replicada em outras bacias hidrográficas urbanas facilitando a obtenção de dados necessários ao planejamento urbano e rural em MBH's.

2. Objetivos

Analisar o comportamento do escoamento superficial nas sub-bacias urbanas nos anos de 1986 e 2013 por meio do método da Curva Número (USDA – SCS, 1973) em razão das mudanças nos usos da terra.

Identificar as mudanças ocorridas no uso da terra através de imagens de satélites nas microbacias hidrográficas urbanas da cidade de Piraju, quantificar suas características por meio da ferramenta Land Change Modeler (Modelador de Mudança no Uso da Terra) e avaliar seus impactos sobre a drenagem, solo, microclima, buscando explicações sobre suas causas e consequências.

Refinar métodos de interpretação e classificação de imagens de satélite para bacias hidrográficas visando aperfeiçoar a precisão dos resultados, economizando tempo na interpretação de imagens de satélites.

3. Fundamentação Teórica

A partir dos anos 60, com o desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica e da Cartografia automática a ciência da informação passou a ganhar destaque nos fóruns e workshops do setor, ao ponto de considerarem o início de uma nova ciência, a Ciência da Informação Geográfica.

A Ciência da Informação pode ser definida como o estudo sistemático, de acordo com princípios científicos, da natureza e propriedades da informação. A Ciência da Informação Geográfica é um subconjunto da Ciência da Informação que versa a informação geográfica (GOODCHILD; 1992).

Inicialmente subordinada a Ciência da Informação, hoje ganha status de ciência proporcionando uma nova era de conhecimento e desenvolvimento nos estudos das informações geográficas.

A Ciência da Informação Geográfica (CIG) é um campo de pesquisa experimental que toma o espaço geográfico por objeto de estudo, a informação geográfica como princípio refutável e o sistema de informação geográfica (SIG) como ferramenta disciplinar (PAINHO; CURVELO; 2011).

As atividades políticas, estratégias e planos necessitam de um atributo essencial, a localização geográfica, possibilitando através da informação geográfica e do conhecimento espacial ferramentas importantes para crítica ao desenvolvimento das atividades humanas. A representação, análise e visualização da informação atribuem aos Sistemas de Informação Geográfica uma classe especial de sistemas, importantes à tomada de decisões, portanto a Ciência da Informação Geográfica foca em questões levantadas pelos SIG e suas tecnologias associadas, ou seja, “a ciência por detrás dos sistemas”.

Há de se ressaltar que nas últimas décadas a ciência geográfica está aprimorando com a evolução tecnológica, novas maneiras de monitoramento do planeta terra.

Segundo o Manual técnico de uso da terra:

Com a incorporação de técnicas de sensoriamento remoto para a interpretação analógica de fotografias aéreas e imagens na identificação de padrões de uso da terra, inicia-se uma nova fase, na qual o avanço da tecnologia espacial, com as técnicas de geoprocessamento, caracterizou o momento da disponibilidade de produtos de satélites imageadores da terra como marco de uma nova era dos estudos do Uso da Terra, pois ao mesmo tempo que lhe dá uma nova metodologia de pesquisa, revela a concepção teórica que orienta a apreensão espacial e temporal do uso da terra no seu conjunto para a gestão da apropriação do espaço geográfico global ou local. (IBGE; 2013, p. 27)

As bandas do satélite que poderiam compor os estudos necessitam de critérios que tendem a contribuir para obtenção dos melhores resultados, a primeira faixa espectral da composição colorida deve conter segundo Ponzoni:

A região do infravermelho próximo (0,72 – 1,10 μm): Nesta região ocorre absorção pequena da radiação e considerável espalhamento interno da radiação na folha. A absorção da água é geralmente baixa nessa região, enquanto que a reflectância é quase constante. Gates et al. (1965) concluíram que a reflectância espectral de folhas nessa região do espectro eletromagnético é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo¹... De maneira geral, quanto mais lacunosa for a estrutura interna foliar, maior será o espalhamento interno da radiação incidente, e conseqüentemente, maiores serão também os valores dos Fatores de Reflectância²; (PONZONI, 2010, p. 19)

Para não alterar drasticamente o Fator de Reflectância Bidirecional procura-se analisar imagens em épocas semelhantes, pois os ângulos de incidência da fonte (o Sol) e os ângulos zenital e azimutal do sensor precisam ser preservados, por isso além de escolher imagens sem nuvens e defeitos de geração, os estudos ficam limitados aos anos de 1986 e 2013, pois estas são as imagens que atendem esses critérios preservando a qualidade do dado produzido. Para o desenvolvimento do trabalho pensou-se em usar um intervalo de 30(trinta) anos que era emblemático, mas não se concretizou devido às limitações impostas pelos sensores e as condicionantes naturais.

Ocorre Fator de Reflectância Bidirecional quando existem duas geometrias envolvidas no processo de interação entre a radiação eletromagnética e uma dada superfície de um recurso natural, sendo uma caracterizada pelos ângulos zenital e azimutal da fonte (geometria de incidência) e a outra caracterizada pelos ângulos zenital e azimutal do sensor (geometria de visada). (PONZONI, 2010,

¹ Fatores externos à folha, como disponibilidade de água, por exemplo, podem causar alterações na relação água-ar no mesófilo (onde ocorrem os principais processos fisiológicos dos vegetais), podendo alterar quantitativamente a Reflectância de uma folha nesta região.(Ponzoni, 2010, p 19)

² Expressão da propriedade de um determinado objeto em refletir a radiação eletromagnética incidente sobre ele. (Ponzoni, 2010, p 16).

p. 16) Essas geometrias bem definidas, sendo uma de iluminação (posição do sol) e outra de visada (posição do sensor)... Ocorre também na região do visível as folhas absorvem radiação eletromagnética por conta da ação dos pigmentos fotossintetizantes, enquanto na região do infravermelho próximo essa radiação é espalhada de acordo com a características da estrutura interna dessas folhas. (PONZONI, 2010, p. 23)

Outro fator importante na análise de produtos do sensoriamento remoto referente ao uso da terra diz respeito ao comportamento das plantas de modo geral em resposta a radiação recebida, considerando que a quantidade de água também interfere no comportamento espectral das plantas, o final de julho e início de agosto dos respectivos anos de 2013 e 1986 que foram considerados nesta análise configuram um padrão climático no estudo da região e um padrão fisiológico para as plantas em épocas distintas.

Para a escolha da próxima banda a ser utilizada no satélite considerou-se segundo Ponzoni que:

Na região do infravermelho médio, a dinâmica da reflectância do dossel hipotético seria semelhante àquela verificada para a região do visível. Entretanto, o que explicaria a diminuição da reflectância em função do aumento de número de camadas seria o aumento da oferta de água no conjunto como um todo, análogo à maior oferta de pigmentos fotossintetizantes na região do visível.(PONZONI, 2010, p.26)

O infravermelho próximo atende as necessidades iniciais porém devido ao IAF máximo (índice de área foliar) não ser atingido na maioria das culturas e sua influência agir também no infravermelho médio, definiu-se esta banda como parte da composição.

O infravermelho médio na composição, também representa uma análise ao “ponto de saturação³” do infravermelho próximo que pode ocultar o crescimento da vegetação (surgimento de novas folhas) das áreas estudadas, permanecendo inalterado na sua máxima, o que por sua vez, deverá estar representada no infravermelho médio. (OLIVEIRA; PIROLI; 2015).

A terceira banda escolhida visa uma maior qualidade do dado obtido, para 1986 optou-se continuar com a do infravermelho médio e para 2013 empregou se a pancromática de 15 metros que melhora significativamente a qualidade da imagem.

³ Pontos de saturação: quando a reflectância atinge valores máximos ou mínimos para determinadas faixas espectrais, são específicos para cada região espectral e representam de fato as limitações das técnicas de sensoriamento remoto. (Ponzoni; 2010; p. 26)

4. Procedimentos metodológicos

Foram aplicadas técnicas cartográficas para elaboração dos mapas, técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento com a utilização das ferramentas dos SIG's (Sistemas de Informações Geográficas) o Arcgis desenvolvido pela Esri(2004) e do Idrisi desenvolvido pela Clark Labs, versão Taiga; Eastman(2009). A Integração das ferramentas de diversos SIG's propiciou uma gama maior de informações referentes à área de estudo que podem servir para planejamentos ambientais futuros considerando os dados do presente trabalho.

Na realização destes trabalhos foram utilizadas imagens de satélite da série *Landsat*, onde os sensores: *Thematic Mapper (TM)* para as imagens de 1986 utilizando as bandas 547 e *Operacional Land Imager (OLI)* para as imagens de 2013, com as bandas 658 que foram projetadas no datum brasileiro em vigor, SIRGAS 2000.

Para delimitação das bacias hidrográficas urbanas, os ribeirões e suas nascentes, foi georreferenciada a carta topográfica de Piraju, do Instituto Brasileiro de Geografias e Estatísticas, folha SF 22 Z D I 1, de 1974.(IBGE; 1974) confeccionada pela superintendência de cartografia do IBGE, o mapa na Figura 1 sintetiza o trabalho desenvolvido, onde os limites das bacias correspondem ao divisor de águas superficiais. A delimitação de bacias partiu do exutório, contornou a nascente e quando foi necessário atravessar curvas de nível, executou-se perpendicular a sua trajetória no sentido ao ponto mais alto.

Para a classificação dos usos da terra, o agrupamento das respostas espectrais em classes devia seguir algum método de segmentação e classificação que no caso estabeleceu-se por máxima verossimilhança, devido a facilidade em especificar respostas amostrais, onde posteriormente foram realizados trabalhos de campo para analisar os resultados obtidos que garantiram a precisão dos dados referente classificação do uso da terra.

Os mapas hipsométrico e clinográfico do município de Piraju foram gerados utilizando como base imagens *ASTER 25 metros (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)* disponível no site da USGS e o módulo *Surface Analysis* do SIG *Arcgis 9.3* para obter as curvas de nível da cidade. As curvas de nível foram traçadas em intervalos que garantissem qualidade na escala trabalhada. A partir dos resultados, foi gerado o MDT (Modelo Digital do Terreno) por meio do aplicativo *3D Analyst do Arcgis 9.3*, com as classes de declive baseadas em França (1963).

Para o mapa hipsométrico, estabeleceu-se o intervalo de 50 metros entre as classes de altitude representando de maneira simplificada o relevo do município.

Para hierarquizar as bacias optou-se por classificação por área e utilizou-se a ferramenta do *Calculate Geometry* na opção da tabela de atributos do *Arcgis 9.4*, que calcula automaticamente na unidade de medida que o usuário escolher, o total das áreas dos polígonos.

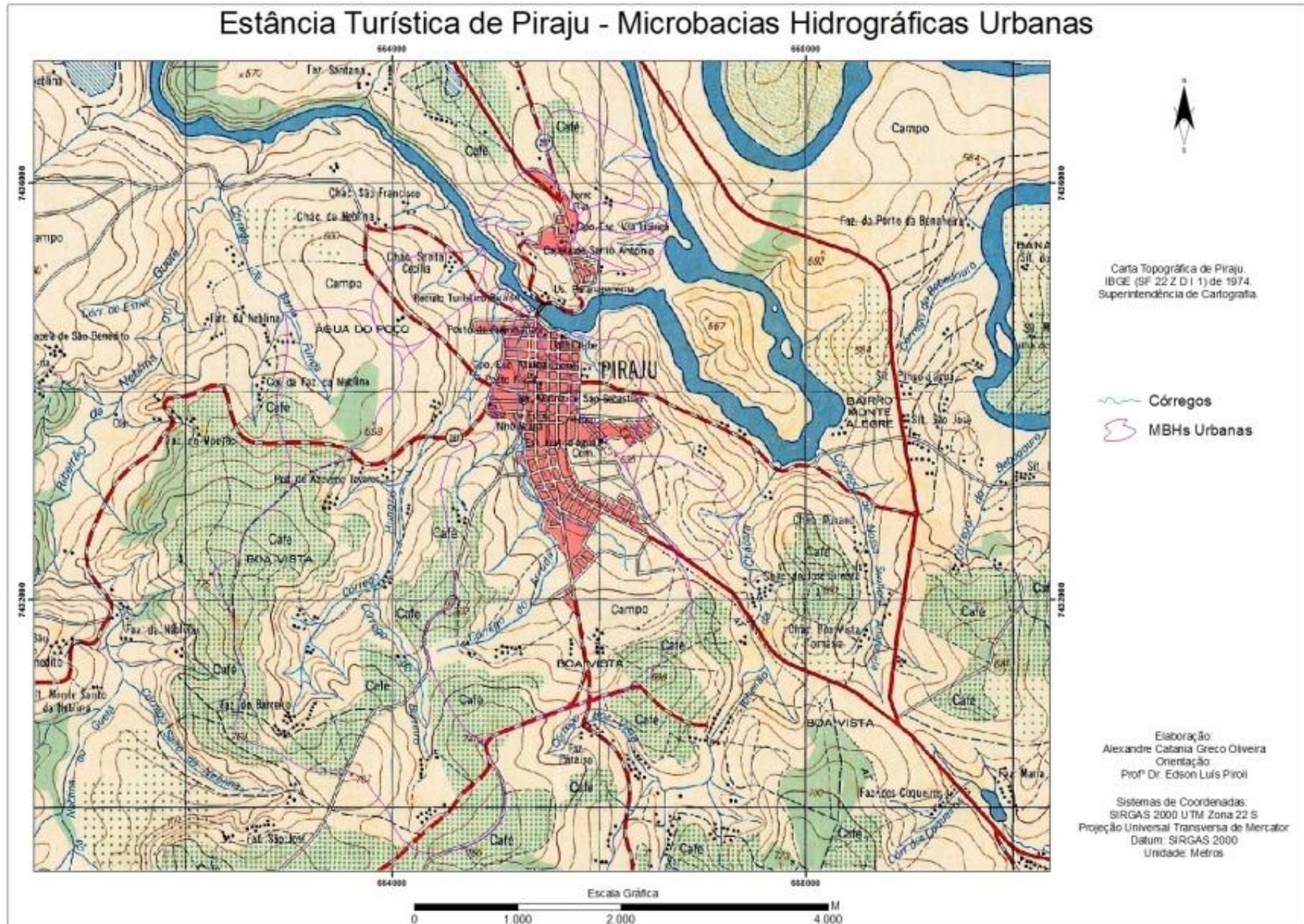


Figura 1: Carta Topográfica georreferenciada

A partir do mapa de localização das bacias foi traçada para cada micro bacia hidrográfica urbana a visada em perfil da topografia partindo do divisor de águas mais distante horizontalmente do exutório para embasar as análises referentes às porcentagens de declividade e comprimento de rampa.

Para análise das mudanças de escoamento superficial e infiltração de águas pluviais nas microbacias hidrográficas urbanas utilizou-se o modelo Curva Número (USDA – SCS, 1973) que apresenta os picos de infiltração e escoamento superficial dentro de um evento de chuva. Um método desenvolvido pelo *National Resources Conservation Center* dos EUA (antigo *Soil Conservation Service – SCS*), para identificar possíveis alterações e prover a comunidade de dados para planejamentos futuros. Para cada tipo de solo e grupo hidrológico há taxas de escoamento e infiltração específicas, A Tabela 1 representa tipos de uso da terra que podem ser usados neste método sendo, para coluna A solos arenosos e profundos, coluna B solos menos arenosos ou profundos, coluna C para solos argilosos e coluna D para solos muito argilosos e rasos.

O município de Piraju está localizado na latitude 23° 13'W e na longitude 49° 14'S, numa altitude média de 571 m. A precipitação média anual é de 1.482 mm (São Paulo, 1993) e o tipo climático predominante na região é o Cfa, de acordo com critérios de Köppen, caracterizado como mesotérmico úmido (ROQUE; 2001).

Segundo a Embrapa o solo predominante em Piraju, do tipo LV25, Classe LV, ou seja, Latossolo Vermelho, LV Distrófico + PVA Distrófico representados pela coluna C da Tabela 1, características que configuram solos com restrição física que limitam o enraizamento em profundidade, o preparo profundo pode melhorar o enraizamento das plantas aumentando sua pujança. Latossolos Vermelhos Distróficos e Argissolos Vermelho Amarelo distróficos podem variar no quarto nível de classificação, porém não será adotado no presente trabalho. Basicamente são solos profundos, de acidez elevada e podem apresentar limitações que exigem manejo adequado, como terraceamento para conter erosões e adubação para deficiência de micronutrientes, principalmente nos solos de textura média. (EMBRAPA; 2011)

O IBGE determina uma classificação de uso da terra no Brasil, que não atende as necessidades do presente trabalho. Portanto foi necessária uma adaptação para adequar a classificação do IBGE ao método Curva Número integrando-os em um referencial apenas. A identificação de apenas um tipo de solo simplificou a integração dos métodos, mas uma gama maior de tipos de solo não impediria a realização do presente trabalho.

Tabela 1: Curva Número (CN) para usos agrícolas segundo os grupos hidrológicos.

Uso do Solo	Superfície	A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de níveis	67	77	83	87
	Terraceamento em nível	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em fileiras retas	64	76	84	88
	Em curvas de níveis	62	74	82	85
	Terraceamento em nível	60	71	79	82
Plantações de legumes ou cultivados	Em fileiras retas	62	75	83	87
	Em curvas de níveis	60	72	81	84
	Terraceamento em nível	57	70	78	89
Pastagens em curvas de nível	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Campos permanentes	Pobres	47	67	81	88
	Normais	25	59	75	83
	Boas	6	35	70	79
Chácaras	Normais	30	58	71	78
	Esparças, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
Estradas de terra	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
	Normais	56	75	86	91
Floresta	Ruim	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	82
Floresta	Muito esparsa, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparças	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: Tucci, 2005, p. 286

De acordo com a resposta das amostras espectrais definiu-se que para a classe de uso da terra Cultura Temporária seriam necessárias outras classes dando origem a Cultura Temporária Adulta, para culturas desenvolvidas, Colhida para áreas onde restam “palhadas” cobrindo o solo, Cultura Temporária Jovem para as plantas que estão brotando, Cultura Temporária Preparada onde o solo sofreu intervenção recente apresentando uma resposta diferente da Sem Preparo que representa o solo exposto há algum tempo.

Como resultado, estabeleceram-se as seguintes classes de uso da terra baseadas no Manual Técnico de Uso da Terra, IBGE (2013) com as respectivas adaptações: 1ª Corpo d'Água Continental, 2ª Cultura Temporária Adulta, 3ª Cultura Temporária Colhida, 4ª Cultura Temporária Jovem, 5ª Cultura Temporária Preparada, 6ª Cultura Temporária Sem Preparo, 7ª Florestal, 8ª Pastagem, 9ª Silvicultura e 10ª Áreas Urbanizadas.

Assim a lógica do sistema de classificação atende a uma escala regional de representação da informação e permite ao usuário agregar outras informações na base de dados (IBGE, 2013, p. 48).

