



Universidade de Brasília – UnB
Instituto de Geociências - IG

AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS AÇÕES ANTRÓPICAS NO
PROCESSO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E
ASSOREAMENTO NA BACIA DO LAGO PARANOÁ

PAULO HENRIQUE BRETANHA JUNKER MENEZES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nº 5

Orientador: Prof. Dr. Henrique Llacer Roig

Co-orientador: Prof. Dr. Marco Ianniruberto

Brasília – DF
2010



Universidade de Brasília – UnB
Instituto de Geociências - IG

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS AÇÕES ANTRÓPICAS NO
PROCESSO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E
ASSOREAMENTO NA BACIA DO LAGO PARANOÁ**

Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes

Dissertação de Mestrado apresentada junto ao curso de Pós-graduação em Geociências Aplicadas (Área de concentração Geoprocessamento e Análise Ambiental), do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília para obtenção do título de mestre em Geociências.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Llacer Roig

Co-orientador: Prof. Dr. Marco Ianniruberto

Brasília – DF
2010



Universidade de Brasília – UnB
Instituto de Geociências - IG

AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS AÇÕES ANTRÓPICAS NO PROCESSO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E ASSOREAMENTO NA BACIA DO LAGO PARANOÁ

PAULO HENRIQUE BRETANHA JUNKER MENEZES

Banca examinadora:

Prof. Dr. Henrique Llacer Roig (IG – UnB)

Prof. Dr. José Elói Guimarães Campos (IG – UnB)

Prof. Dr. Jean Michel Martinez (IRD)

Brasília – DF
2010

É melhor atirar-se à luta em busca de dias melhores, mesmo correndo o risco de perder tudo, do que permanecer estático, como os pobres de espírito, que não lutam, mas também não vencem, que não conhecem a dor da derrota, nem a glória de ressurgir dos escombros..."

Bob Marley

"É melhor tentar e falhar,
que preocupar-se e ver a vida passar;
é melhor tentar, ainda que em vão,
que sentar-se fazendo nada até o final.
Eu prefiro na chuva caminhar,
que em dias tristes em casa me esconder.
Prefiro ser feliz, embora louco,
que em conformidade viver ..."

Martin Luther King

*“aos meus pais, Ricardo e Mariana, a
minha irmã Mariane e a minha linda
sobrinha e afilhada Marina, amo vocês!”*

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por todas as oportunidades que Ele tem concedido a minha vida. A realização desse trabalho não poderia ter sido concluída sem a participação de inúmeras pessoas que direta ou indiretamente colaboraram para a conclusão do mesmo.

Agradeço aos meus mestres, amigos e orientadores **Prof. Dr. Henrique Llacer Roig e Marco Ianniruberto** pela grande amizade e confiança desenvolvida nesse período e por toda a orientação prestada. A conclusão de todas as etapas de campo e laboratório não poderiam ter sido tão bem sucedidas sem a tutela dos mesmos. A eles os meus sinceros agradecimentos. Agradeço também aos mestres, professores e grandes amigos **Paulo Roberto Meneses, e Tati de Almeida** pelos ensinamentos e oportunidades dentro do curso de especialização em geoprocessamento. Aos professores Luciano Soares da Cunha e Elton Luis Dantas.

A toda equipe do laboratório de Sensoriamento Remoto do Instituto de Geociências: **Serjão** (grande amigo), Vilson, Eduardo, Eluzai. A equipe da secretaria do IG. A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos concedida.

Aos meus amigos de pós-graduação pela convivência e aprendizado juntos nessa jornada, em especial: **Cesar Pavão (Jaaames), Tristan**, Patrícia, Joyce, Giana, Lara, Lenno, Cleber, Rogério, Aquiles, Marisa, Marina, Sandra, **Rodrigo (padre)** e Pedro Podesta. Aos amigos **Gervasio**, Adriana Panhol e Pedro Mandai, parceiros de especialização. Aos grandes amigos de longa data de Poços de Caldas, em especial, Wado, Santiago, Rafael Pavanelli, Eltinho, Cocão, Téó, Guga, Felipe (stress), Dé, Dieguinho, Zé Manoel, Tonhão, Maura, KK, Renato (Ryan). Dri, Lala, Gisele e Família. Amo vcs!

Agradeço também aos alunos de graduação que trabalharam como estagiários dentro dos projetos e que auxiliaram muito na conclusão de trabalhos de campo: Leozim, Davi, Renato, Maylson, Lilia, Vittor e Erikinha

Finalmente agradeço a Valéria, minha namorada, pelo incentivo e compreensão na fase final do trabalho, a minha família (“Menezes” e “Junkers”) pela compreensão nos momentos ausentes e pelo suporte, sempre trazendo segurança. Em especial a minha vó, Dona Loyde e meu tio Paulo R. Meneses, pelo suporte no primeiro ano em que me mudei para Brasília, aos meus pais Ricardo e

Mariana pela ajuda sem a qual nunca concretizaria os sonhos até então realizados em minha vida. A minha irmã Mariane, a minha sobrinha e afilhada Marina, pela alegria e carinho e a minha Tia Clara. Amo vcs!

Sumário

Capítulo 1 - Introdução.....	1
1.1 - Introdução.....	1
1.2 - Objetivo	3
1.3 – Caracterização da Área de Estudo	4
1.4 - Justificativa para seleção da Área:.....	7
1.5 - Localização da área de Estudo:	8
1.6 - Caracterização do Meio Físico	9
1.6.1 – Unidades Hidrográficas do Lago Paranoá.....	9
1.6.2 - Clima.....	11
1.6.3 - Geologia.....	12
1.6.4 - Solos.....	13
1.6.5 - Geomorfologia	15
1.6.6 - Vegetação.....	17
1.7 - Estrutura da Dissertação	18
Capítulo 2 - Uso e Ocupação do solo	20
2.1 - Introdução.....	20
2.2 - Etapas e Métodos.....	23
2.3 - Resultados e Discussões	28
Capítulo 3 – Escoamento Superficial	44
3.1 Introdução	44
3.2 Revisão Teórica	45
3.2.1 Método do Curva Número (CN)	47
3.2.1.1 - Modelo Matemático	48
3.2.2 Classificação Hidrológica dos Solos	50
3.2.3 Complexo Hidrológico Solo Cobertura da Terra	53
3.3 Etapas e Métodos	55