O modelo Curva Número utiliza uma classificação para áreas urbanizadas. Porém, no presente trabalho devido às limitações dos sensores utilizados não foi possível estabelecer o nível de detalhe exigido no modelo. Assim, optou-se por estabelecer médias dos parâmetros CN (coeficientes de cobertura do solo) para os diferentes tipos de uso da terra da área urbana do grupo hidrológico C. Os valores utilizados foram, de acordo com

Tucci (2005) de 79,05 para o ano de 1986 e 80,64 para o ano de 2013 para todas as microbacias hidrográficas urbanas (MBH). A determinação do volume de escoamento superficial do modelo foi feita a partir da equação (1)

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{P+S-Ia} \quad (1)$$

(Tucci, 2007)

Onde Q é o volume de escoamento superficial acumulado (em mm), P é a precipitação total acumulada, Ia são as perdas iniciais e S é o armazenamento no solo.

O armazenamento no solo (S) é calculado pela equação (2)

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

(Tucci, 2007)

Onde o CN é tabelado. (Tabela 1)

As equações de tempo de pico do escoamento (3) e vazão de pico (4) são respectivamente:

$$Tp = \frac{2,6L^{0,8} \left(\frac{S}{25,4} + 1 \right)^{0,7}}{1900y^{0,5}} \quad (3)$$

(Tucci, 2007)

$$q = \frac{2,08A}{\frac{D}{2} + Tp} \quad (4)$$

(Tucci, 2007)

Onde y é a declividade média, L comprimento de rampa, D a duração da precipitação e A área da MBH.

A Tabela 2 sintetiza as informações referentes às áreas relacionadas a mudança no uso da terra dentro das microbacias hidrográficas urbanas.

Tabela 2: Síntese da adaptação dos métodos de classificação e uso da terra. Elaborado pelo autor, 2014.

Classificação Supervisionada adaptada (IBGE, 2013)	Método SCS (Soil Conservation Service, 1975)	Área em m ² 1986	Áreas em m ² 2013	Valores CN – Grupo Hidrológico C
Corpo d'Água Continental	Sem Classificação	350	200	Sem classificação
Cultura Temporária Adulta	Plantações Regulares – terraceamento em nível	2.716.025	23.500	84
Cultura Temporária Colhida	Campos Permanentes – normais	700.500	302.150	73
Cultura Temporária Jovem	Plantações de Cereais	573.275	1.392.550	79
Cultura Temporária Preparada	Solo Lavrado – com sulcos retilíneos	64.900	0	87
Cultura Temporária Sem Preparo	Solo Lavrado – em fileiras retas	1.251.775	3.704.475	91
Florestal	Floresta – Normal	646.250	3.257.300	70
Pastagem	Pastagens em Curva de nível - normais	9.780.525	4.647.575	75
Silvicultura	Floresta – Densa	128.075	179.600	62
Áreas Urbanizadas ou diretamente afetadas pela urbanização	Média de todas as classes classificadas nas áreas urbanas	3.312.683	5.667.008	86

Para as análises desta pesquisa utilizaram-se os valores de precipitação conforme Figuras (1 a 4) extraídas do site da ANA (Agência Nacional de Águas) nas quais pode se constatar que parte da precipitação no mês de agosto de 1986 foi 112,4 mm, em três dias de chuva e a precipitação utilizada para julho de 2013 foi de 127,2 mm em apenas dois dias, porém as imagens de satélites impuseram analisar eventos de chuvas em datas próximas a passagem do satélite.



Figura 2: Chuvas mensais para o ano de 1986.
Fonte: ANA (2014).

Devido ao clima da região percebe-se uma estação seca pronunciada, que oscila com o passar dos anos entre os meses de estiagem de junho a outubro. Coincidentemente, nos meses de agosto de 1986 deu-se uma chuva intensa, justamente no mesmo mês da imagem usada no estudo. O mesmo ocorreu para julho de 2013, pois ocorreu a última chuva antes do período de estiagem que se deu justamente no mês de julho a setembro daquele ano.

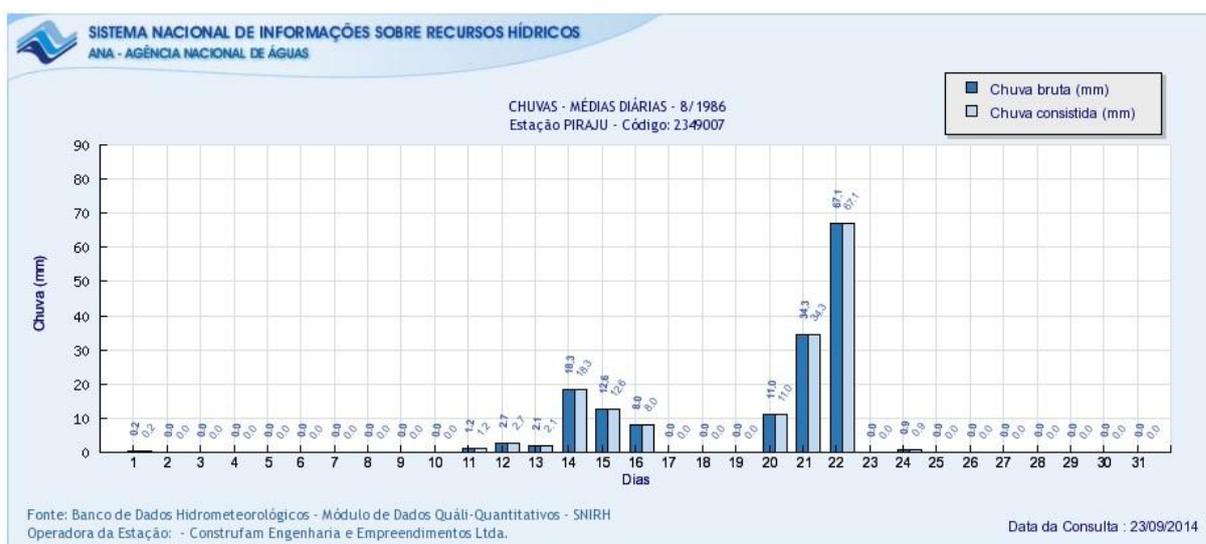


Figura 3: Chuva mensal para o mês de Agosto de 1986.
Fonte ANA (2014).

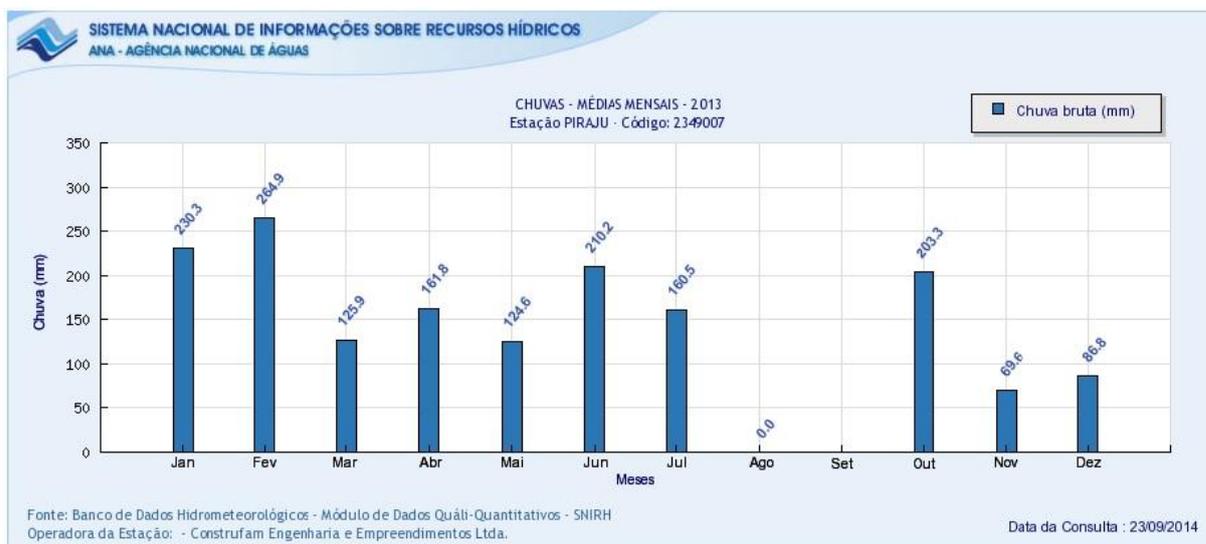


Figura 4: Chuvas mensais para o ano de 2013.
Fonte ANA (2014).

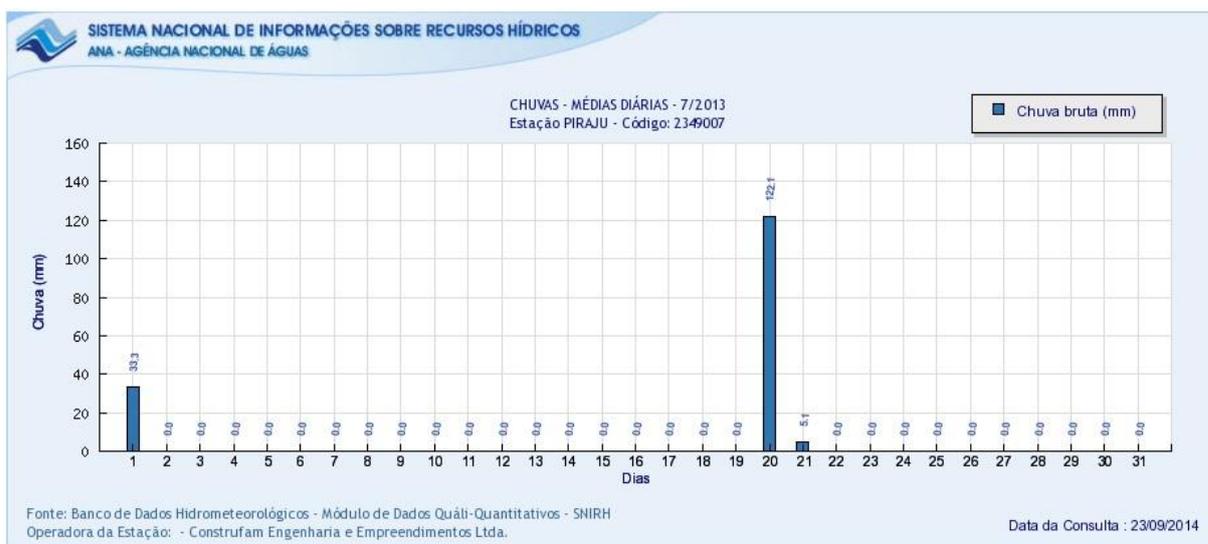


Figura 5: Chuva mensal para o mês de Julho de 2013
Fonte ANA (2014).

A Bacia do ribeirão Arruda de segunda maior área, conforme a Tabela 3, merece uma observação, devido seu principal córrego ser conhecido como Boa Vista e não Arruda como confeccionado na carta topográfica, em pesquisas realizadas com moradores ribeirinhos, os da parte sul o tratam como Arruda e os do norte o tratam como Boa Vista, porém trata-se de uma bacia pequena cuja finalidade inicial era escoar as águas pluviais e o esgoto da cidade rio abaixo.

Nas demais bacias, as que merecem destaque já perderam suas características naturais, caso da bacia do Hungria, que tem todo o escoamento do bairro Augusto Morini canalizado para sua área e a bacia sem nome 3 que também sofreu intervenção antrópica deformando suas características naturais. A antropização dessas bacias precisa considerar a capacidade de escoamento de cada bacia, o aumento das taxas de impermeabilização significa um aumento no escoamento superficial sobre infraestruturas centenárias.

Tabela 3: Bacias hierarquizadas por tamanho

N°	Nome	Área (m ²)	Perímetro (m)
1	Bacia do Hungria	8.017.520,0	14.772,9
2	Bacia do Arruda *	6.211.080,0	10.837,5
3	Bacia do Barra Funda	1.423.680,0	4.834,5
4	Bacia Sem nome 1	694.818,0	3.259,8
5	Bacia Afluente Ribeirão da Chácara	664.186,0	3.262,6
6	Bacia Sem nome 2	646.682,0	3.164,2

7	Bacia Sem nome 3	625.362,0	3.218,3
8	Bacia Sem nome 4	458.919,0	2.722,6
9	Bacia Sem nome 5	242.662,0	2.106,3
10	Bacia Sem nome 6	189.449,0	2.008,3

Diante das mudanças no uso da terra ocorridas dentro dos limites das microbacias hidrográficas urbanas e na tentativa de traçar um perfil das mudanças ocorridas, decidiu-se por ampliar aos limites municipais as análises de mudança no uso da terra. Aproveitou-se as imagens dos satélites *Landsat 5* e do *Landsat 8* e a partir do georreferenciamento das cartas topográficas vizinhas de Piraju, determinou-se os limites municipais para o recorte das imagens, através das ferramentas *Extract by mask* do módulo *Spacial Analyst* do *Arcgis 9.4*.

O método de classificação dos usos se repetiu, gerando dez classes de usos conforme exemplificado anteriormente. Posteriormente foi aplicado o módulo LCM (*Land Change Modeler*) a partir da identificação das classes dos usos da terra, para quantificar ganhos, perdas e persistências de cada classe de uso, identificando a mudança na ocupação da terra e alertar para áreas com necessidade de preservação.

Definidas as classes de uso da terra e classificadas pelo método da classificação máxima verossimilhança supervisionada, inserem-se os respectivos mapas ao módulo LCM do SIG Idrisi Taiga, que analisa perdas, ganhos e persistência para cada uso da terra.

Para analisar as mudanças no uso da terra entre 1986 e 2013 das microbacias urbanas da cidade de Piraju, utilizou-se no presente trabalho o módulo LCM desenvolvido pela Clark Labs com o apoio do *Andes Center for Biodiversity Conservation* da ONG *Conservation International* chamado *Land Change Modeler (LCM) for Ecological Sustainability* que segundo Eastman:

tem a função de analisar as mudanças no uso da terra entre duas datas, avaliar perdas, ganhos e persistências no uso da terra, as contribuições de cada tipo de uso da terra para conversão em outra classe, além de prever e modelar as variáveis relativas às transições do ambiente e hábitat (EASTMAN, 2009).

O módulo LCM pode analisar usos específicos em relação a outros, pode mostrar a mudança espacial de um determinado uso da terra, ou seja, uma área que sempre produziu culturas temporárias passou a produzir culturas perenes ou uma área que era alagada e hoje não apresenta o alagamento devido a escassez de chuva por exemplo.

5. Resultados e Discussão

A diferença de escoamento apresentada de uma época para a outra se deu com a mudança do uso da terra e principalmente no nível de impermeabilização do solo pela cidade. Portanto não havia necessidade do mapeamento de outras microbacias próximas a essas, pois a cidade não exercia impactos diretos sobre essas outras microbacias hidrográficas. O mapa da Figura 6, representa espacialmente a Tabela 3 acima, seguindo a hierarquia apresentada.

Inicialmente observa-se através das imagens de satélite a presença de resquícios de florestas na cabeceira das bacias hidrográficas distantes do centro da cidade, a área impermeabilizada pela própria cidade e na diferença entre os dois mapas a expansão da cidade ao longo dos anos conforme apresentado na Figura 7.

Outra característica bastante evidente é a mudança no leito do rio principal, pois a construção da UHE Piraju em 2002 mudou toda a dinâmica ambiental da área e a relação da população com o rio, conforme apresentado na Figura 8. Houve movimentos sociais contrários à construção e pedindo intervenção estatal no empreendimento, devido a má gestão ambiental dos programas de mitigação dos impactos, porém com a contratação de uma nova equipe ambiental, a empresa responsável conseguiu sanar os problemas ambientais e atender as principais reivindicações da população pirajuense, pelo menos no que tange a recuperação das APP do reservatório, compra de terras alagadas e reforma do hospital municipal.

Para o mapa de bacias hidrográficas observa-se que existem outras adjacentes e/ou paralelas às bacias delimitadas, porém a influência direta da cidade nessas bacias apresenta-se apenas pelo escoamento após o exutório das bacias delimitadas, podendo ser estudadas em outra pesquisa.

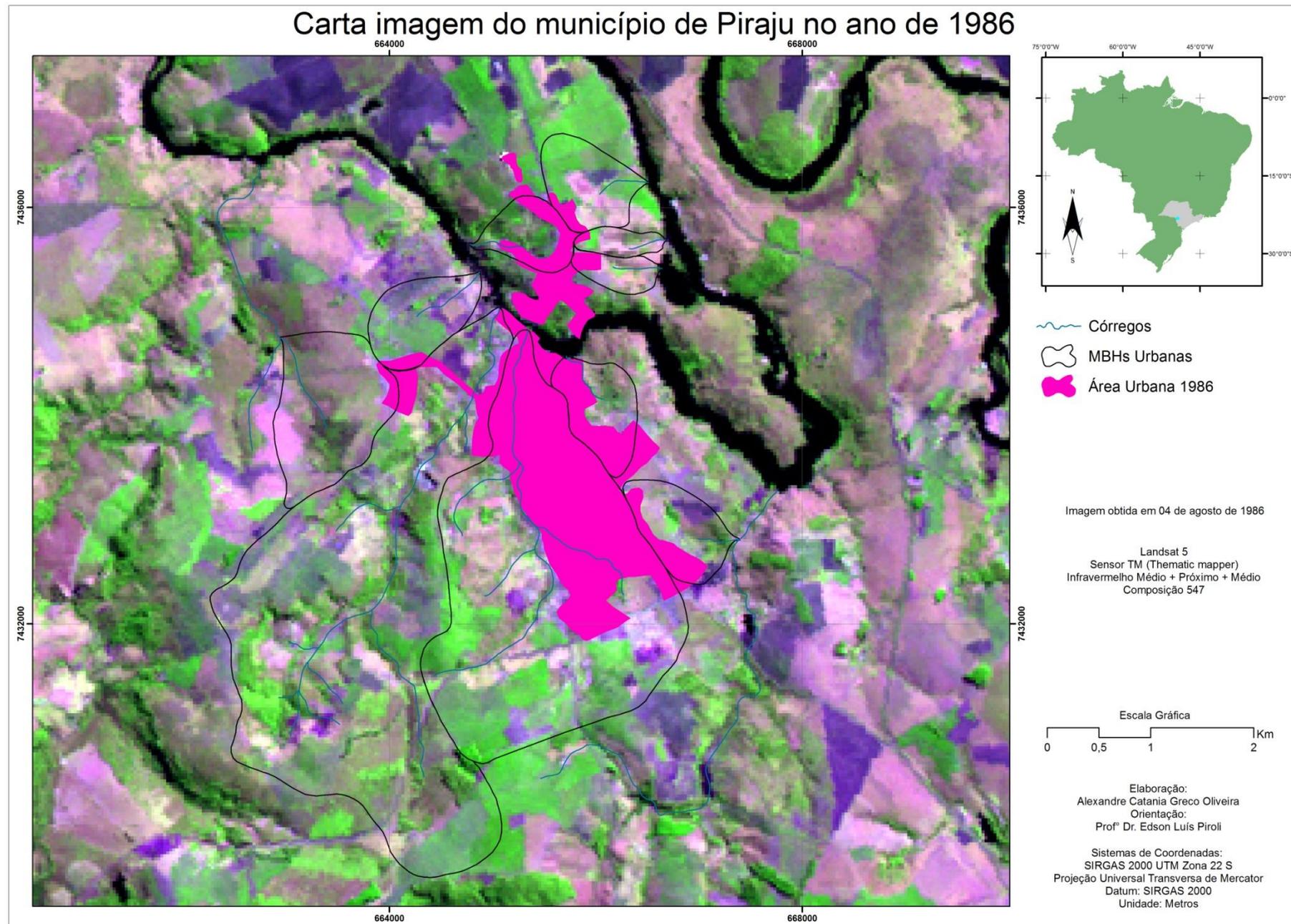


Figura 7: Carta Imagem das MBH's Urbanas do Município de Piraju em 1986.

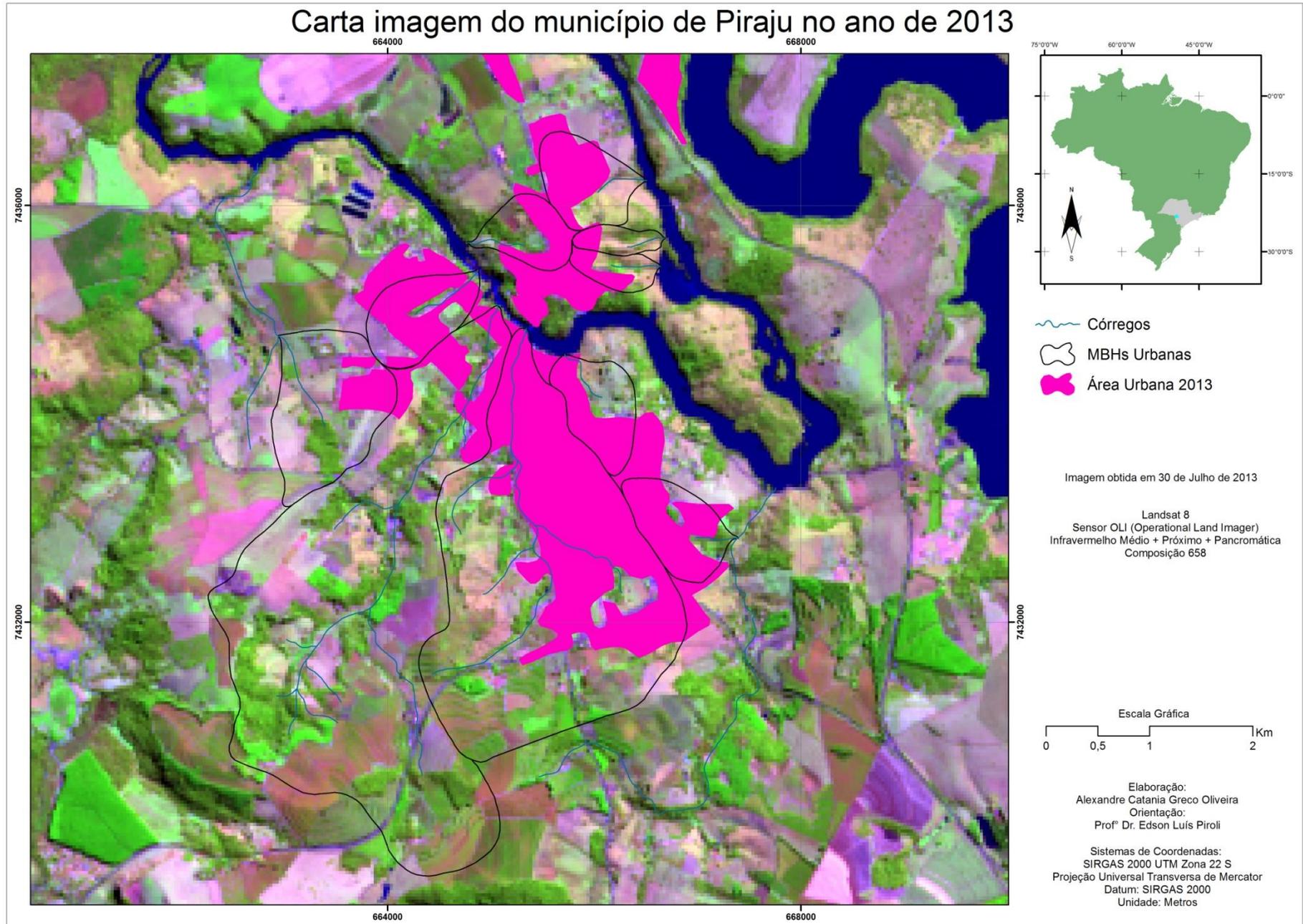


Figura 8: Carta Imagem das MBH's Urbanas do Município de Piraju em 2013.

Os mapas iniciais apresentaram problemas na identificação do uso da terra, uma devido à resolução radiométrica e espacial do sensor mediante a escala atribuída ao mapa, comprometendo a qualidade e justificando a necessidade da realização de mapeamento com sensor de melhor resolução, e outra, conforme pode ser verificado na Figura 9, devido aos telhados das casas em áreas urbanas terem a mesma resposta em relação ao solo preparado para plantio resultando em mapas como o de uso da terra em 1986 da Figura 9. Já para o mapa de 2013, conforme Figura 10, caracterizou melhor a região devido à evolução tecnológica dos sensores, porém ainda apresenta problemas com a área urbana.

Apesar da resolução espacial manter os 30 metros tanto no Landsat 5 quanto no Landsat 8, houve melhoras significativas na resolução radiométrica dos sensores, as faixas do espectro consideradas nos novos sensores apresentam menos ruídos que os mais antigos, ou seja melhoram a nitidez das imagens geradas.

A solução encontrada foi delimitar a área urbana manualmente, pois com os trabalhos de campo e utilização de imagens disponíveis no Google Earth, estabeleceram-se os limites da cidade nas bacias hidrográficas melhorando significativamente os resultados obtidos, comprovando-se na Figura 13 e na Figura 14.

O relevo de Piraju apresenta peculiaridades que merecem uma caracterização mais detalhada, devido as vertentes íngremes no perímetro urbano e no entorno da região, chegando a apresentar escarpas de mais de 20 metros ao sul das principais bacias hidrográficas da cidade e, a partir dos mapas gerados, verificam-se áreas de concentração do escoamento superficial de águas pluviais, áreas a sudoeste das bacias dos ribeirões Arruda e Hungria, as duas maiores bacias, conforme mapa Clinográfico representado na Figura 11.

Diante do exposto, caso a impermeabilização do solo ao longo da bacia e os obstáculos provenientes do descarte inadequado de materiais diversos oriundos das atividades antrópicas podem acabar interferindo na dinâmica da bacia afetando diretamente no dimensionamento da calha destinada para o córrego, fato este, que a área de proteção permanente dentro da cidade pode amenizar o eminente problema futuro.

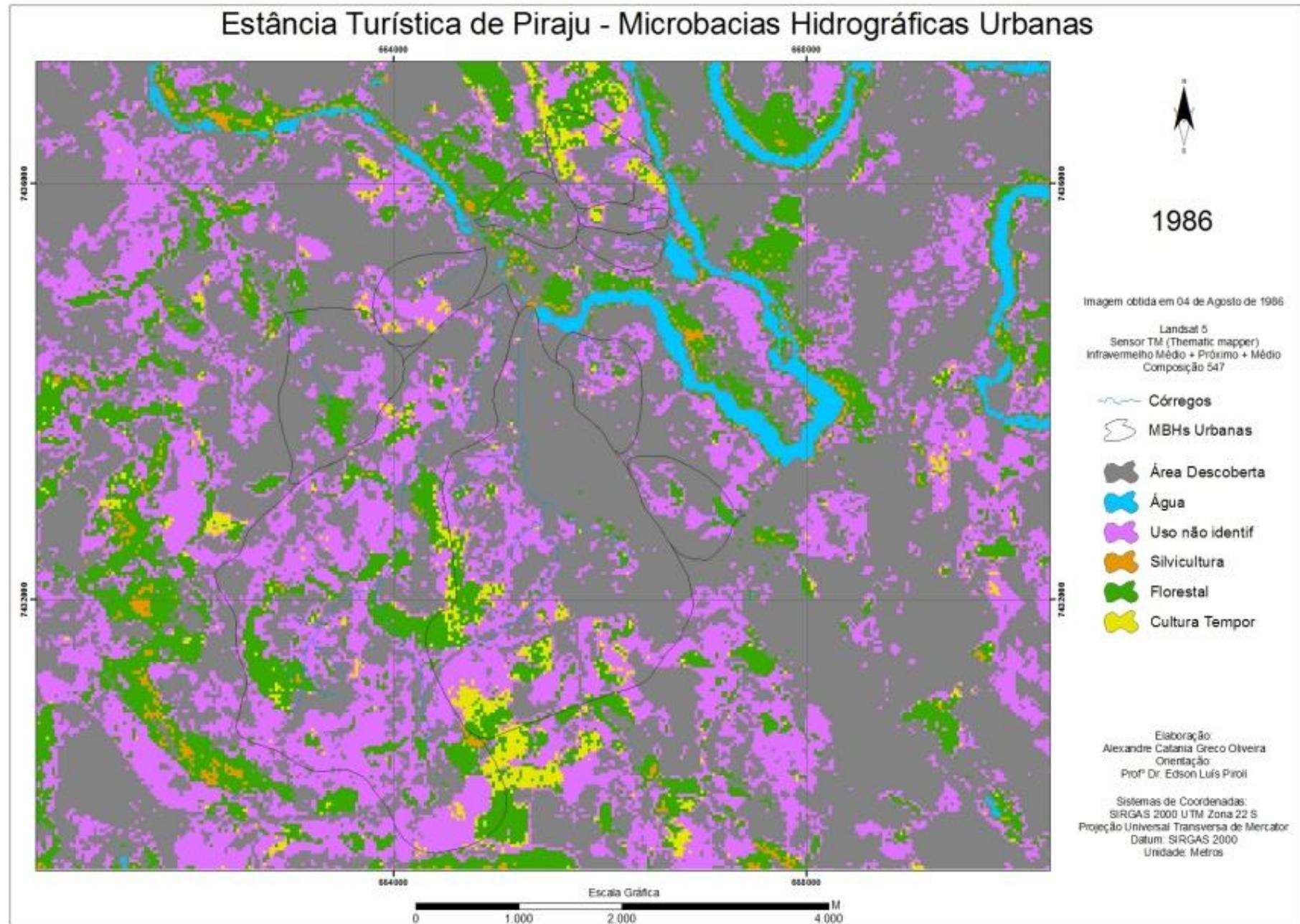


Figura 9: Primeiro uso da terra de Piraju em 1986 obtido pela classificação supervisionada “máxima verossimilhança”.

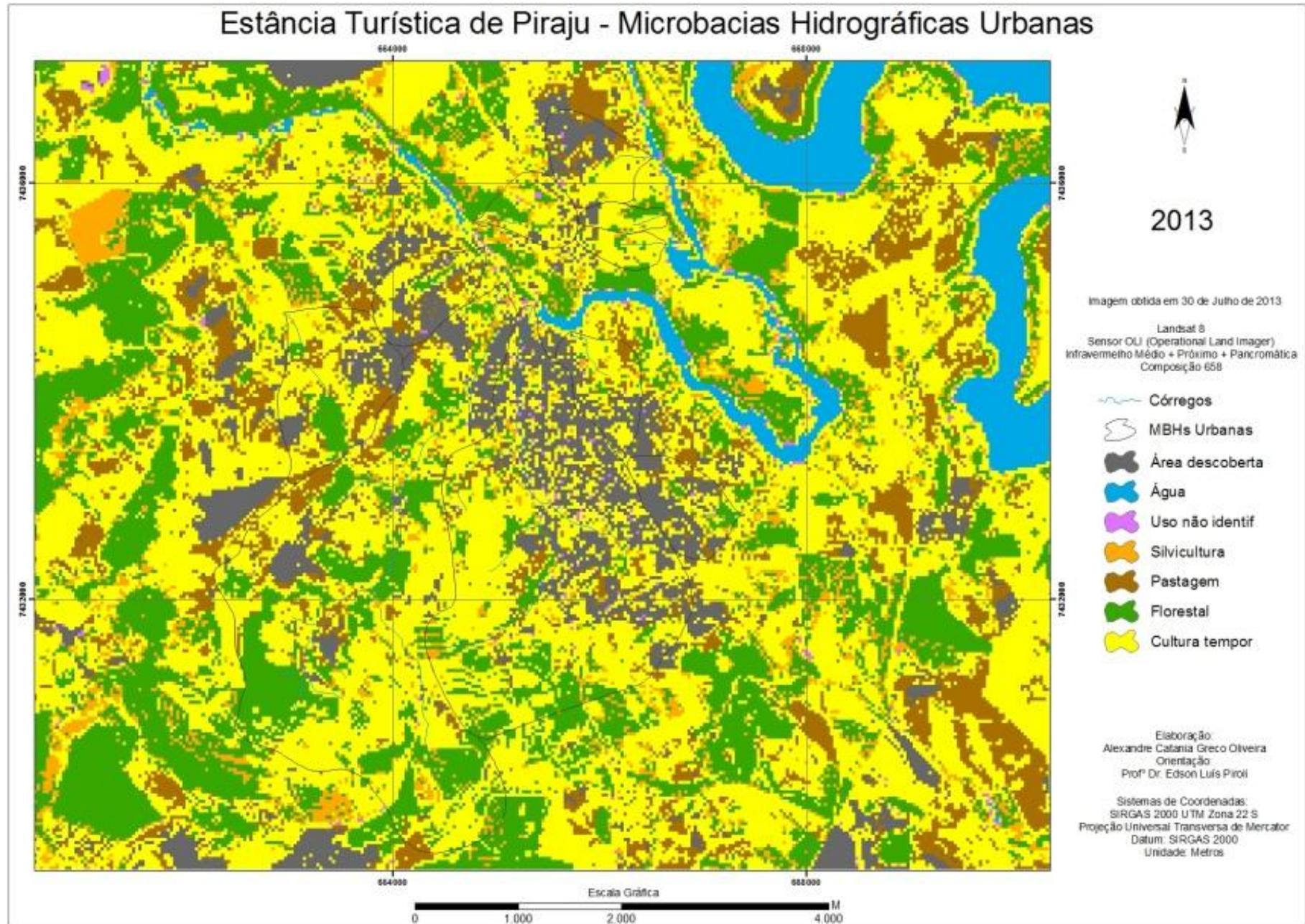


Figura 10: Primeiro uso da terra de Piraju em 2013 obtido pela classificação supervisionada “máxima verossimilhança”.

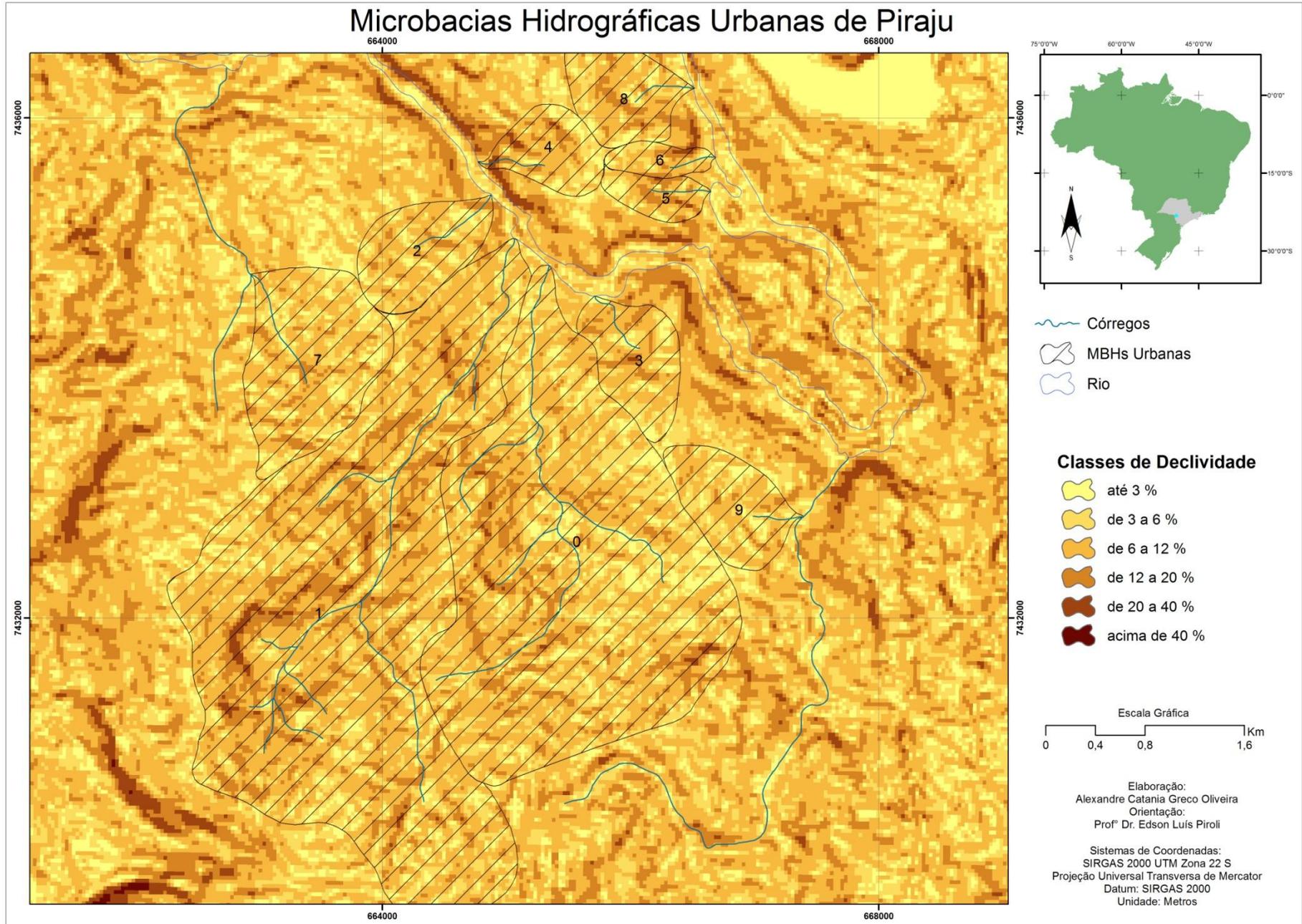


Figura 11: Mapa clinográfico de Piraju.