3.3.1 Readaptação dos mapas de uso e ocupação	58
3.3.2 Construção do Mapa de Solos Hidrológicos	60
3.3.3 – Complexo Hidrológico Solo – Cobertura da Terra.	60
3.3.4 – Dados de precipitação	61
3.3.5 – Cálculo do Escoamento Superficial	62
3.3.5.1 - CN médio ponderado	62
3.3.5.2 Escoamento Superficial Ponderado (<i>ArcCN Runoff</i>).	62
3.3.6 – Análise da Variação Temporal do Escoamento Superficial.....	64
3.4 – Resultados.....	64
3.4.1 - Mapas de Uso e Ocupação.....	65
3.4.2 – Mapa de solos Hidrológicos.....	68
3.4.3 – Escoamento Superficial.....	69
3.4.3.1 - Curva Número Ponderada.	69
3.4.3.2 Escoamento Superficial (<i>ArcCN Runoff</i>).....	72
3.4.3.3 – Escoamento Superficial Ponderado (ESp).....	77
3.4.3.4 – Variação da Porcentagem de Escoamento Superficial	78
Capítulo 4 – Assoreamento	87
4.1 Introdução	87
4.2 Revisão Teórica	89
4.2.1 Ortoretificação de Fotos Aéreas.....	90
4.3 Etapas e Métodos	91
4.4 Resultados.....	92
4.5 Conclusão.....	97
Capítulo 5 – Considerações Finais	99
Capítulo 6 Referências Bibliográficas.....	103
Anexos.....	112

Índice de Figuras

Figura 1: Cachoeira do rio Paranoá em 1957, antes da construção da barragem do Lago Paranoá. Fonte: Fontenelle, M.M. Acervo: Arquivo Público NOVACAP.....	5
Figura 2: Imagem de satélite com as principais zonas de proteção integral da Bacia do Lago Paranoá.....	6
Figura 3: Principais cidades e divisão administrativa na bacia do Lago.....	7
Figura 4: Localização da Bacia do Lago Paranoá	9
Figura 5: Unidades Hidrográficas da Bacia do Paranoá.....	10
Figura 6: Mapa Geológico da Bacia do Lago Paranoá.....	13
Figura 7: Mapa de Solos da Bacia (fonte Embrapa, 2004 modifica por Gonçalves, 2007)	15
Figura 8: Mapa Geomorfológico da Bacia do Lago Paranoá. Fonte: CODEPLAN, 1984.....	17
Figura 9: Imagem do pequeno Atlas do Brasil de 1922 contendo o “Quadrilátero Cruls”. (Fonte, Especial veja, Brasília 50 anos. Veja 2138 – ano 42 novembro de 2009.)	20
Figura 10: Localização dos limites das áreas indicadas pela Missão Cruls e pelo Relatório Belcher, inclusive dos sítios recomendados, e da área atual do Distrito. Fonte: Fortes <i>et al.</i> 2007	21
Figura 11: Fluxograma das etapas de trabalho da análise de uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá.....	25
Figura 12: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Lago Paranoá no ano de 1954	29
Figura 13: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Lago Paranoá no ano de 1964	30
Figura 14: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Lago Paranoá no ano de 1973	31
Figura 15: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Lago Paranoá no ano de 1984	32
Figura 16: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Lago Paranoá no ano de 1994	33
Figura 17: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Lago Paranoá no ano de 1998	34
Figura 18: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Lago Paranoá no ano de 2009	35
Figura 19: Análise temporal da variação em porcentagem de área das classes de uso e ocupação do solo na Bacia do Lago Paranoá – DF.	36
Figura 20: Fotos históricas da área em construção do Plano Piloto. Fonte:(http://www.portalbrasil.net/brasil_cidades_brasilia.htm	37

Figura 21: Análise global da evolução de uso e ocupação da bacia do Lago Paranoá...	39
Figura 22: Variação da taxa de urbanização nas unidades hidrográficas da bacia do Lago Paranoá.	40
Figura 23: Análise temporal da variação em porcentagem de área das classes de uso e ocupação do solo para a unidade hidrográfica do Riacho Fundo – DF.....	41
Figura 24: Gráfico para obtenção do volume de escoamento superficial em função da precipitação e do CN de escoamento superficial ($I_a = 0,2S$ e Condição II de umidade antecedente). Fonte: Sartori, 2004.....	50
Figura 25: Fluxograma das etapas de trabalho da análise variação de escoamento superficial na bacia do Lago Paranoá.....	57
Figura 26: Área urbana 1 - < 40% de área impermeável. (Imagem extraída do Google Earth e georreferenciada para SICAD). Região do Plano Piloto, mostrando a Universidade de Brasília.....	58
Figura 27: Área Urbana 2 - 40 a 70% de área impermeável. (Imagem extraída do Google Earth e georreferenciada para SICAD). Região do lago Norte.....	59
Figura 28: Área urbana 3 - > 70% de área impermeável. (Imagem extraída do Google Earth e georreferenciada para SICAD) Guará.....	59
Figura 29: Imagem Landsat 1 sensor MSS ano de 1973.....	60
Figura 30: Equação e r^2 da regressão linear com o uso da ferramenta ArcCN-Runoff na estimativa de infiltração.....	61
Figura 31: O valor determinado para simular a variação do escoamento superficial foi de 50 milímetros de chuva.....	61
Figura 32: Fluxograma da seqüência de trabalho da ferramenta ArcCN runoff para cálculo de escoamento superficial.	63
Figura 33: Mapas de Uso e Ocupação do Solo reclassificados para análise de Escoamento Superficial	66
Figura 34: evolução das classes de impermeabilização de áreas urbanas para unidade hidrográfica do Riacho Fundo	67
Figura 35: escoamento superficial em áreas impermeáveis na unidade hidrográfica do Lago Paranoá.	68
Figura 36: Mapas de Grupos Hidrológicos de Solos da Bacia do Lago Paranoá.....	69
Figura 37: Análise temporal da variação dos valores de CN ponderado (CNp) nas unidades hidrográficas da Bacia do Lago Paranoá.....	71
Figura 38: Mapas da Porcentagem de Precipitação Excedente para evento simulado de uma precipitação de 50 mm.....	73
Figura 39: concentração das classes de precipitação excedente da Bacia do Lago Paranoá nas datas analisadas.	74
Figura 40: Evolução temporal das classes de precipitação excedente da Bacia do Lago Paranoá ao longo da série histórica.	74

Figura 41: concentração das classes de precipitação excedente da Unidade Hidrográfica do Riacho Fundo nas datas analisadas.....	75
Figura 42: Evolução temporal das classes de precipitação excedente da Unidade Hidrográfica do Riacho Fundo ao longo da série histórica.	76
Figura 43: Escoamento superficial em áreas com solo exposto.....	76
Figura 44: Análise temporal da variação dos valores de Escoamento Superficial ponderado (ESp) nas unidades hidrográficas da Bacia do Lago Paranoá.	77
Figura 45: Mudança percentual na geração de escoamento superficial ao longo da série histórica.....	80
Figura 46: Evolução da porcentagem de área das taxas de dES da Bacia do Lago Paranoá para os pares de datas analisados.....	81
Figura 47: Evolução da porcentagem de área das taxas de dES da Bacia do Lago Paraná para as datas extremas da análise.	83
Figura 48: Evolução da porcentagem de área das taxas de dES Unidade Hidrográfica do Riacho Fundo para os pares de datas analisados.	84
Figura 49: Evolução da porcentagem de área das taxas de dES Unidade Hidrográfica do Riacho Fundo para os pares de datas extremas da análise.	86
Figura 50: Fotos do trabalho de levantamento batimétrico de 2009.	89
Figura 51: fluxograma de trabalho para análise da variação do limite da borda do Lago nas regiões de deságüe do riacho Fundo e do Ribeirão Bananal.....	91
Figura 52: área levantada com ecobatímetro multifeixe Reason Seabat 8101 em 2009.	93
Figura 53: Mapas da variação da borda limite do espelho d'água do Lago Paranoá no Braço do Riacho Fundo entre 1966 e 2009.	94
Figura 54: Mapas da variação da borda limite do espelho d'água do Lago Paranoá no Braço do Ribeirão Bananal entre 1966 e 2009.....	95
Figura 55: Gráfico da Evolução da perda de Área nas regiões do Riacho Fundo e do Ribeirão do Bananal entre 1966 e 2009.	96

Índice de Tabelas

Tabela 1: Área em quilometro quadrado (km ²) das classes de uso e ocupação do solo ao longo da série histórica para a bacia do Lago Paranoá - DF	36
Tabela 2: Área em porcentagem (%) das classes de uso e ocupação do solo ao longo da série histórica para a bacia do Lago Paranoá - DF	36
Tabela 3: Quantificação da taxa de urbanização das unidades hidrográficas que constituem a bacia do Lago Paranoá, para os anos analisados.....	40
Tabela 4: Área em quilometro quadrado (km ²) das classes de uso e ocupação do solo ao longo da série histórica para a unidade hidrográfica do Riacho Fundo - DF	41
Tabela 5: Área em porcentagem das classes de uso e ocupação do solo ao longo da série histórica para a unidade hidrográfica do Riacho Fundo - DF.....	41
Tabela 6: Condição antecedente de umidade do solo.....	50
Tabela 7: Classificação hidrológica dos solos estabelecida pelo SCS	51
Tabela 8: Grupamento de solos segundo suas qualidades, características e resistência à erosão.....	52
Tabela 9: Classificação Hidrológica dos solos para as condições brasileiras	53
Tabela 10: Valores dos parâmetros CN para bacias rurais proposto por Setzer & Porto (1979)	54
Tabela 11: Valores dos parâmetros CN para bacias hidrográficas urbanas	55
Tabela 12: resolução espacial das imagens utilizadas para construção dos mapas de uso e ocupação.	58
Tabela 13: Enquadramento das classes de solo do Distrito Federal nos grupos hidrológicos.	60
Tabela 14: Complexo Hidrológico Solo – Cobertura da Terra adaptado para a Bacia do Lago Paranoá	60
Tabela 15: Valores de CN ponderado para Unidade Hidrográfica do Riacho Fundo no ano de 2009.....	62
Tabela 16: Evolução das classes de nível de impermeabilização do solo na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá.....	65
Tabela 17: Valores de CN ponderado (CNp) das unidades hidrográficas ao longo da série histórica.....	69
Tabela 18: Valores das perdas iniciais (Ia) calculada pelo CNp para as Unidade Hidrográficas que constituem a Bacia do Lago Paranoá.....	70
Tabela 19: Valores do escoamento superficial calculado pelo CNp para as Unidade Hidrográficas que constituem a Bacia do Lago Paranoá.....	70
Tabela 20: quantificação da área das classes de Porcentagem de Precipitação excedente na Bacia do Lago Paranoá	74
Tabela 21: quantificação da área das classes de Porcentagem de Precipitação excedente na Unidade Hidrográfica do Riacho Fundo	75

Tabela 22: Valores de Escoamento superficial ponderado (ESp)	77
Tabela 23: Porcentagem de área das classes de dES da bacia do Lago Paranoá para os pares de datas analisados	81
Tabela 24: Porcentagem de área das classes de dES da Bacia do Lago Paranoá para as datas extremas da análise.....	83
Tabela 25: Porcentagem de área das classes de dES da unidade hidrográfica do Riacho Fundo para os pares de datas analisados.....	84
Tabela 26: Porcentagem de área das classes de dES da unidade hidrográfica do Riacho Fundo para as datas extremas da análise.....	85
Tabela 27: Valores da área do Lago nas regiões dos Braços do Riacho Fundo e do Ribeirão do Bananal entre 1966 e 2009	96
Tabela 28: valores da espessura assoreada nos braços do Lago Paranoá.....	97

Resumo

Mudanças nos padrões de uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica podem acarretar uma série de consequências no ciclo hidrológico da bacia. Dentro do ciclo hidrológico, uma das fases que é mais afetada por essas alterações é o escoamento superficial.