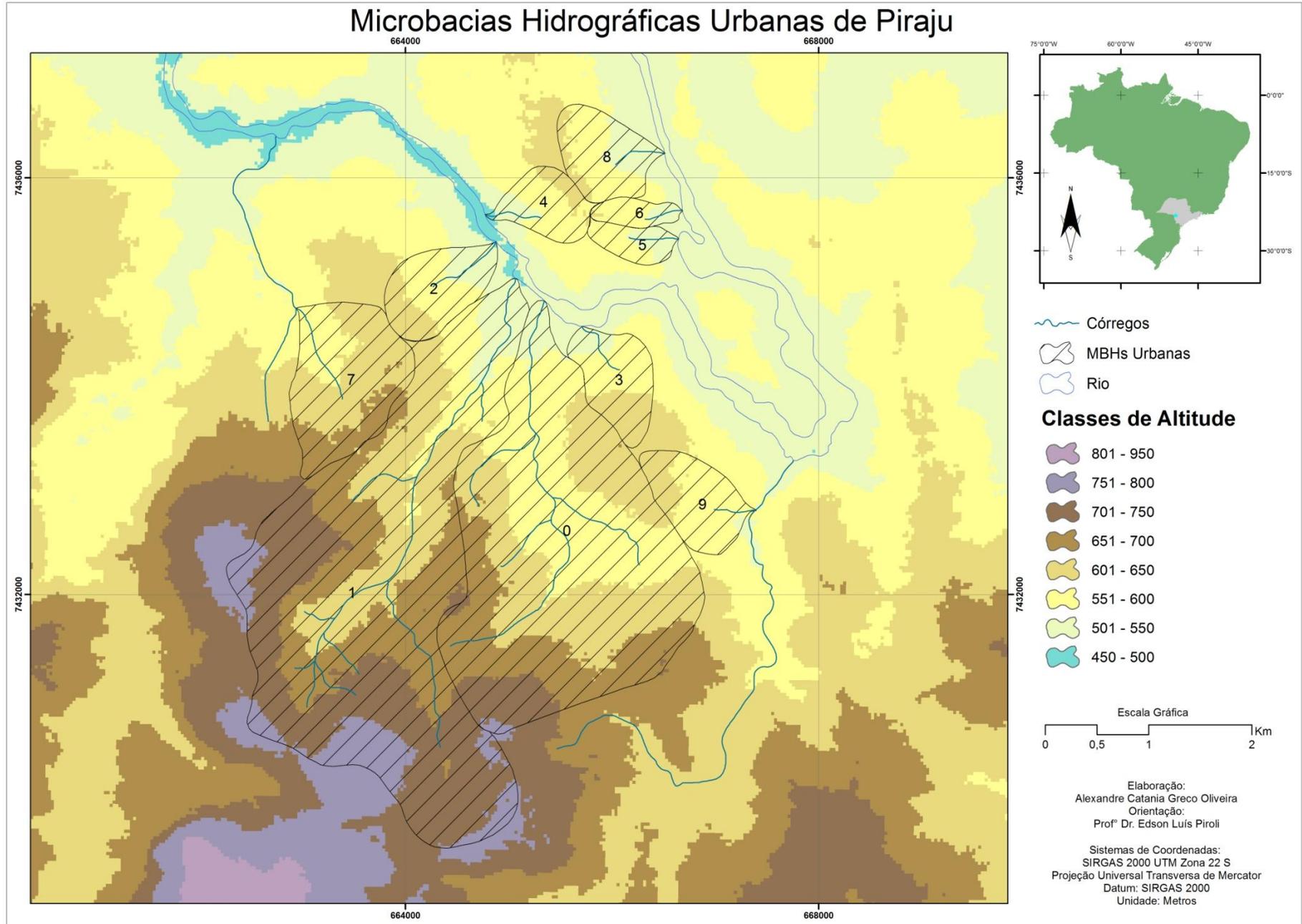


Figura 12: Mapa hipsométrico de Piraju.

Analisando a hipsometria da cidade, verifica-se um desnível de mais de 350 metros, apresentado na Figura 12, tornando trabalhos como este fundamentais ao planejamento futuro da cidade. Verifica-se também a necessidade de deixar livres as galerias de escoamento de águas fluviais, pois a tendência é que se aumente o escoamento superficial conforme a impermeabilização resultante da ocupação antrópica urbana avança sobre as bacias hidrográficas. Outra intervenção essencial no espaço urbano é a manutenção de áreas permeáveis (não impermeabilizadas) para aumentar a infiltração de água.

Um dos resultados positivos das manifestações populares em favor do meio ambiente na cidade nos anos 2000 pôde ser observado no mapa de 2013 da Figura 14 quando comparado ao mapa de 1986, pois devido a maior preocupação da população com o meio ambiente, o maior rigor dos órgãos ambientais na fiscalização do empreendimento e seu entorno, acredita-se resultou num aumento das áreas de floresta dentro dos limites municipais.

O maior domínio e a ampla difusão das previsões climáticas, por meio de programas específicos aos agricultores também podem explicar um aumento das áreas sem preparo (áreas sem cobertura no solo), pois a estiagem se estendeu por mais de dois meses ao longo do ano de 2013, por outro lado, solo exposto sem preparo é mais suscetível à erosão, reforçando que a divulgação por agentes públicos sobre a importância de manter solos cobertos mesmo que por “palhadas” da safra anterior podem evitar tais situações.

Os anos do presente estudo apresentaram chuvas acima das médias, pois em 1986 choveu aproximadamente 1.600 mm, ou seja, 120 mm aproximadamente a mais que a média e, em 2013, 160 mm aproximadamente a mais que a média, ou seja 1.640 mm aproximadamente.

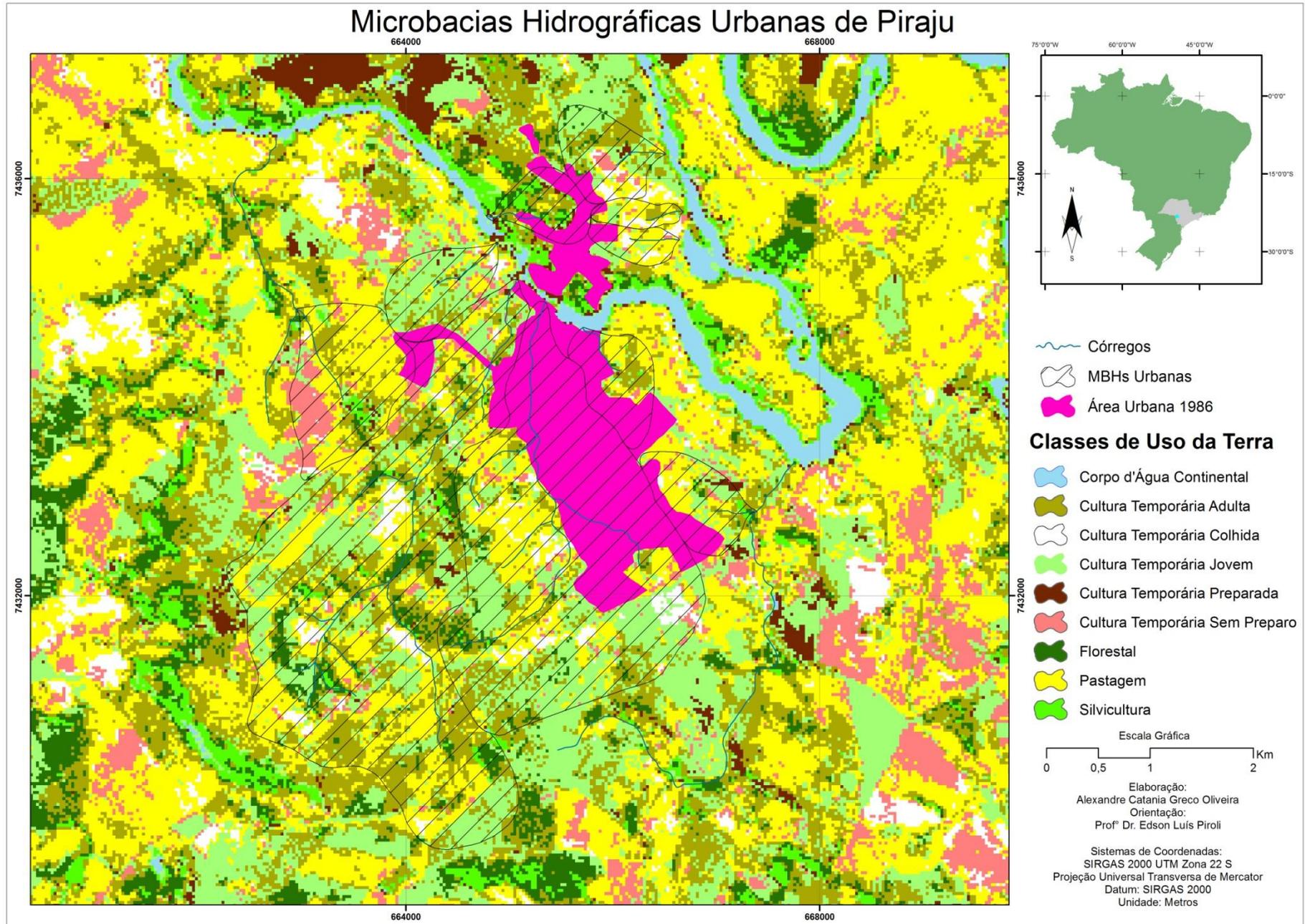


Figura 13: Mapa de uso da terra do município de Piraju no ano de 1986.

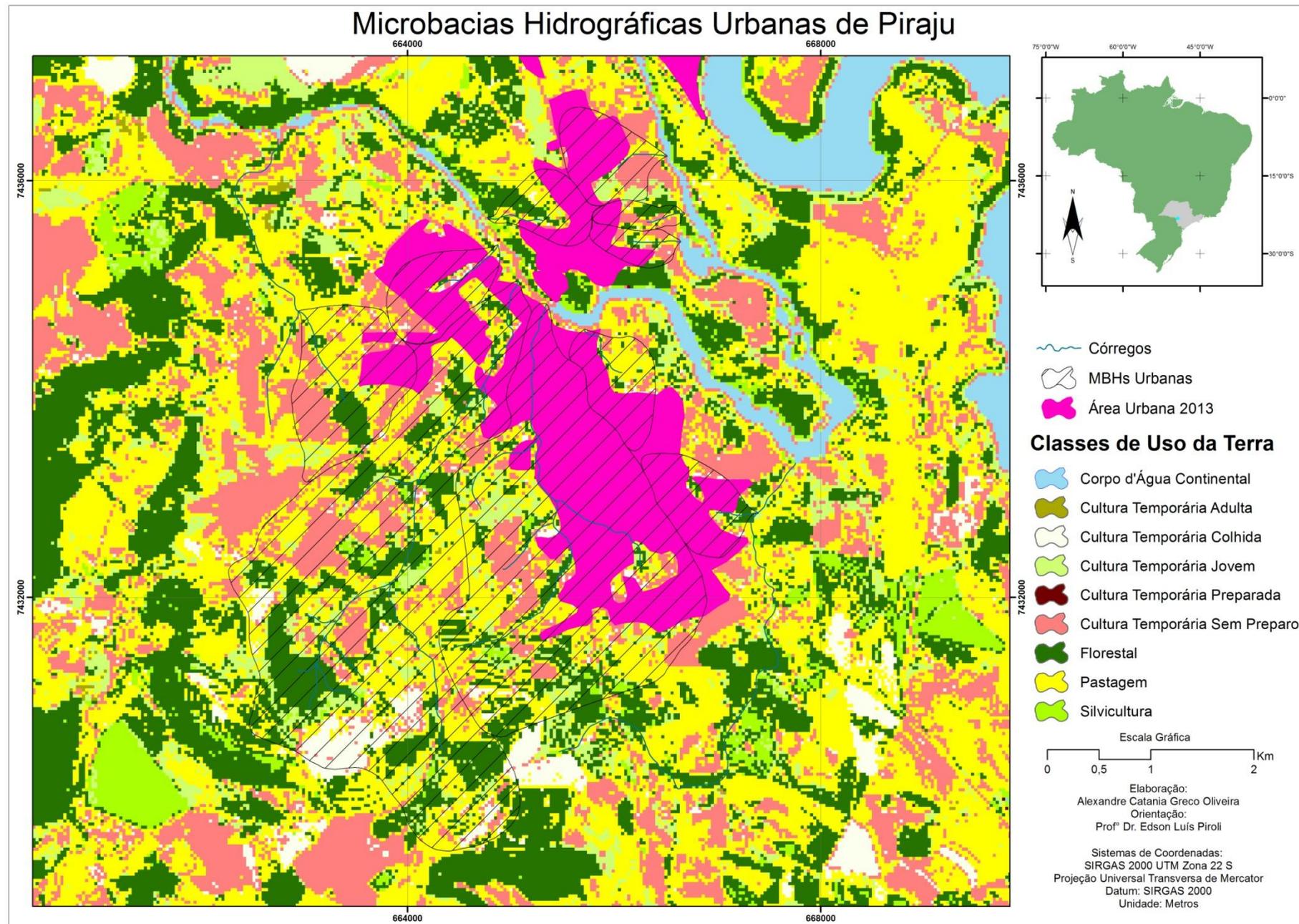


Figura 14: Mapa de uso da terra do município de Piraju no ano de 2013.

Para cada micro bacia hidrográfica urbana foi elaborado um hidrograma, conforme observa-se na Figura 15. Porém para o método Curva Número pode ser possível realizar o estudo através de médias dos valores e ao fato de os sensores utilizados não terem a resolução que o presente trabalho exige, optou-se por estabelecer a média geral das bacias para cada ano do estudo.

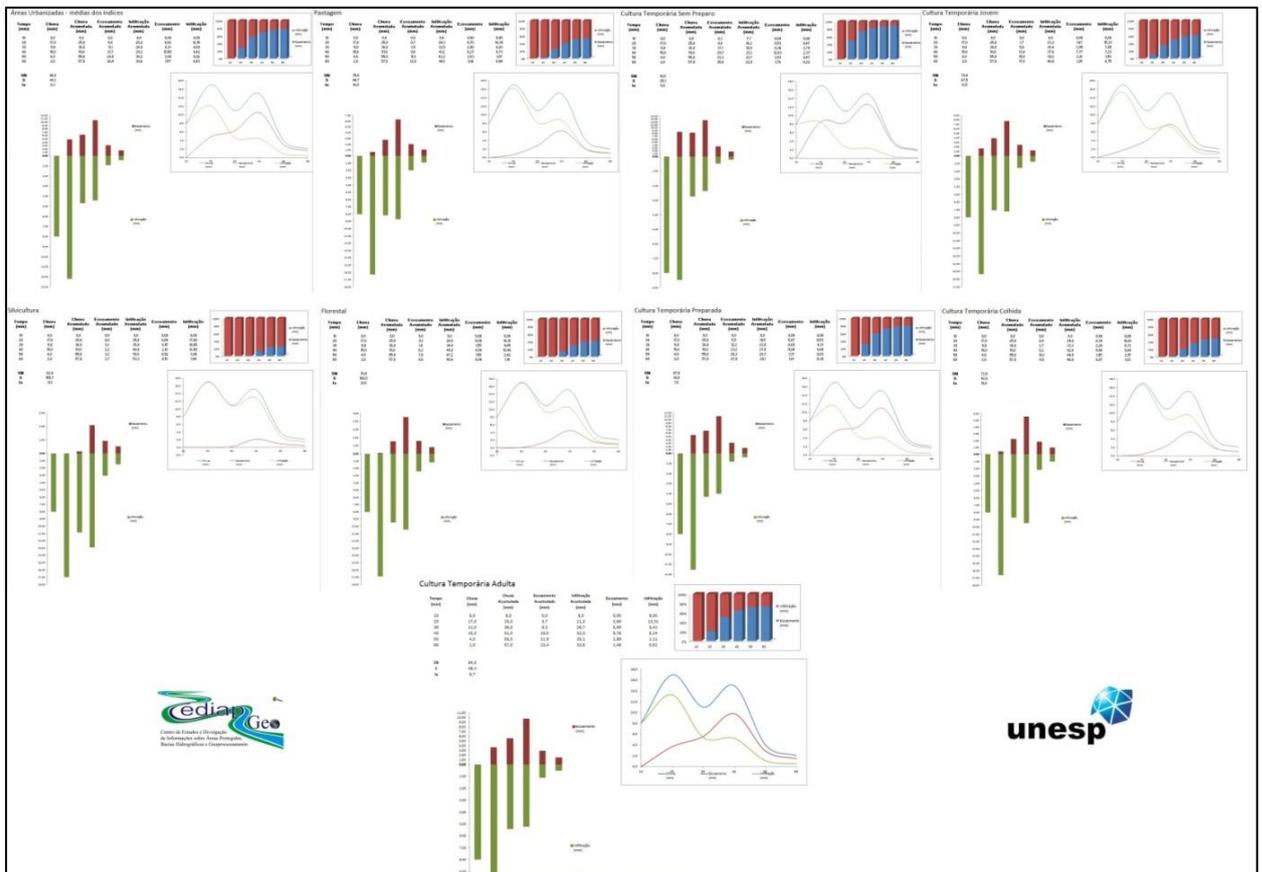


Figura 15: Hidrogramas das bacias hidrográficas urbanas segundo o uso da terra.

A Tabela 4 sintetiza as informações de hidrogramas individuais das bacias hidrográficas urbanas e os mapas de uso e cobertura do solo, quantificando cada uso e tabelando de forma simplificada as informações necessárias a aplicação das fórmulas acima apresentadas no tópico procedimentos metodológicos.

Houve necessidade de ponderação, verificado na Tabela 5 para os usos da terra devido às áreas urbanizadas extrapolar os limites das MBH's, tanto em 1986 como em 2013 essa ponderação ajusta os usos da terra apenas às bacias hidrográficas mapeadas, obtendo um valor para o modelo Curva Número geral para 1986 e 2013.

Tabela 4: Alinhamento dos dados da Classif. Supervisionada com o método SCS.

Classificação Supervisionada	Método SCS (Soil Conservation Service, 1975)	Área em m ² 1986	Áreas em m ² 2013	Valores CN - Coluna "C"	Área % 1986	Área % 2013	CN Ponderado 1986	CN Ponderado 2013
Corpo d'Água Continental	Sem Classificação	350	200	Sem classificação	0,0018	0,0010		
Cultura Temporária Adulta	Plantações Regulares - terraceamento em nível	2.716.025	23.500	84	0,1416	0,0012	11,90	0,10
Cultura Temporária Colhida	Campos Permanentes - normais	700.500	302.150	71	0,0365	0,0158	2,59	1,12
Cultura Temporária Jovem	Plantações de Cereais - terraceamento em nível	573.275	1.392.550	79	0,0299	0,0726	2,36	5,74
Cultura Temporária Preparada	Solo Lavrado - com sulcos retilíneos	64.900	0	91	0,0034	0,0000	0,30	0
Cultura Temporária Sem Preparo	Solo Lavrado - em fileiras retas	1.251.775	3.704.475	87	0,0653	0,1932	5,68	16,81
Florestal	Floresta - Normal	646.250	3.257.300	70	0,0337	0,1699	2,36	11,89
Pastagem	Pastagens em Curva de nível - normais	9.780.525	4.647.575	75	0,5101	0,2424	38,25	18,18
Silvicultura	Floresta - Densa	128.075	179.600	62	0,0067	0,0094	0,41	0,58
Área Urbanizadas ou diretamente afetadas	Média de todas as classes classificadas nas áreas urbanas	3.312.683	5.667.008	86	0,1728	0,2956	14,86	25,42
		19174358	19174358			CN	78,73	79,84
						S	68,62	64,15
					Tempo (horas)	48	24	

O hidrograma de 1986 apresenta um tempo de infiltração maior principalmente devido as características dessa chuva que, embora intensa, diferentemente da chuva de 2013, ocorreu ao longo de 03 dias, no qual no primeiro dia choveu 11 mm, no segundo 45,3 mm e 67,1mm no terceiro dia, totalizando 112,4mm, esboçada no hidrograma da figura 16 justamente quando se dá o pico de escoamento superficial às 48 horas de chuva, onde o solo encontra-se encharcado e sua capacidade de infiltração reduz a zero.