O aumento do escoamento superficial, por sua vez, implica em uma maior ocorrência de processos erosivos, transporte de sedimentos, nutrientes e poluentes para os córregos, rios e reservatórios. Como consequência desses fenômenos pode ocorrer assoreamento dos reservatórios.

Dentro deste cenário, a bacia do Lago Paranoá se apresenta como um campo particularmente interessante devido ao seu posicionamento geográfico e urbanístico, o que traz uma fragilidade, no que se relaciona com a qualidade e quantidade de água, devido à intensa ocupação das margens e das suas bacias de contribuição.

O objetivo geral desse trabalho é avaliar a influência da ação antrópica nos processos de escoamento superficial e assoreamento na bacia hidrográfica do Lago Paranoá, e identificar as possíveis regiões de maior contribuição para a sedimentação do lago.

Para tanto, foi realizada uma análise multitemporal do uso e ocupação urbana entre os anos de 1954 e 2009, por meio de mapas gerados com imagens de satélite e fotos aéreas. Também foi avaliado a evolução do escoamento superficial para um evento de precipitação simulado (50 mm) por meio do método do curva número. Por fim foi calculada a variação da área do espelho d'água do lago Paranoá utilizando fotos aéreas ortorretificadas e imagens de satélite de alta resolução espacial, também ortorretificada.

Todos os resultados apontam para a unidade hidrográfica do Riacho Fundo como a região da bacia que se encontra em estado de alerta em relação a densidade de urbanização e extensa área com altos valores de escoamento superficial. Como consequência, a avaliação do assoreamento constatou que na região do Lago Paranoá abastecida por essa unidade hidrográfica ocorreu a maior perda de área do Lago.

Palavras Chave: Precipitação, Processos Erosivos, Escoamento Superficial,
Assoreamento

Abstract

Changes in patterns of land use occupation in a watershed can cause a series of consequences on the hydrological cycle of the watershed. Within the hydrological cycle, one of the phases that is most affected by these changes is the runoff.

The runoff increasing, in turn, implies a higher occurrence of erosion, sediment transport, nutrients and pollutants into streams, rivers and reservoirs. As a result of these phenomena, silting of reservoirs may occur. Under this scenario, the *Lago Paranoá* watershed presents itself as a field that is particularly interesting because of its geographical position and urbanization, which brings weakness, in terms of quality and quantity of water, due to the intense occupation of the margins and their watershed contribution.

The main purpose of this study is to evaluate the influence of anthropic action in the processes of runoff and sedimentation in the watershed of *Lago Paranoá*, and also identify possible areas of greater contribution to the sedimentation of the lake.

For this reason, we held a multi-temporal analysis of urban land use and occupation, between 1954 and 2009, using maps generated by satellite images and aerial photos. It was also analyzed the evolution of the runoff to a simulated rainfall event (50 mm), through the curve number method. Finally, the variation in the area of water surface of Paranoá Lake was calculated using orthorectified aerial photos and satellite images of high spatial resolution, also orthorectified.

All results point to the hydrographic unit of the *Riacho Fundo* as the watershed that is on threat concerning the urban density and extensive population area, with high values of runoff. As a result, the silting evaluation revealed that sedimentation in the *Paranoá Lake*, supplied by this hydrographic unit, increased the loss of the Lake area.

Keywords: precipitation, erosion, runoff, silting

1.1 - Introdução

O crescimento populacional no Brasil nas últimas décadas, aliado ao crescente processo de desenvolvimento urbano e industrial tem exercido impactos sobre os recursos naturais, principalmente, sobre a água e o solo, acentuando processos erosivos, assoreamento e poluição de mananciais e reservatórios, afetando, dessa maneira, a qualidade e a quantidade da água destinada a populações (Roig, 2005; Echeverria, 2007).

Além disso, o crescimento populacional conduz ao aumento da demanda por água, o que ocasiona, em várias regiões do Brasil, problemas de escassez desse recurso, tendo como resultado uma acelerada degradação ambiental.

Hoje, a preservação dos recursos hídricos é um tema central no Brasil e no mundo. Estudos indicam que a crescente demanda por água para múltiplos usos poderá deixar de ser atendida em consequência da diminuição e contaminação das fontes. A necessidade de garantir primariamente o abastecimento para o consumo humano, a irrigação e a produção de energia hidrelétrica implica na preservação e armazenamento adequado deste recurso (Heller & Pádua, 2006)

Mudanças nos padrões de uso e ocupação em uma bacia hidrográfica, como por exemplo a retirada de cobertura vegetal e o crescimento urbano, podem acarretar uma série de consequências no ciclo hidrológico da bacia (Tucci, 2007; Heller & Pádua, 2006; Setti *et al.*, 2001).

Dentro do ciclo hidrológico, uma das fases que é mais afetada por essas alterações é o escoamento superficial. A cobertura vegetal ajuda a proteger o solo facilitando a infiltração de água. Sem essa proteção o solo fica mais suscetível à compactação e ao selamento superficial, diminuindo a taxa de infiltração e, consequentemente, aumentando o escoamento superficial.

O aumento do escoamento superficial, por sua vez, implica em uma maior ocorrência de processos erosivos, transporte de sedimentos, nutrientes e poluentes para os córregos, rios e reservatórios (Maeda, 2008). Como consequência desses fenômenos podem ocorrer enchentes e/ou assoreamento dos reservatórios (Bicalho, 2006; Araújo *et al.*, 2003; Andrade *et al.*, 2001 e Carvalho, 2000).

Dependendo das circunstâncias, as atividades antrópicas podem aumentar a taxa de erosão em até cem (100) vezes em relação às condições geológicas naturais (Carvalho 2008; Carvalho *et al.*, 2000; Julien, 1998; Shen & Julien, 1993). Os processos erosivos, além dos prejuízos causados pela perda do solo, aumentam o volume de sedimentos transportados para os rios e reservatórios, afetando a qualidade das águas e a possibilidade de uso para consumo humano (Campagnoli, 2002; Ridente *et al.* 1998; Wilson Jr., 1998).

De uma forma geral, os reservatórios são formados por meio de barramentos implantados nos cursos d'água. Suas características físicas, em especial a capacidade de armazenamento, dependem, sobretudo, das características topográficas do vale no qual está inserido. A variação na capacidade de armazenagem de um reservatório é frequentemente observada como consequência da redução do volume disponível para acumulação de água (Carvalho, 2008; Carvalho *et al.*, 2000).

A redução do volume disponível se dá, especialmente, pelo assoreamento do reservatório. O processo de sedimentação, continuamente, reduz a capacidade de armazenamento do reservatório, podendo, em certos casos, inviabilizá-lo para muitas de suas finalidades (Julien, 1998; Shen & Julien, 1993).

Neste cenário, o caso do Lago Paranoá se apresenta como um campo particularmente interessante e emblemático, devido ao seu posicionamento geográfico e urbanístico, ou seja, sua simbiose com a cidade de Brasília torna-o um marco paisagístico, de lazer e agora também de abastecimento público (CAESB, 2003).

Por outro lado, o seu posicionamento geográfico traz uma fragilidade no que tange a qualidade e quantidade de água devido à intensa ocupação das margens e das suas bacias de contribuição. Estudos recentes (UNESCO, 2002; Felizola *et al.*, 2001; UNESCO, 2000) determinaram que, entre 1954 e 1999, aproximadamente 41% da cobertura vegetal da sua bacia de contribuição do lago desapareceu.

ASSEL & CLDF (1999) constataram que a conservação dos mananciais hídricos das bacias do Lago Paranoá está comprometida pelo mau uso do solo. Isso é decorrência da ocupação do solo por meio do surgimento de assentamentos, de loteamentos e de condomínios que chegam a ocupar, muitas vezes, até áreas de conservação e áreas rurais resultado de nenhum planejamento prévio.

Assim, o lago está submetido a uma elevada e constante pressão antrópica, não somente pelas inúmeras atividades concentradas ao longo das suas margens, mas, também, pela degradação das bacias hidrográficas dos tributários.

Visando analisar os impactos sobre o lago Paranoá, vários estudos já foram realizados com o objetivo de avaliar a qualidade da água das bacias que o aportam (Echeverria, 2007; Giustina, 2006; Moreira, 2003), bem como a taxa de perda da cobertura vegetal (UNESCO, 2002; Felizola *et al.*, 2001), porém poucos ou nenhum trabalho foi desenvolvido visando analisar o impacto das mudanças de uso e ocupação do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimentos no lago Paranoá.

Com base no exposto, conclui-se que os setores responsáveis pelo gerenciamento de recursos hídricos e os órgãos gestores/fiscalizadores da ocupação antrópica no Distrito Federal, carecem de acesso a uma gama maior de informações, bem como dispor de ferramentas e tecnologias que possibilitem o monitoramento da dinâmica da ocupação das terras e sua relação com a geração, transporte e deposição de sedimentos nos cursos d'água e reservatórios, sendo relevante o desenvolvimento de estudos nesse segmento.

Esta pesquisa está calcada no estudo integrado dos processos que controlam algumas das várias etapas desse processo da dinâmica erosiva, do transporte e da acumulação de sedimentos que atingem o reservatório. Podendo assim, otimizar os trabalhos e recursos para a manutenção da qualidade ambiental desse corpo hídrico.

1.2 - Objetivo

O objetivo geral desse trabalho é avaliar a influência da ação antrópica nos processos de escoamento superficial e assoreamento na bacia hidrográfica do Lago Paranoá, e identificar as possíveis regiões de maior contribuição para a produção de sedimentos desse corpo hídrico.

Para atingir o objetivo proposto, foi necessário analisar as seguintes etapas que influenciam no processo da sedimentação. São elas:

- ✓ Análise da evolução do uso e ocupação do solo (Capítulo II);
- ✓ Estudo da variação do escoamento superficial (Capítulo III);
- ✓ Mapeamento da evolução da área assoreada na região do lago onde deságuam as unidades hidrográficas mais afetadas pelos processos de urbanização do lago Paranoá (Capítulo IV);

1.3 – Caracterização da Área de Estudo

A área de interesse é a Bacia de contribuição direta para o Lago Paranoá. Para efeito de delimitação, considera-se a bacia de contribuição como a área delimitada pela linha de cumeada da Estrada Parque Contorno (EPCT, DF-001), o divisor de águas da bacia, e a barragem do Lago. Cabe ressaltar que a Bacia Hidrográfica do rio Paranoá avança a jusante da barragem do Paranoá, cerca de 10 quilômetros após a barragem, até o encontro com o Rio São Bartolomeu (Ferrante *et al.*, 2001).

Como o objetivo dessa pesquisa é saber a contribuição das áreas de drenagem para o aporte de sedimentos/ assoreamento no Lago Paranoá, considera-se como área da bacia a região a qual drena para o Lago.

A possibilidade da construção de um lago artificial em Brasília começou com estudos realizados em 1955. O sítio escolhido para alocação da cidade possuía as condições naturais necessárias para a formação de um lago artificial. Localizava-se próximo à confluência dos rios Torto e Gama que formavam o Rio Paranoá. O aproveitamento desses cursos d'água e seus principais contribuintes, os quais, pela declividade natural do sítio, correm para leste, em direção às águas do Rio São Bartolomeu, foram os responsáveis pela formação do lago (CAESB, 2003).