Tabela 5: Ponderação para hidrogramas

Dados	1986	2013
CN	78,7295	79,8360
S	68,6234	64,1521
Tempo (horas)	48	24

Para a chuva de 2013, ocorre um fenômeno pluviométrico intenso apenas nas primeiras 24 horas de análise, pois observa-se que choveu 122,1 mm atingindo um pico de escoamento e infiltração nessas primeiras horas conforme hidrograma da Figura 17. Por essa característica, devido a essa intensidade de precipitação, poderíamos inferir um maior escoamento e infiltração nos resultados obtidos, porém seria muito difícil alcançar

similaridade maior naturalmente, pois as chuvas e período de análises ocorrem espontaneamente as análises empíricas, daí a necessidade de simular chuvas de mesma intensidade (índice e duração) em usos da terra diferentes para poder compara os resultados.

Após hierarquizar as bacias e classifica-las por área, foi elaborado o mapa de localização das bacias e distribuídas conforme ordem da tabela e metodologia exposta anteriormente, onde pode ser observado na Figura 6: Mapa de localização da microbacias hidrográficas urbanas, mapa este, utilizado para embasar as análises referentes às porcentagens de declividade e comprimento de rampa, como observa se nos mapas da Figura 18 e da Figura 19 que distribuem espacialmente alguns dos dados necessários ao cálculo de escoamento superficial e infiltração do presente trabalho, o traçado em perfil para cada microbacia hidrográfica esboça os meios para levantamento do dado.

As bacias hidrográficas existentes apresentam características semelhantes uma vez que a maioria mantém porcentagem de declividade entre 15 e 20 por cento, como pode ser observado na Tabela 6. Também observa-se a maioria com características arredondadas, mas a maior, a MBH urbana do ribeirão da Hungria, apresenta característica um pouco elíptica que merece atenção, pois o escoamento pode apresentar variação das demais. Um cálculo do índice de compacidade das bacias, relacionando-os a suscetibilidade à enchente pode ajudar a entender o comportamento futuro para essas bacias.

Chuva em 20,21 e 22 de Agosto de 1986

Tempo (hrs)	Chuva (mm)	Chuva Acumulada (mm)	Escoamento Acumulado (mm)	Infiltração Acumulada (mm)	Escoamento (mm)	Infiltração (mm)
1	11.0	11.0	0.0	11.0	0.00	11.00
24	34.3	45.3	10.0	35.3	9.95	24.35
48	67.1	112.4	58.2	54.2	48.25	18.85
72	0.0	112.4	58.2	54.2	0.00	0.00

CN
S
la
78.7
68.6
13.7

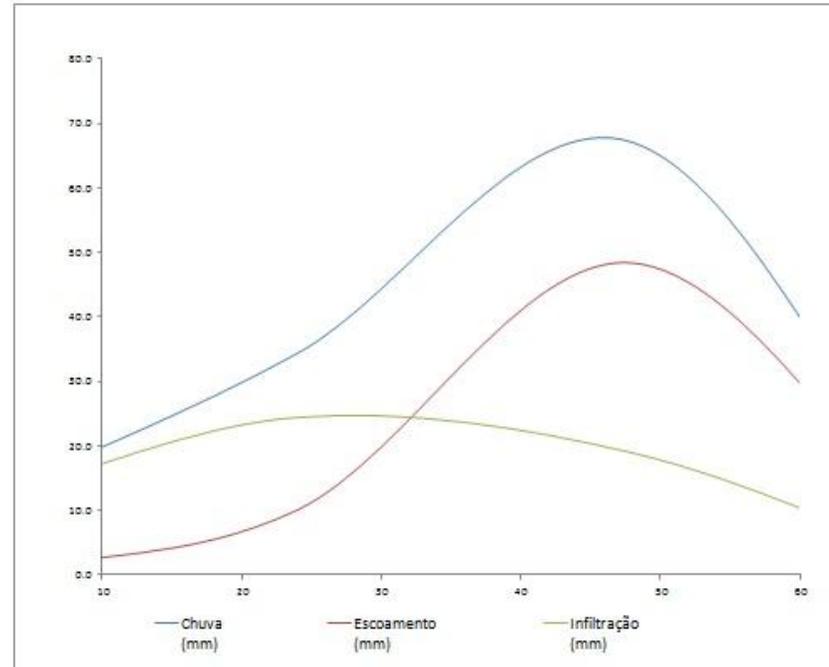
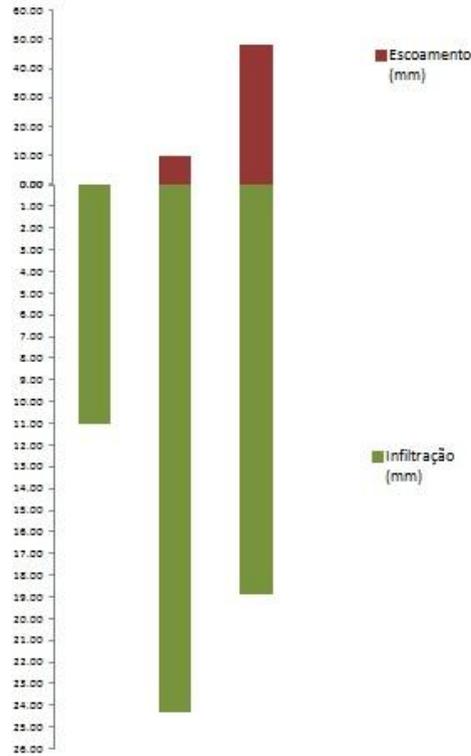
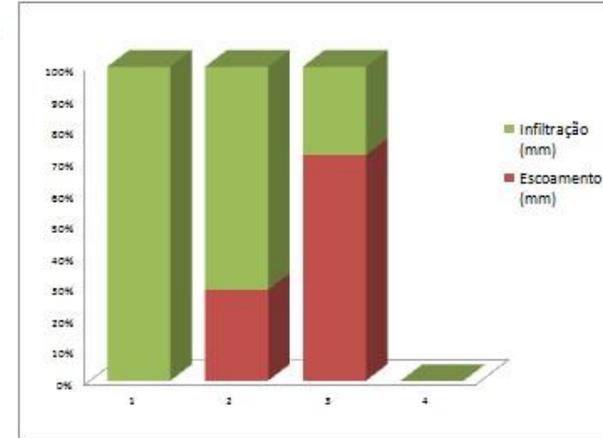


Figura 16: Hidrograma da chuva de 20 a 22 de agosto de 1986.

Chuva em 19,20,21 e 22 de Julho de 2013

Tempo (min)	Chuva (mm)	Chuva Acumulada (mm)	Escoamento Acumulado (mm)	Infiltração Acumulada (mm)	Escoamento (mm)	Infiltração (mm)
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
24	122.1	122.1	68.8	53.3	68.85	53.25
48	5.1	127.2	73.3	53.9	4.42	0.68
72	0.0	127.2	73.3	53.9	0.00	0.00

CN
S
la

79.8
64.2
12.8

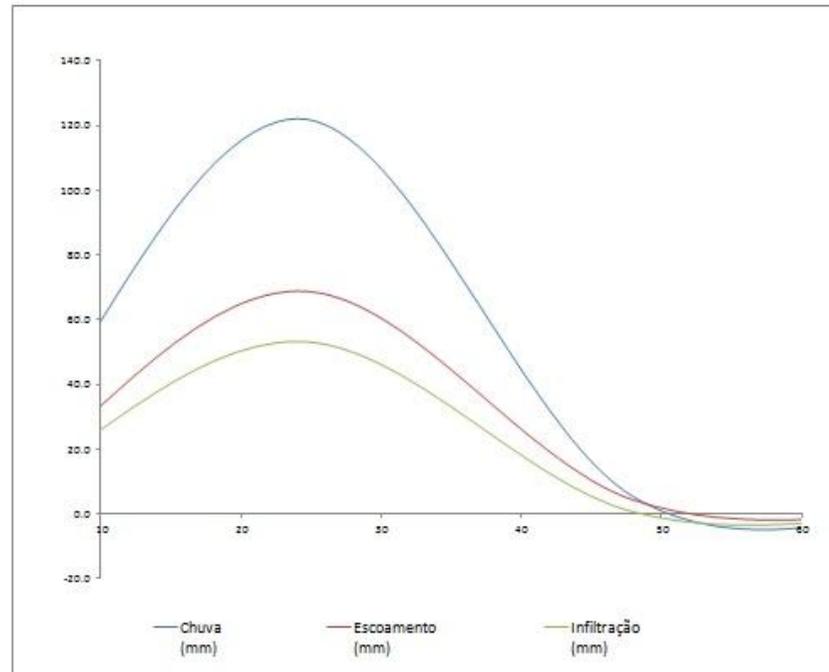
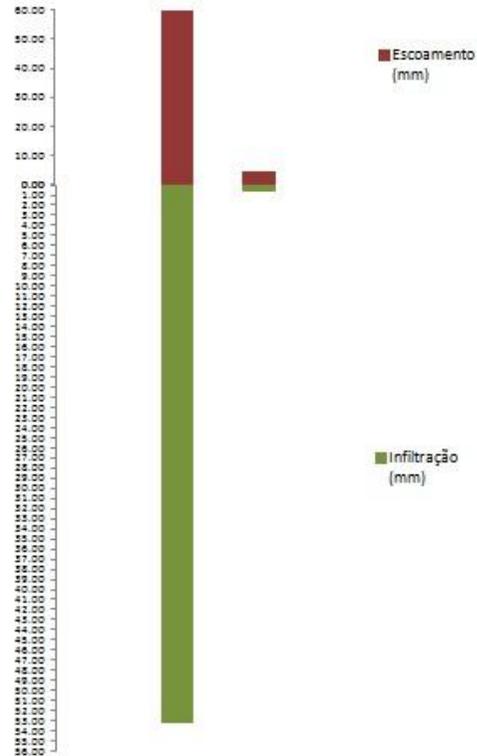
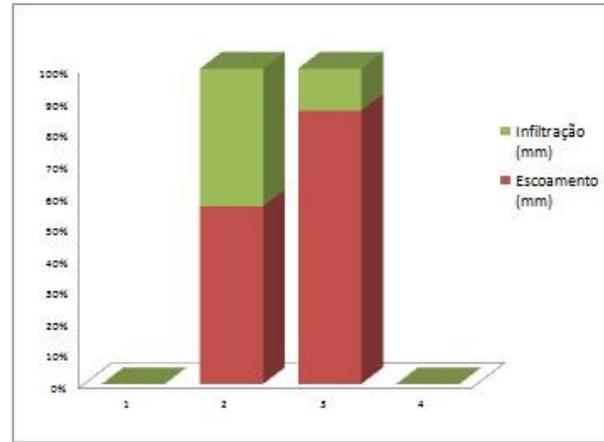


Figura 17: Hidrograma da chuva de 19 a 22 de julho de 2013.

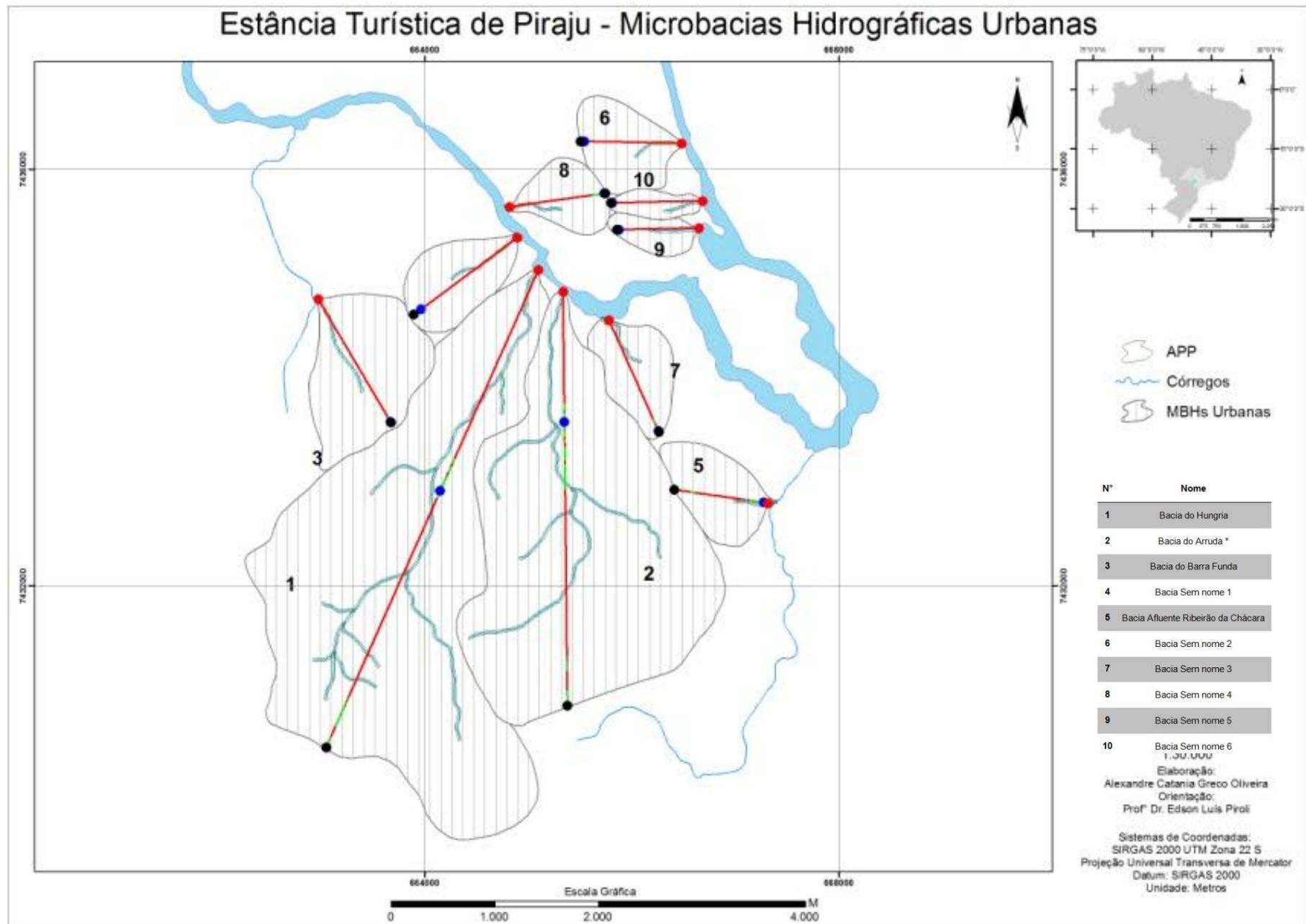


Figura 18: Mapa dos perfis hipsométricos das MBH urbanas de Piraju.

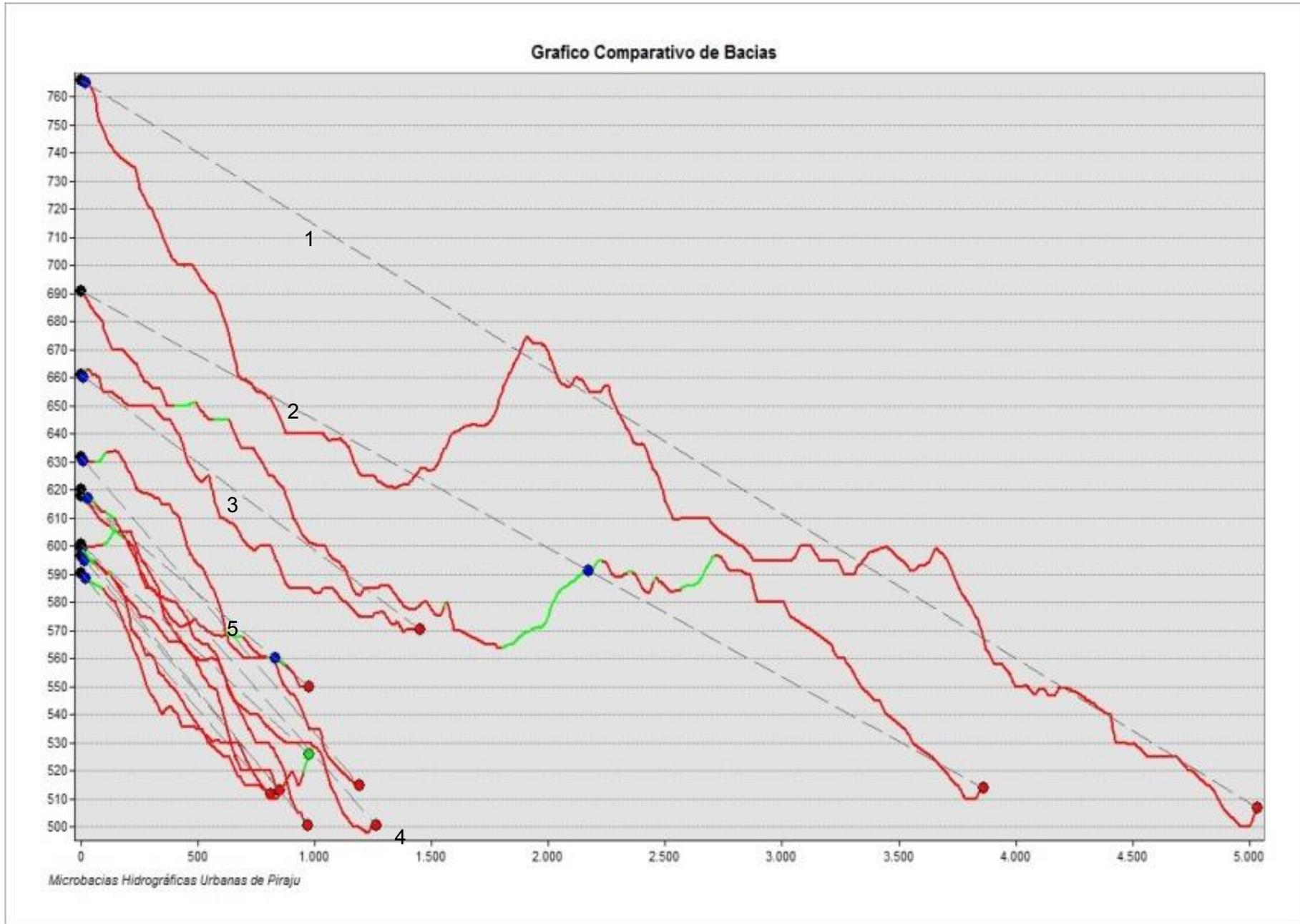


Figura 19: Gráfico comparativo dos perfis hipsométricos das MBH urbanas de Piraju.