A formação do lago Paranoá foi então iniciada com o fechamento da barragem em 12 de setembro de 1959, com o barramento, na cota 1000, do rio Paranoá. Foram necessárias duas temporadas de chuvas para que as águas do lago atingissem a cota prevista, chegando à extensão de aproximadamente 38 km². Com isso, as águas oriundas das nascentes, que se situavam a montante do local definido para construção do plano piloto passaram a encontrar no meio do caminho um lago artificial, onde antes existiam as corredeiras do rio Paranoá, a jusante, figura 1 (Ferrante *et al.*, 2001).



Figura 1: Cachoeira do rio Paranoá em 1957, antes da construção da barragem do Lago Paranoá. Fonte: Fontenelle, M.M. Acervo: Arquivo Público NOVACAP

A decisão de se criar um lago artificial no local definido, implicou a cidade o compromisso de manter um determinado padrão de sustentabilidade e compromisso com o corpo hídrico, que se localiza a jusante de toda a mancha urbana do Plano Piloto. O lago, além de atuar com a função de diluidor de efluentes, abriu a possibilidades para o lazer, a geração de energia e composição paisagística de Brasília (Fonseca, 2001).

No final da década de 70, o lago Paranoá foi alvo de intenso processo de eutrofização, chegando a limitar os diversos usos para o qual foi criado. Atualmente, apesar da boa melhoria da qualidade de água, ainda existe uma forte pressão exercida por loteamentos urbanos irregulares, que emitem diversos resíduos, principalmente nos tributários do lago. O equilíbrio ambiental do lago é extremamente frágil, sendo essa constante pressão populacional na bacia, e no seu entorno, o principal fator de ameaça à sua qualidade ambiental (Pereira, 2006).

A Bacia do Paranoá tem algumas características peculiares. Nela encontram-se áreas de preservação ambiental e cultural de grande importância para o Distrito Federal e para o país, tais como, o Parque Nacional de Brasília e a APA dos Ribeirões do Gama e Cabeça do Veado e zonas núcleo da Reserva da Biosfera de Cerrado (CAESB, 2003), figura 2.

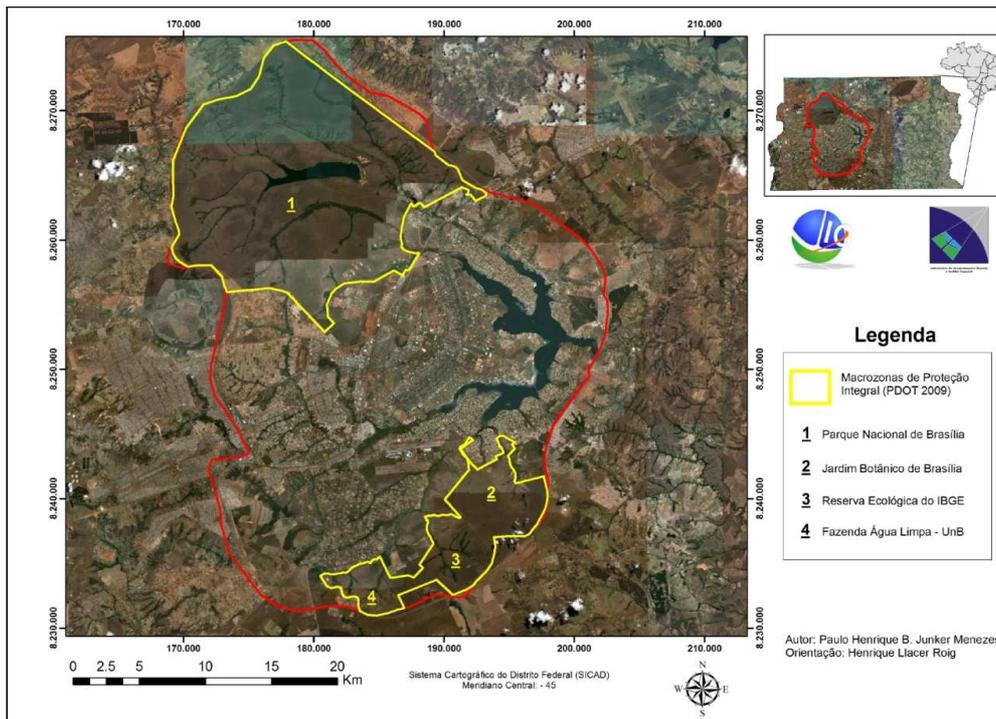


Figura 2: Imagem de satélite com as principais zonas de proteção integral da Bacia do Lago Paranoá

Estão também sediadas as instâncias mais elevadas dos três poderes da República, as embaixadas, e sua população têm o maior Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do país. Aliado a esse fato, a bacia apresenta um contingente populacional expressivo, visto que nela encontram-se situadas quase que, no seu total, as nove regiões administrativas de Brasília e, em sua íntegra, a parte planejada da capital do país, figura 3 (Fonseca, 2001).

Trata-se de uma bacia localizada integralmente no território do DF, ou seja, todas as suas nascentes encontram-se dentro desse perímetro. Isso deveria possibilitar um controle mais efetivo da administração distrital, sobre uso da água, do solo e controle dos mananciais, sob uma perspectiva de gestão ambiental e gerenciamento de recursos hídricos, uma vez que não está diretamente sujeita a conflitos e legislações de outras unidades da Federação (Echeverria, 2007; CAESB, 2003).