Ao finalizar o método CN considerou-se homogeneidade no comportamento das águas superficiais em seu escoamento e infiltração, porém, como abordado anteriormente, há uma significativa contribuição da Bacia do Hungria no presente estudo que deve ser analisada posteriormente desta classificação, pois o talvegue apresenta uma leve angulação em comparação com as outras MBHS urbanas.

Há necessidade de rever políticas públicas quanto à gestão dos recursos hídricos em áreas urbanas, pois fica evidente no presente estudo que houve uma profunda mudança no comportamento da infiltração e do escoamento superficial de águas pluviais ao longo dos anos, a Tabela 6 acima apresenta sucintamente um aumento significativo do escoamento para um evento de chuva bastante semelhante, pois saiu dos 0,96 m³/s em 1986, quando o perímetro urbano ainda era ocupado por culturas temporárias e pastagens, para 88,0 m³/s em 2013.

Utilizando a precipitação de 2013, uma simulação para os próximos 30 anos poderia ser realizada estimando a impermeabilização completa das duas principais bacias hidrográficas urbanas, agregando subsídios para uma profunda discussão a cerca do desenvolvimento e planejamento urbano, evitando enchentes e desastres, muitas vezes classificados como naturais.

Tabela 6: Resultados de escoamento superficial para as bacias estudadas.

N°	Nome	Área (Km ²)	Perímetro (m)	Comprimento Hidraulico	Declividade média	Tp 1986	q 1986	Tp 2013	q 2013
1	Bacia do Hungria	8,017520	14.773	4913	19,84	24,81	0,34	23,98	25,37
2	Bacia do Arruda *	6,211080	10.838	4248	17,03	23,843	0,27	23,04	24,124
3	Bacia do Barra Funda	1,423680	4.835	1008	15,34	7,94	0,09	7,68	7,92
4	Bacia Sem nome 1	0,694818	3.260	772	15,65	6,35	0,04	6,14	6,26
5	Bacia Afluente Ribeirão da Chácara	0,664186	3.263	623	13,78	5,709	0,04	5,51	5,63
6	Bacia Sem nome 2	0,646682	3.164	555	20,91	4,22	0,04	4,08	4,19
7	Bacia Sem nome 3	0,625362	3.218	522	17,69	4,37	0,04	4,22	4,33
8	Bacia Sem nome 4	0,458919	2.723	483	20,19	3,84	0,03	3,71	3,79
9	Bacia Sem nome 5	0,242662	2.106	405	21,22	3,25	0,02	3,14	3,19
10	Bacia Sem nome 6	0,189449	2.008	375	19,11	3,22	0,01	3,12	3,15
		19,174358					0,96 m ³ /s		88,00 m ³ /s

A Tabela 6 representa o escoamento gerado a partir das equações 3 e 4 onde a diferença de escoamento apresentada de uma época para a outra se dá com a mudança do uso da terra e principalmente na intensidade da chuva, pois no período analisado em 2013 choveu 122 mm em apenas 24h enquanto no período considerado de 1986 a chuva distribui-se ao longo dos dias. Culturas Temporárias Adulta, Colhida e Preparada e Pastagem apresentaram respectivamente quedas percentuais de 99,14%, 56,87%, 100% e

52,48% entre os anos de 1986 e 2013, pois o avanço da área urbana que substituiu a agricultura influencia diretamente no escoamento superficial. Os usos Cultura Temporária Jovem, e Cultura Temporária Sem Preparo aparecem nos dois períodos e podem representar em 2013 lotes urbanos sem construções que normalmente são mantidos limpos ou com vegetação rasteira. Estes dois usos apresentaram aumento de 142,91% e 195,94% respectivamente entre os períodos analisados. Outros aumentos significativos podem ser percebidos nos usos Florestal, Silvicultura e Áreas urbanizadas, com 404,03% para o primeiro, 40,23% no segundo e 71,07% para o terceiro uso. A divulgação e o conhecimento da legislação ambiental, as manifestações sociais pela preservação dos remanescentes de mata, e as exigências de reservas legais para propriedades rurais, entre outros, podem ter influenciado no resultado para o uso Florestal. Porém, ainda se observa a necessidade de orientação adequada quanto à expansão urbana sobre as nascentes e áreas de preservação permanente para evitar passivos ambientais futuros.

Em entrevistas com a população local, um morador da rua treze de maio há 30 anos, que trabalha no conserto elétrico e mecânico de portas de automóveis nos fundos de sua casa, por onde passa o córrego do Arruda, afirmou que já há alagamentos esporádicos em sua residência, o entrevistado citou marcas deixadas pela passagem da água e relatou ter aumentado o fluxo de água no córrego em eventos de chuva.

Pelas mudanças no uso da terra apresentar alterações significativas nos dados de infiltração e escoamento, decidiu-se por ampliar os estudos aos limites municipais, porém sem a utilização do modelo SCS – Curva Número e sim o LCM, que não precisa estar vinculado a uma bacia hidrográfica, pois o objetivo desta ampliação no estudo será a mudança ocorrida e não a infiltração e escoamento superficial de águas fluviais, que poderá ser estudada no futuro.

Ao aproveitar as imagens de satélite, o tratamento que se fez necessário as imagens foi mínimo. Os resultados se mostram mais adequados na escala trabalhada, como pode se observar no mapa de Piraju de 1986 na Figura 20. Inicialmente observa-se a presença da água no mapa, com uma coloração mais escura, pois manteve-se a composição das bandas em 547, visando identificar as mesmas classes de uso da terra identificadas anteriormente. Os resultados das composições coloridas já eram esperados, pois foram mantidos os procedimentos de levantamento de dados para garantir a qualidade apresentada na escala anterior. Quando elaborados os mapas com as imagens de 1986 e 2013, percebe-se claramente que houve mudanças dentro dos limites municipais, principalmente, no que se refere a água, pois fica evidente o represamento do rio para a construção da UHE Piraju. Apesar dos impactos que brevemente foram citados acima, há de se ressaltar que a reserva de mata nativa a oeste do mapa de Piraju, depois de adquirida pela empresa responsável pelo represamento, pôde ser considerada em condições de se

manter preservada, evitando caça e retirada de madeiras e consequente empobrecimento na diversidade biológica da área.

Os mapas das figuras 21 e 23 mostram as imagens classificadas de acordo com o uso da terra trabalhado nas microbacias hidrográficas urbanas anteriormente, e esta representada em todo o limite municipal. Outra característica que pode ser observada a olho nu, ou seja, sem o uso das ferramentas avançadas de sensoriamento remoto, é o aparecimento a margem direita do rio principal diversos pivôs de irrigação, conforme apresentado na Figura 22, margem esta caracterizada por fazendas, normalmente acima de 100 hectares. Há de se destacar a presença do Horto Florestal de Piraju, ao norte, principal área de silvicultura na cidade, e observa-se também o potencial turístico da cidade para prática de esportes náuticos e de recreio dentro dos limites municipais.

Município da Estância Turística de Piraju em 1986

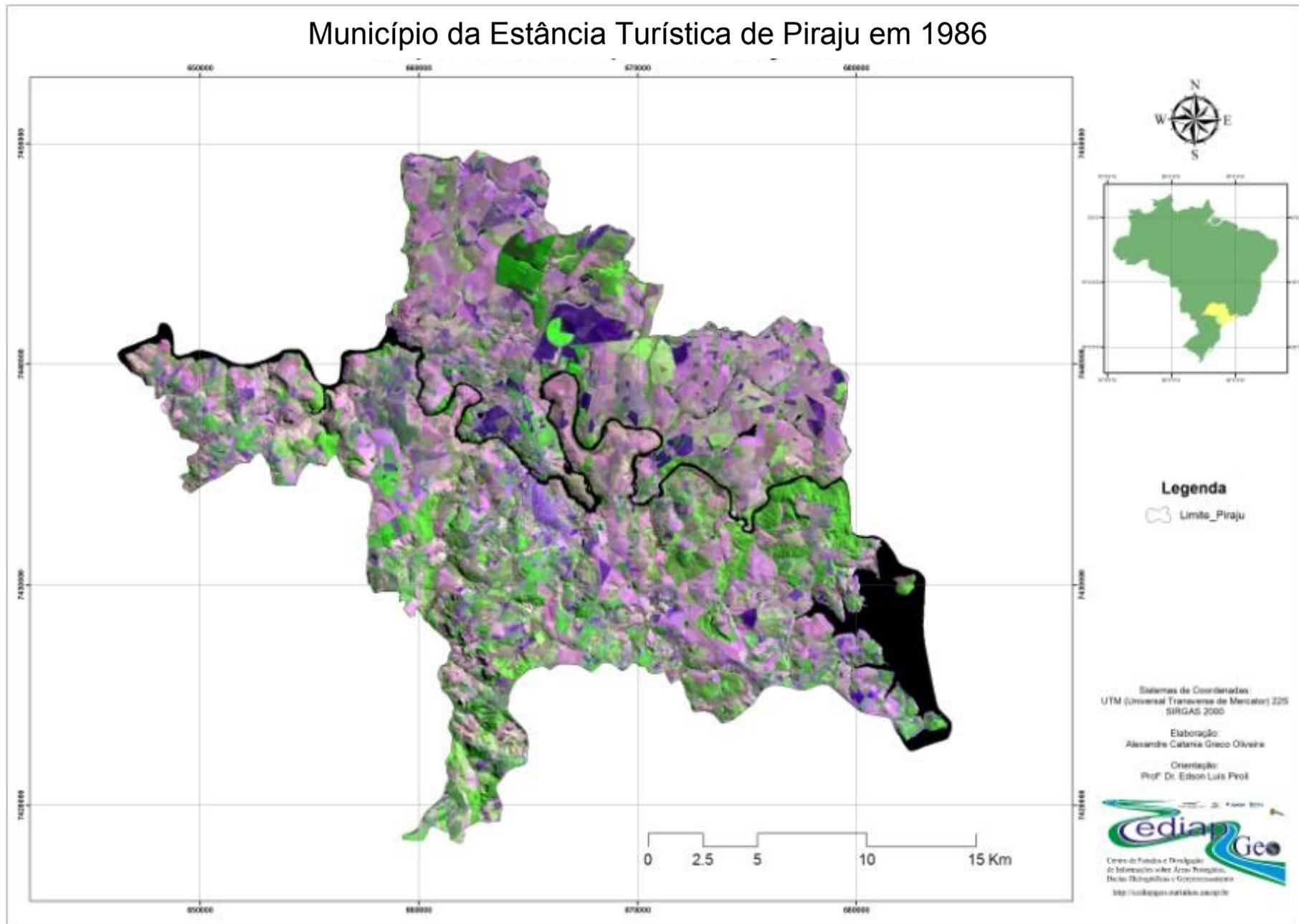


Figura 20: Carta Imagem do Município da Estância Turística de Piraju em 1986.

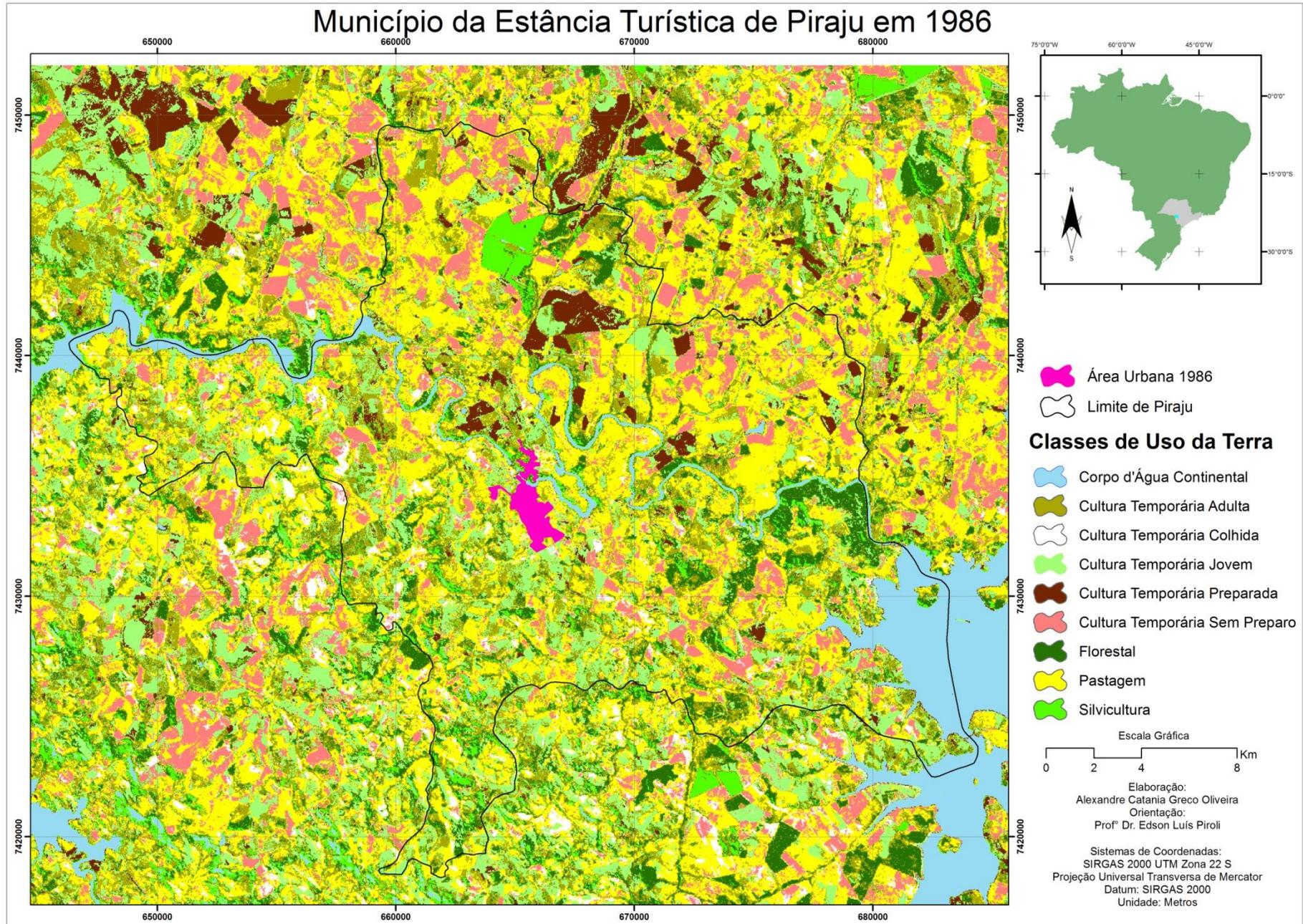


Figura 21: Mapa de Uso da Terra Geral do município de Piraju no ano de 1986.

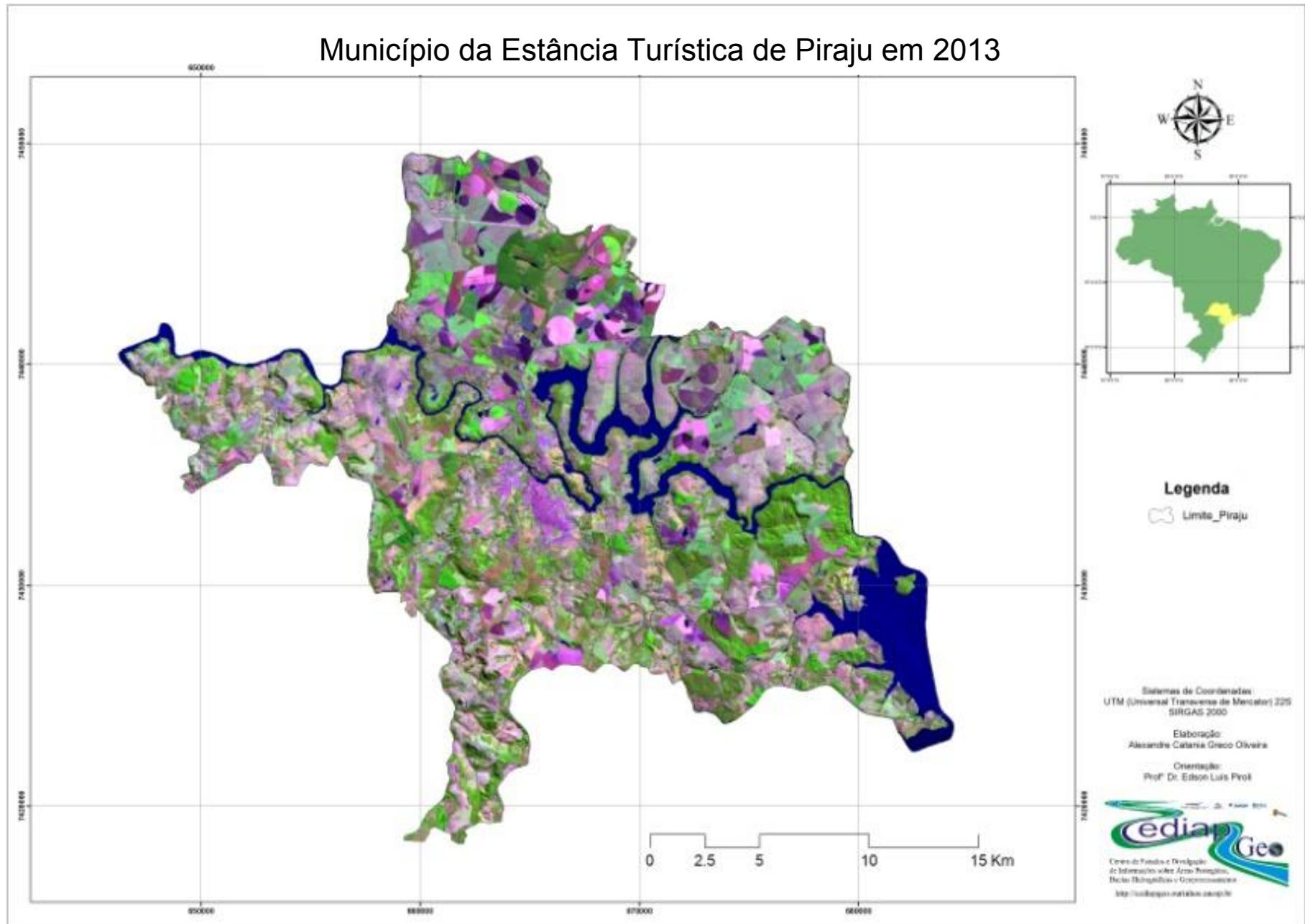


Figura 22: Carta Imagem do Município da Estância Turística de Piraju em 2013.