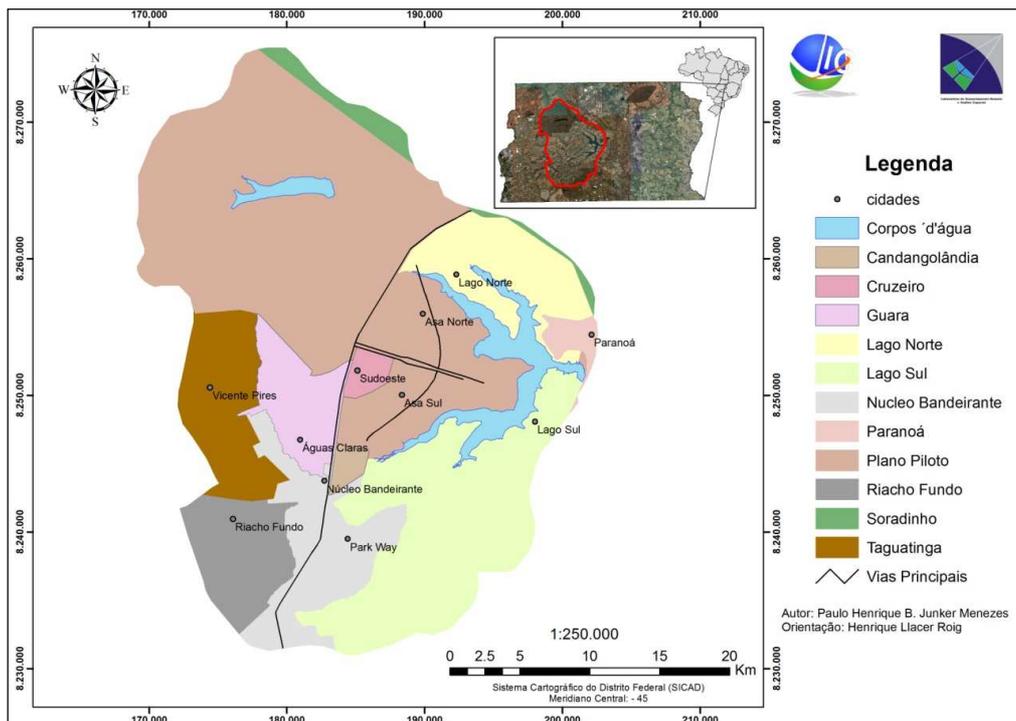


Figura 3: Principais cidades e divisão administrativa na bacia do Lago.

1.4 - Justificativa para seleção da Área:

A escolha da área foi feita com base em características físicas da região e na viabilidade técnico - científica para execução do presente trabalho de pesquisa.

Entre os fatores ambientais, pode ser destacada a posição geográfica do reservatório a jusante da mancha urbana de Brasília. Para a sua recarga contribuem as águas de seus tributários, as águas lançadas pelas estações de tratamento de esgotos, a precipitação direta sobre sua superfície e o escoamento superficial sobre áreas não monitoradas, particularmente, os efluentes de uso urbano.

Portanto, a localização do lago determina que tudo que ocorre na bacia de drenagem tende a precipitar-se para ele, ou seja, o Lago Paranoá pode ser considerado como indicador ou “termômetro ambiental” da bacia.

Pode se destacar, também, o fato da bacia ser a área mais densamente ocupada dentro do DF e por possuir um padrão diversificado de urbanização, onde é possível se identificar cenários bem distintos no que tange a fontes de processos erosivos e padrões de escoamento superficial bem variado, elementos foco do objetivo desse trabalho.

Em termos de viabilidade técnico-científica, para se atingir o objetivo são necessários trabalhos de campo com levantamentos geofísicos na superfície do lago e

na área assoreada, amostragem dos perfis de sedimento, instalação de estações de monitoramento hidrossedimentológico, entre outros.

Cabe ressaltar, também, a disponibilidade de base de dados para estudo da dinâmica de uso e ocupação na bacia. Esses trabalhos complementam estudos sobre qualidade da água no lago, anteriormente citados.

Outro fator determinante na escolha da área de trabalho foi a viabilidade financeira de execução da pesquisa, visto que, projetos de fomento a pesquisa aprovados dentro do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, contemplavam, no seu orçamento, atividades de campo necessárias e integradas nesse trabalho. São estes os projetos e seus respectivos coordenadores:

- Avaliação do efeito de ações antrópicas na dinâmica hidrossedimentológica e no suprimento de água do DF visando o desenvolvimento sustentável, coordenado pelos Professores Drs. Paulo Roberto Meneses e Henrique Llacer Roig.
- Caracterização morfológica e estratigráfica do Lago Paranoá, coordenado pelos Professores Drs. Augusto Cesar Bittencourt Pires e Marco Ianniruberto.

1.5 - Localização da área de Estudo:

A área do estudo está localizada na região central do Distrito Federal. Abrange uma região de 1.034,07 km², o que corresponde a aproximadamente 18% do território do DF. A área da bacia envolve as regiões administrativas de Brasília – RA I, Lago Sul – RA XVI, Lago Norte – RA XVIII, Cruzeiro – RA XI, Núcleo Bandeirante – RA VIII, Candangolândia – RA XIX, Riacho Fundo – RA XVII, Guará – RA X, parte da Região Administrativa de Taguatinga – RA III e a área urbana da Região Administrativa do Paranoá – RA VII (sendo que a grande maioria da população desta última fica dentro da bacia, figura 4 (Ferrante *et al.*, 2001).