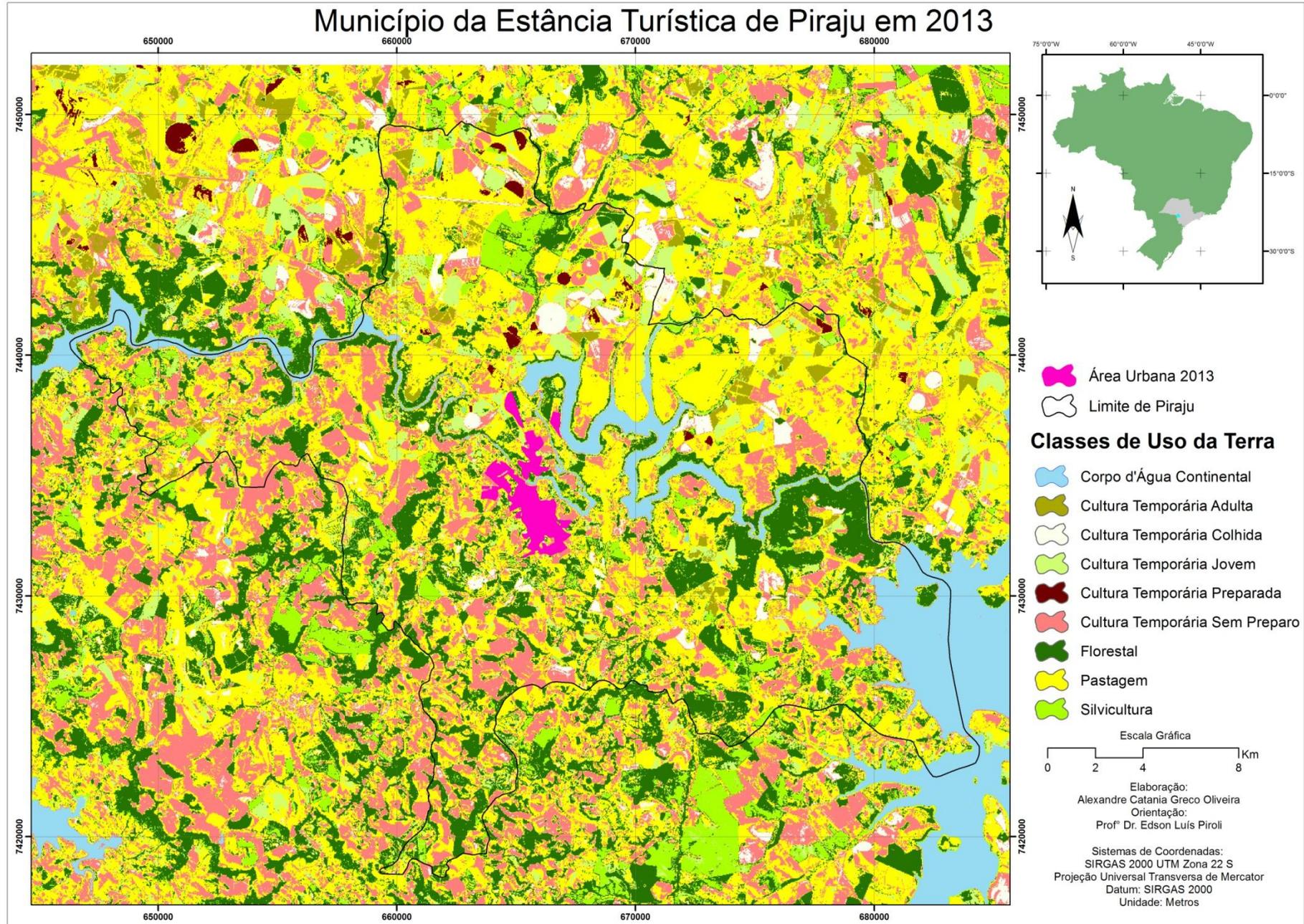


Figura 23: Mapa de Uso da Terra Geral do Município de Piraju no ano de 2013.

O primeiro mapa a ser elaborado no módulo LCM foi o de persistência, que apresenta algumas características que merecem destaque, como por exemplo, a fragmentação da reserva florestal a oeste indicando que possivelmente houve uma tentativa de degradação ou a retirada de madeira na década de 1980, que posteriormente foi corroborada quando mostrado apenas o uso Florestal.

O uso da terra Pastagem se destaca no mapa da Figura 24 indicando o predomínio da pecuária com o passar dos anos, apesar da cidade ser conhecida e também se orgulhar por produzir café, o que aparentemente não traduz a realidade da cidade. É certo que em 1986, a cidade ainda vivia reflexos da crise do produto após as geadas de 1975 e ainda estava abalada financeiramente, porém deve-se ressaltar que a pastagem continua a fazer parte significativa da produção agropecuária da cidade.

O período de análise das imagens também deve ser considerado, pois refere-se ao período de estiagem, tanto no ano de 1986 quanto no ano de 2013 abrangendo os meses de julho e agosto, justificando a resposta do SIG como pastagem, talvez pelo simples fato de agricultores deixarem a terra “descansar” na entressafra onde as gramíneas podem se desenvolver e as áreas podem ser erroneamente classificadas como pastagem.

Para melhorar a análise do mapa de persistência foram quantificados em hectares os usos da terra e apresentados na Tabela 7, na qual observa-se domínio absoluto do uso da terra Pastagem representando mais de três vezes o uso Florestal, ou mesmo o uso Corpo d'Água Continental que representam o segundo e terceiro uso que mais persistem ao longo dos anos.

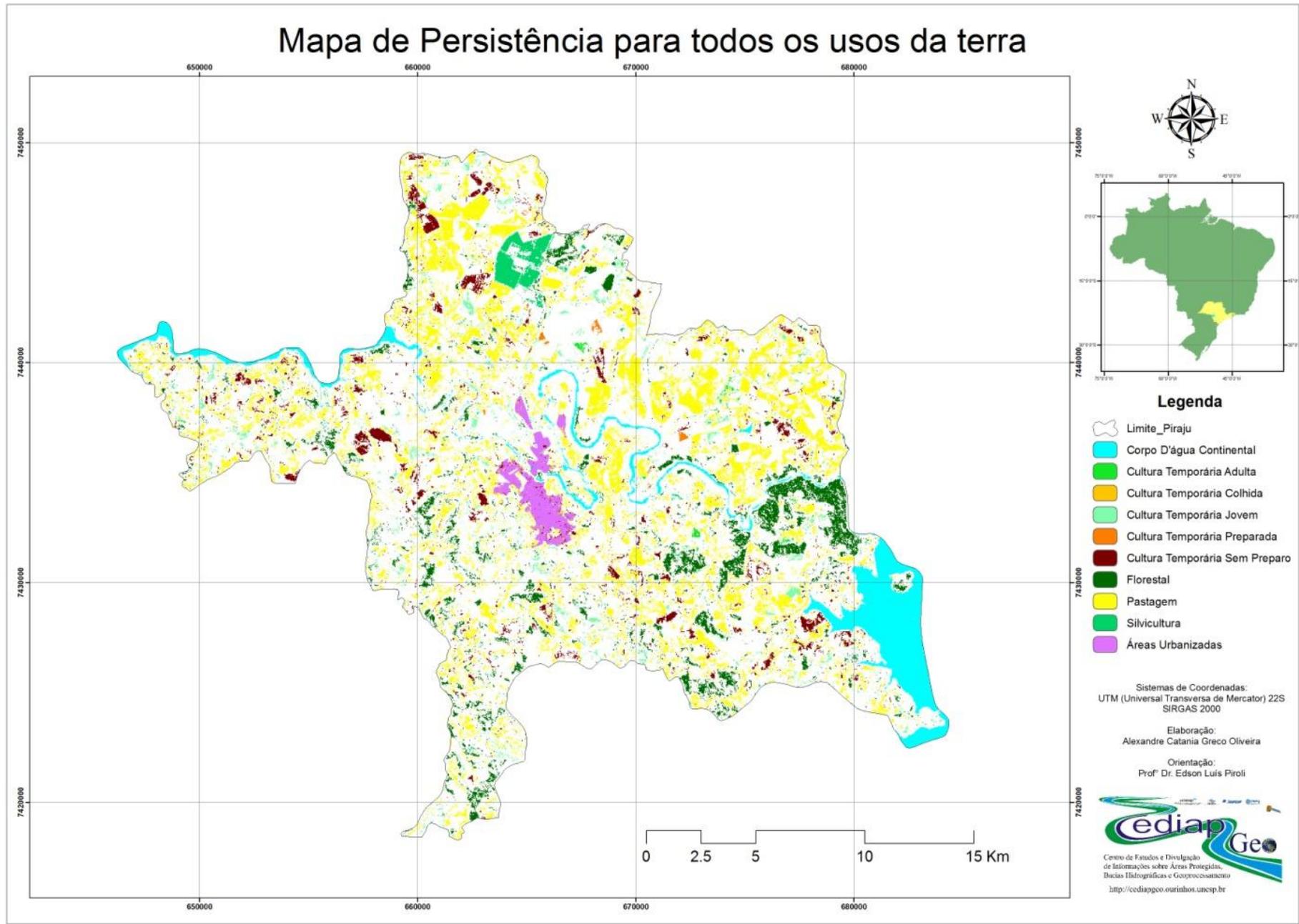


Figura 24: Mapa de Persistência no uso da terra para Piraju 1986 – 2013.

Tabela 7: Quantidade em hectares dos usos da terra que persistiram entre 1986 e 2013.

Persistência em hectares	
1	7.629,30 - Pastagem
2	2.394,36 - Corpo d'Água Continental
2	2.227,86 - Florestal
3	1.283,49 - Cultura Temporária Sem Preparo
4	719,91 - Cultura Temporária Jovem
5	482,67 - Silvicultura
6	124,02 - Cultura Temporária Adulta
7	44,55 - Cultura Temporária Preparada
8	21,51 - Cultura Temporária Colhida

Analisando os usos verifica-se a necessidade de aprofundar o estudo referente ao uso da terra Florestal, pois representa o terceiro maior uso preservado nos últimos trinta anos. Mediante esta constatação elaborou-se o Mapa de perdas, ganhos e persistência para este uso, que está apresentado na Figura 25, no qual percebe-se claramente um ganho expressivo para este uso, muito em parte pela maior preocupação da população da cidade na preservação dos remanescentes florestais, que além da construção da UHE Piraju entre 2000 e 2002, o que obrigou a população a se conscientizar quanto preservação ambiental, foi que houveram em 2009 casos de febre amarela silvestre, amplamente divulgados na mídia regional, pois ocorreram seis mortes no município, além de suspeitas de cidadãos pirajuenses terem entrado em óbito em hospitais da região devido as complicações da doença, surto que foi atribuído ao manejo inadequado de remanescentes florestais. Pergunta-se: Como a doença que se origina de primatas que habitam as florestas próximas, chegou aos humanos na cidade?

Mesmo constatando o avanço na preservação do uso Florestal, fica evidente que houve uma degradação anterior e posteriormente uma regeneração florestal, obrigando populações inteiras de primatas a migrarem de suas regiões para áreas mais próximas à áreas urbanizadas, justificando o contato dos vetores com os humanos na cidade de Piraju. Uma resposta que poderia esclarecer a pergunta do parágrafo anterior.

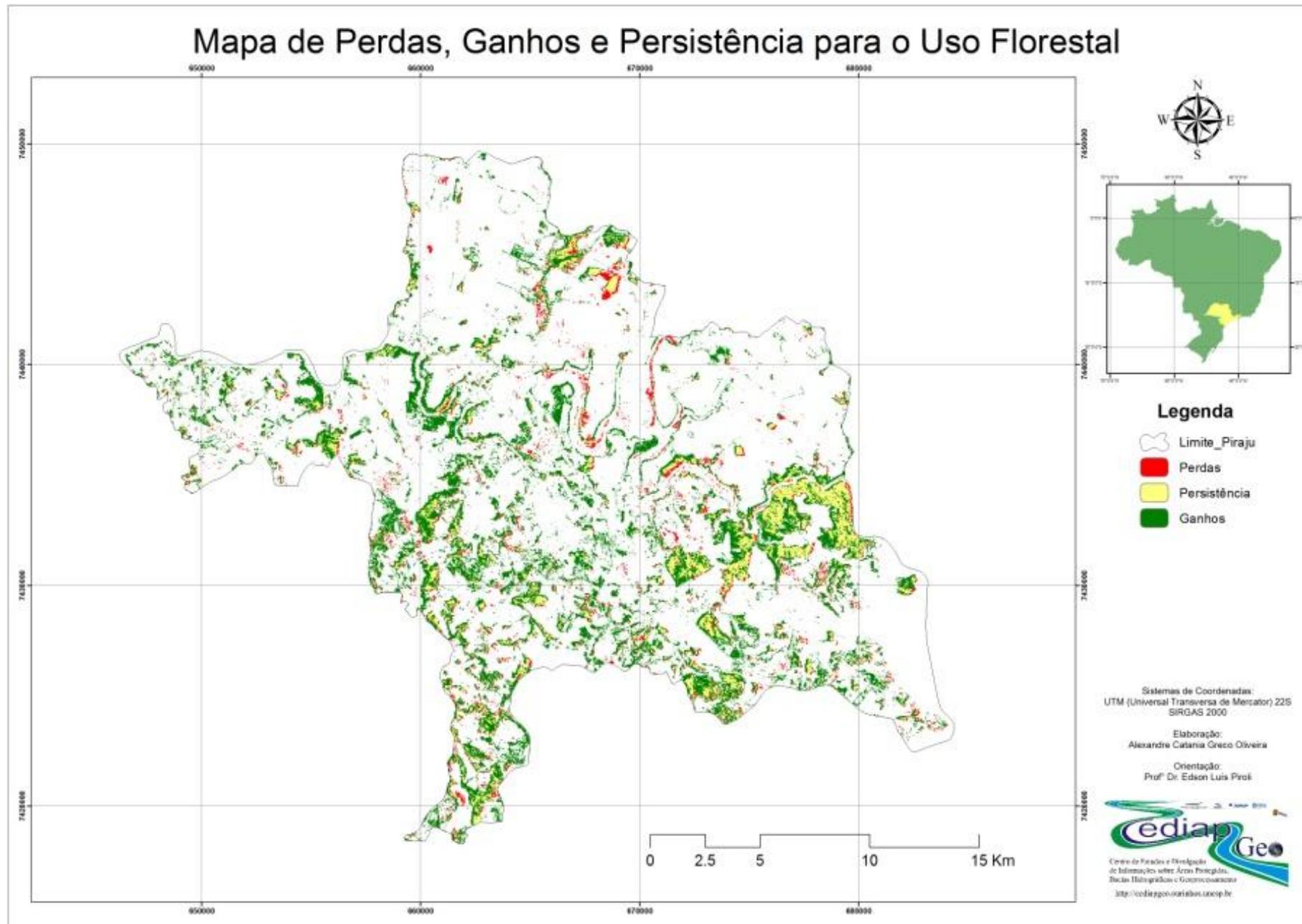


Figura 25: Mapa de Perdas, Persistência e Ganhos para uso Florestal.

As principais perdas para o uso Florestal estão relacionadas ao processo de implantação da UHE Piraju, pois as margens do rio antes do alagamento devem ser limpas dos remanescentes florestais, já que florestas alagadas, além de prejudicar o trânsito de embarcações, prejudicam a qualidade da água e podem causar a mortandade de peixes e a produção de CH₄, gás do efeito estufa e consequente contaminação de seres humanos, já que a captação para abastecimento da cidade localiza-se a jusante da barragem, justificando a retirada da floresta. Outra área desmatada está localizada ao norte e é parte integrante de uma das fazendas mais representativas na cidade e deve estar relacionada à mudança na legislação referente à reserva legal.

Os ganhos, cerca de 8.000 hectares representados no mapa acima também podem caracterizar a evolução dos sensores na identificação de assinaturas espectrais dos alvos além da contribuição de parte deste total serem áreas de florestas plantadas como compensação ambiental pelo barramento do rio pela usina e desmatamento da área alagada na UHE Piraju, que segundo o EIA/RIMA (Estudo de Impacto Ambiental / Relatório de Impactos ao Meio Ambiente) seria necessário o reflorestamento de 1.200 hectares de florestas no entorno do reservatório como Área de Preservação Permanente (APP), além do reflorestamento no canteiro de obras do empreendimento, florestas estas que vão demorar alguns anos para atingir os objetivos ambientais para os quais foram projetadas.

Os mais de 5.800 hectares que se encontram preservados hoje dentro dos limites municipais devem servir de incentivo à população de Piraju, que seguramente será exemplo para outras cidades, na disseminação dos conceitos de desenvolvimento sustentável. Os créditos de carbono podem entrar nesta discussão em um futuro próximo.

Outro uso da terra que sofreu uma mudança brusca foi a água, ou seja, Corpo d'Água Continental justamente pelo seu represamento na construção da UHE Piraju, tendo sido constatado aproximadamente 830 hectares de alagamento. Conforme o mapa de perdas, persistência e ganhos para o uso Corpo d'Água Continental exibido na Figura 26, pode-se dizer também que aproximadamente 131,5 hectares de florestas existentes em 1986 foram derrubados para que a área tivesse condições de ser alagada.

O Mapa da Figura 26 também mostra o aparecimento de pequenos lagos que provavelmente foram criados através de barramentos de córregos e também o desaparecimento de outros, que teoricamente precisariam de outorgas emitidas por agências de fiscalização e controle, material que pode ser analisado com sensores mais sensíveis em estudos futuros.

O Mapa da Figura 26 que representa o alagamento da construção da UHE Piraju, também pode servir de argumentos contrário ou favorável dependendo da causa defendida, pois atualmente se discute a construção de uma nova usina hidrelétrica em Piraju (PCH Piraju II). Anteriormente, quando da obtenção de licença de operação para UHE Piraju em 2002, discutia-se a construção da PCH (Pequena Central Hidrelétrica) Piraju II. Porém, uma

articulação política e comunitária conseguiu das instituições de fiscalização e controle de outorgas o cancelamento do empreendimento. Todavia, devido ao empreendimento estar localizado próximo a linhas de transmissão de energia, sofre ações especulativas a todo instante, o que obriga a população pirajuense a ficar atenta sempre. O mapa em questão pode ser divulgado como uma nova área de lazer e recreio à comunidade aos atores favoráveis, assim como representar o impacto gerado pelo empreendimento aos contrários à nova PCH.

Os mapas até aqui apresentados exemplificam as oportunidades de análise para o Geógrafo que as Geotecnologias podem proporcionar. A Figura 27 gerada pelo módulo LCM, representa um resumo das perdas e ganhos para cada uso da terra identificados no presente trabalho, que pode ser gerado individualmente, por uso, ou a transição de um para o outro.

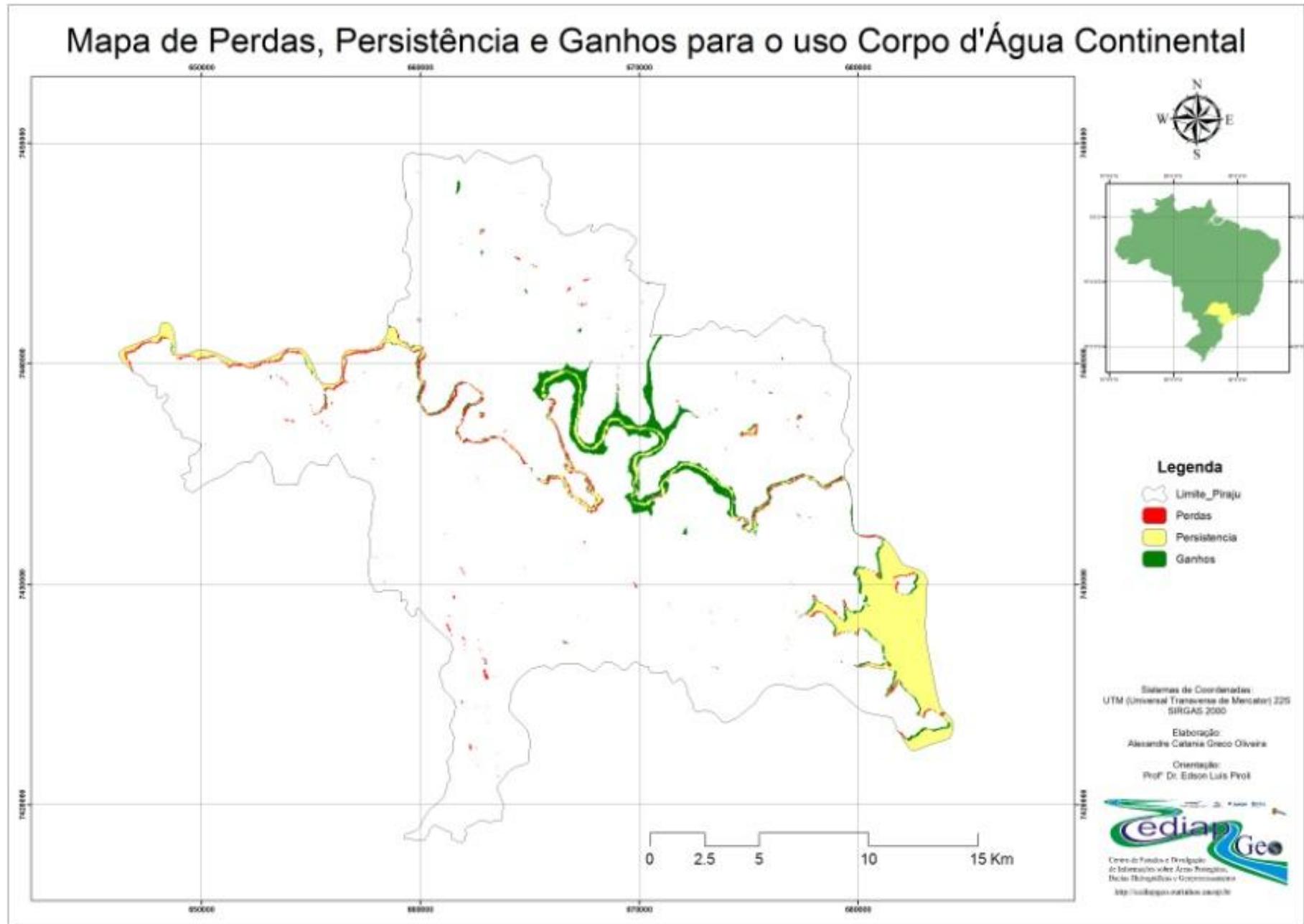


Figura 26: Mapa de Perdas, Persistência e Ganhos para o uso corpo d'água continental.

Ganhos e Perdas por uso entre 1986 e 2013

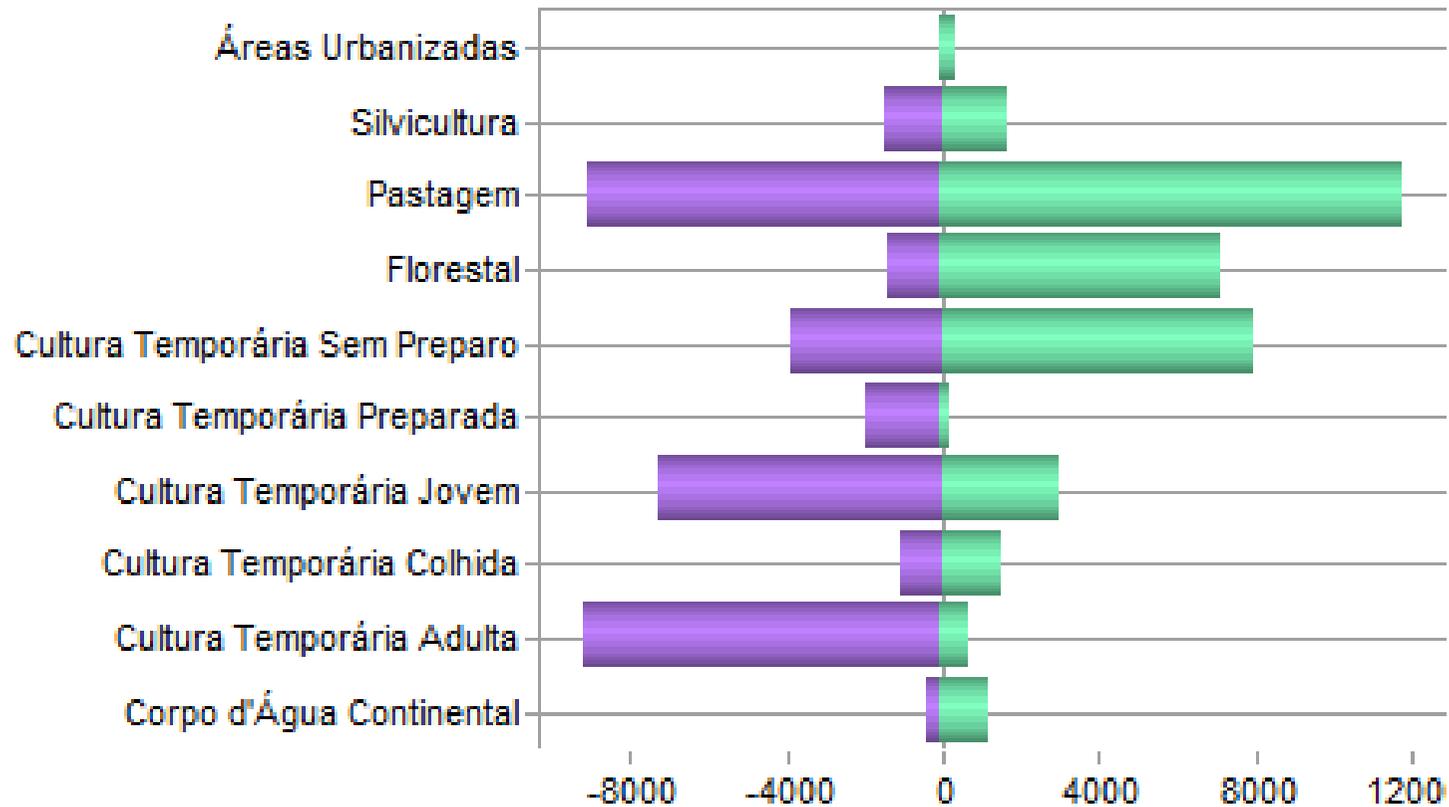


Figura 27: Síntese de Perdas e Ganhos para os Usos da Terra.

Observa-se que os usos da terra Cultura Temporária Adulta e Cultura Temporária Jovem, foram os que mais perderam representatividade: 8.500 hectares aproximadamente para o primeiro e 4.270 hectares aproximadamente para o segundo uso citado. Porém há de se destacar que a partir do evento de chuva analisado no presente trabalho, ou seja, a partir de julho de 2013 seguiram mais de dois meses sem chuva, o que pode explicar a drástica redução nos usos, apesar da ocupação da terra por culturas temporárias/anuais ser dinâmica e depender de outros fatores, como o econômico por exemplo que não está sendo considerado no momento. Vale ressaltar que o ganho de mais de 4.000 hectares para o uso da terra Cultura Temporária Sem Preparo, ou seja, áreas de solo exposto, os agricultores prevendo a escassez de água para os próximos meses resolveram esperar e não prepararam a terra para plantio.

Uma inferência que pode-se fazer referente à proteção e conservação do solo é que boa parte dos agricultores deixaram a terra nua ao invés de protegê-las com “palhada” da colheita anterior, apesar do saldo positivo de aproximadamente 450 hectares para Cultura Temporária Colhida, conforme apresentado na Figura 28, quando comparados aos mais de 4.000 hectares sem preparo, que expos a radiação solar e ao vento todo esta área durante os dois meses seguinte. Consequentemente os agricultores perdem muito, que pode ser revertido com instrução aos agricultores sobre os benefícios de proteger o solo durante o ano todo.

Outra dedução que pode-se fazer é que apesar da presença do horto florestal na cidade e uma produção de 1.700 hectares, a variação positiva dos últimos 30 anos foi de apenas de 185 hectares mostrando estagnação no setor de Silvicultura no município.

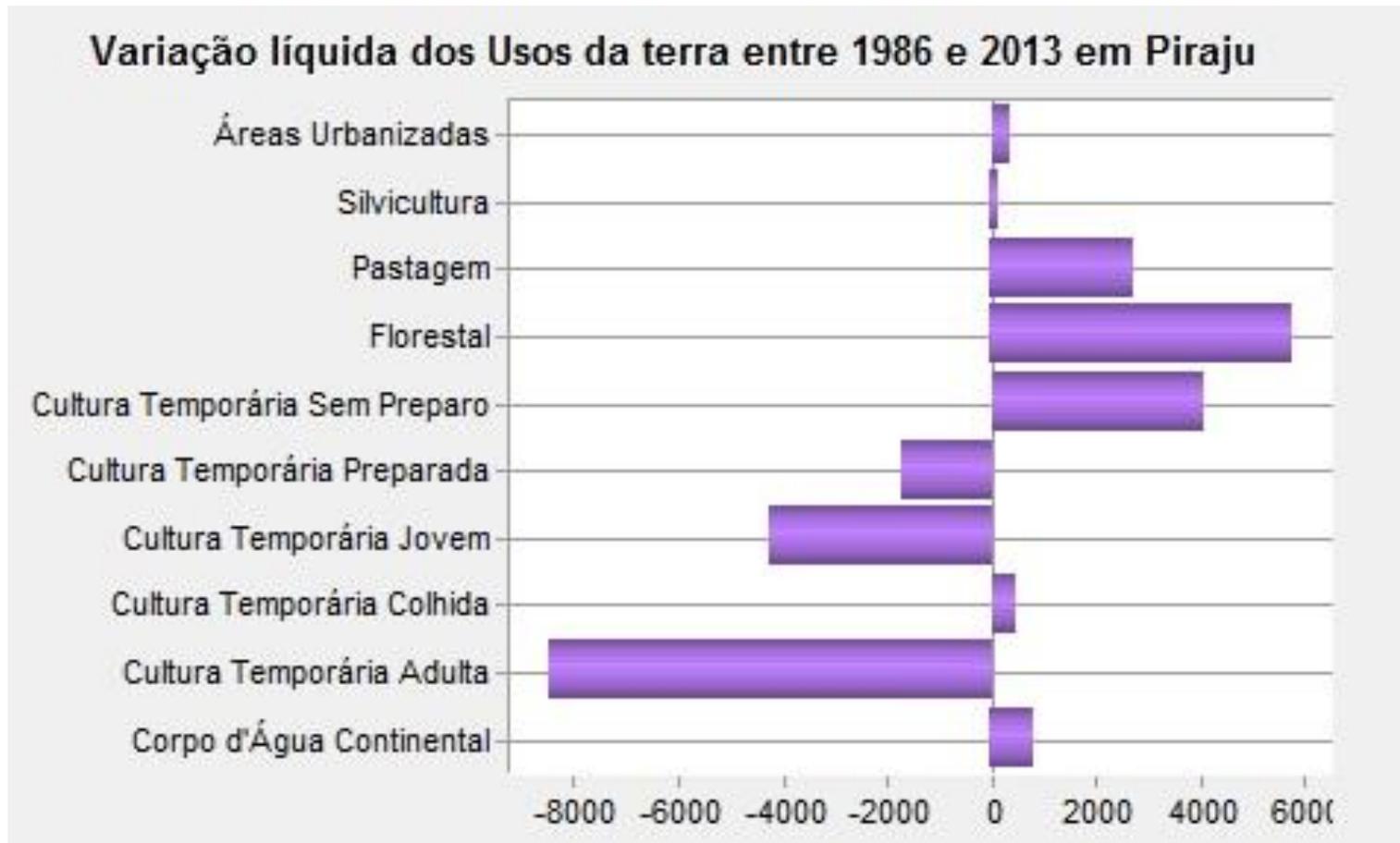


Figura 28: Variação Líquida para os Usos da terra em Piraju.

6. Considerações finais

A partir dos resultados desta pesquisa, pode se afirmar que as áreas de florestas aumentaram no município de Piraju, assim como as áreas cobertas por água no período analisado. Também observou-se que houve aumento no escoamento superficial das microbacias urbanas, o que indica ampliação das áreas impermeabilizadas.

Os mapas obtidos trazem dados sobre as atuais políticas públicas, tanto na questão de preservação ambiental, como no índice de desenvolvimento humano da cidade, pois permitem identificar setores deficitários e suas implicações, além de servir como base para possíveis ações de mitigação relacionadas às ocupações urbanas irregulares.

O método utilizado se mostrou promissor na análise do ciclo hidrológico de pequenas bacias hidrográficas em áreas urbanas e rurais. O cálculo de infiltração e escoamento apresentou resultados expressivos e a utilização de métodos de classificação supervisionada de imagens orbitais otimizaram a obtenção de dados para elaboração de prognósticos sobre enchentes em áreas de risco, que são bastante recorrentes na maioria das cidades brasileiras, incluindo Piraju.

Os mapas gerados indicam a necessidade de aprofundamento, tanto no uso dos sensores utilizados como nas análises, pois podem servir de base para prognósticos ambientais futuros para a cidade de Piraju, apontando os prós e contras ambientais com relação aos empreendimentos implantados e planejados. A partir deles podem ser projetadas mudanças e analisados os impactos, provendo a comunidade de estudos representativos para atender suas demandas, o que pode nortear a tomada de decisões evitando alterações irreversíveis.

Apesar da ANAC prometer para o primeiro semestre de 2015 o lançamento de legislação específica para o sensoriamento remoto através de VANTS (Veículos Aéreos Não Tripulados), a falta de sensores mais sensíveis quanto sua resolução disponíveis gratuitamente no mercado dificultou o desenvolvimento do trabalho, o mercado espera que a regulamentação promova um rápido desenvolvimento no setor barateando os custos de imageamento em alta resolução, o que tornaria este tipo de trabalho com condições necessárias ao planejamento urbano e rural em bacias hidrográficas.

7. Referências

- ANDRIOTTI, J L S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2003.
- ASTER, **GDEM**, *is a product of METI and NASA*, 2001.
- BERTRAND, G e C. **Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades** / Georges e Claude Bertrand; organizador Messias Modesto dos Passos. – Maringá : Ed. Massoni, 2009.
- BIELENKI, C.J. **Geoprocessamento e Recursos Hídricos : aplicações práticas** / Cláudio Bielenki Júnior, Ademir Paceli Barbassa. São Carlos : Ed UFSCar, 2012.
- BRASIL. **Lei Federal 4.771** de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro. Brasília, 1965.
- BRASIL. **Lei federal nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília: Presidência da República, 2012.
- BRASIL. **Lei Federal nº 12727**, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651/2012, e as Leis nº 6.938/1981, 9.393/1996, e 11.428/2006, e revoga as Leis nº 4.771/1965, e 7.754/1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67/2001. Brasília: Presidência da República, 2012.
- CLARKE, K. (2003). **Getting started with geographic information systems** (4 ed.). NJ: Prentice Hall.
- DEMARCHI, J. C., PIROLI, E. L. **Aplicação da ferramenta Land Change Modeler do Idrisi Taiga na análise das mudanças do uso do solo do município de Manduri, SP entre os anos de 1990 e 2008**. In IX Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, 2010, Curitiba. Anais, 2010. P. 393 – 401.
- EASTMAN, J.O. Idrisi 17 – versão Taiga.
- GOODCHILD, M. F. (1992). **Geographical Information Science. International Journal of Geographical Information Systems**, 6(1), 31-45.
- LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI JUNIOR, R.; BERTOLINI, D. ESPÍNDOLA, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: SBCS, 1991. 175p.
- MORAES, A.C.R. de, **Geografia Pequena História Crítica**, Ed. ANNABLUME, 21 ed., 2007.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação** / Maurício Alves Moreira. – 4. Ed. Atual. E ampl. – Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011.
- OLIVEIRA, A. C. G. de, PIROLI, E. L. **Mudanças no uso da terra e escoamento em bacias hidrográficas pelo método SCS**. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.
- PAINHO, CURVELO, M. P. **Building dynamic, ontology-based alternative paths for GIS&T curricula**. In David Unwin (ed), Nicholas Tate, Kenneth Foote and David DiBiase (co-eds): Teaching Geographic Information Science and Technology in Higher Education. (pgs 97-116) ISBN 978-0-470-74856-5, Wiley-Blackwell, December 2011

PIROLI, E. L., et. al. **Análise das mudanças no uso do solo da microbacia do córrego das Furnas, município de Ourinhos – SP, entre os anos de 1972 e 2007, e dos impactos sobre suas áreas de preservação permanente, apoiada em geoprocessamento.** In IX Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, 2010, Curitiba. Anais, 2010. P. 6333 – 6340.

PIROLI, E. L. **Sensoriamento remoto aplicado à atualização da cartografia e ao estudo dos recursos naturais na áreas de preservação permanente dos cursos d'água da bacia hidrográfica do alto rio Pardo, São Paulo, Brasil.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XIX, 2011, Maceió. Anais... porto Alegre: ABRH, 2011. P. 1 – 14.

PIROLI, E. L., PERUSI, M. C., ZANATA, J. M. **Mudanças no uso da terra e impactos sobre o solo da microbacia hidrográfica do córrego água da veada, Ourinhos SP.** In. Revista Geonorte, Edição especial, V.1, N.4, p. 855 – 865, 2012.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**, 2. Ed. – Maringá, 2009.

RODRIGUEZ, J. M. M. (Org.) **Geoecologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental.** 3. Ed. / José Mateo Rodriguez: et al. – Fortaleza: Edições UFC, 2010.

ROGERSON, P. A. **Métodos estatísticos para geografia: um guia para o estudante** / Peter A. Rogerson ; tradução técnica: Paulo Fernando Braga Carvalho, José Irineu Rangel Rigotti. – 3. Ed. – Porto Alegre : Bookman, 2012.

SANTOS, H. G. dos; CARVALHO JUNIOR, W. de; DART, R. de O.; AGLIO, M. L. D.; SOUSA, J. S. de; PARES, J. G.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. da S.; OLIVEIRA, A. P. de. **O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67 p. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000. (Embrapa Solos. Documentos, 130.)

TUCCI, C. E. M.; **Modelos Hidrológicos.** 2ª edição – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

<http://www.idrisi.com.br/lcm/main.htm>, acesso em 19 de março de 2014.

<http://www.clarklabs.org/products/land-change-modeler-overview.cfm>, acesso em 19 de março de 2014.