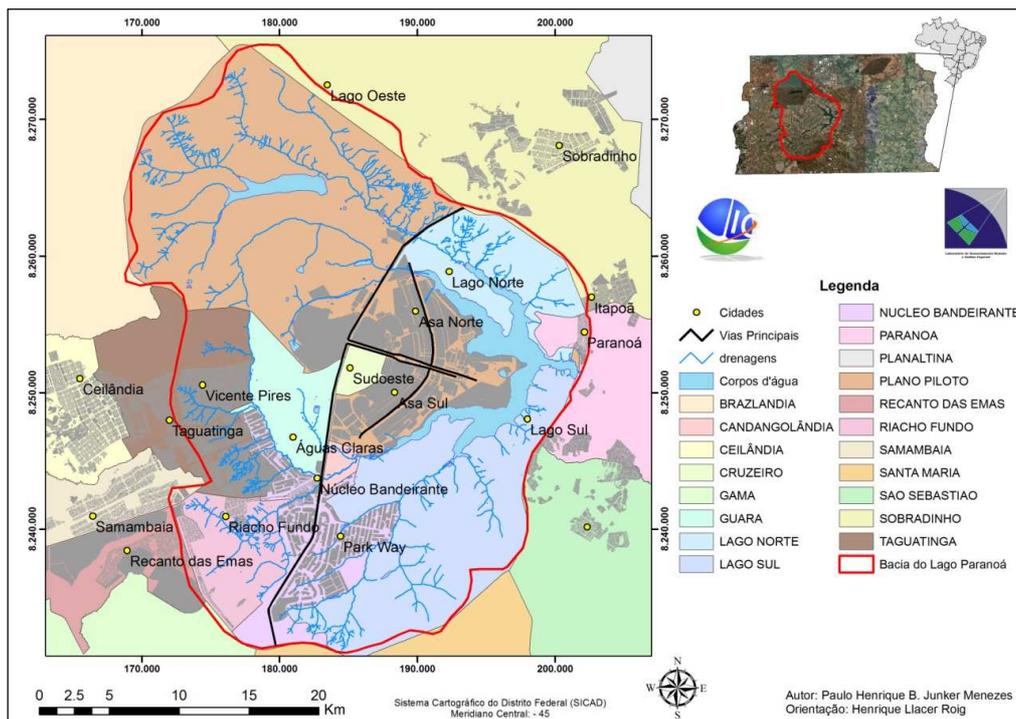


Figura 4: Localização da Bacia do Lago Paranoá

A bacia limita-se ao norte com as regiões administrativas de Brazlândia e Sobradinho; ao Leste, com parte de Sobradinho e com a RA do Paranoá; ao Sul, com a RA do Gama; e, a Oeste, com a RA de Taguatinga e parte da RA Brazlândia (CAESB, 2003).

1.6 - Caracterização do Meio Físico

A Bacia do Paranoá tem algumas características que a fazem única. Como será visto em detalhe, mais adiante, ela apresenta uma conformação geológica denominada de domo estrutural de Brasília, que faz com que a sua rede de drenagem tenha uma conformação circular e concêntrica, o que garante uma proteção natural dos seus ecossistemas, quase como um nicho. As nascentes dos córregos Bananal e Vicente Pires quase se tocam, devido a esta configuração.

1.6.1 – Unidades Hidrográficas do Lago Paranoá

A bacia hidrográfica do lago Paranoá esta entre as bacias que fazem parte da região hidrográfica do Paraná, região responsável pela maior área drenada do DF. Além da bacia do Paranoá, constituem essa região hidrográfica as bacias do Rio Descoberto, do rio Corumbá, e do rio São Marcos (Ferrante *et al.*, 2001).

O padrão de drenagem típica da bacia do Paranoá ora é apresentado como semi-anelar, ora com forma retangular, ambas controladas por dobras e fraturas e com uma característica interessante, que é o sentido de escoamento de Oeste para Leste.

As unidades hidrográficas que fazem parte da bacia do Paranoá são: Santa Maria/Torto, Bananal, Riacho Fundo, Ribeirão do Gama e Lago Paranoá, figura 5 . No Distrito Federal, as unidades hidrográficas são consideradas como as menores unidades de planejamento em termos de recursos hídricos (CAESB, 2003).

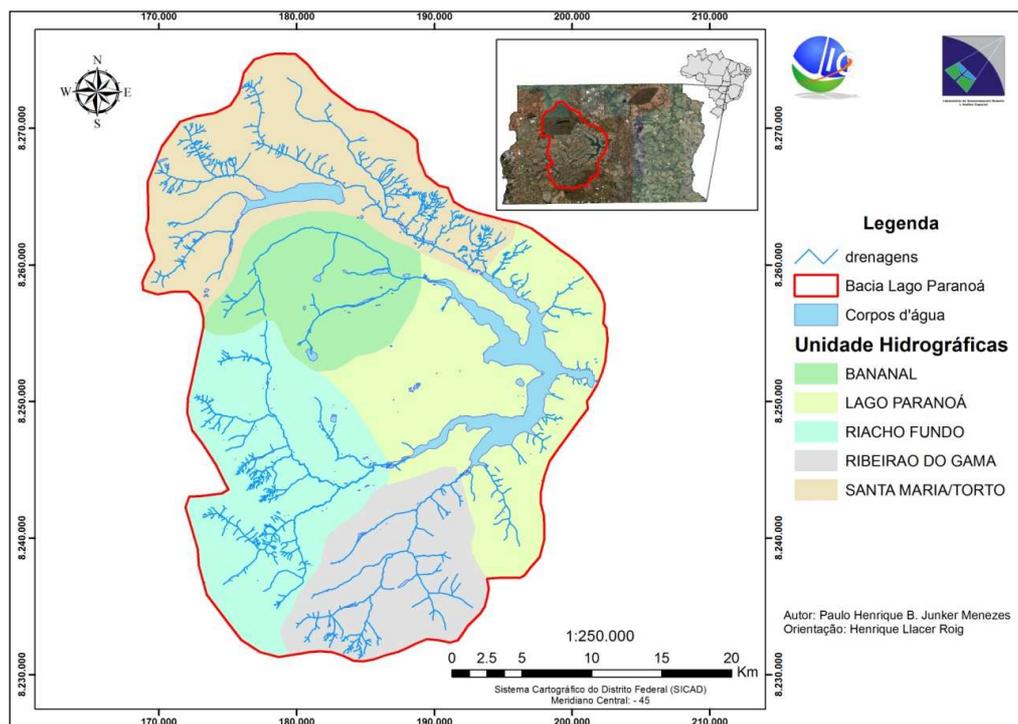


Figura 5: Unidades Hidrográficas da Bacia do Paranoá

A caracterização dos principais cursos d'água que contribuem para o lago Paranoá é fundamental para se obter uma visão geral dos principais fluxos de entrada de sedimentos no lago. A descarga líquida e sólida desses cursos d'água descrevem de maneira indireta o comportamento das unidades hidrográficas que compõem a bacia do Lago. São eles:

- **Ribeirão do Torto:** seu curso principal mede cerca de 20 km. Seu regime hídrico não se considera mais natural, pois foi alterado, em função da construção das barragens de Santa Maria e do Torto. O ribeirão do torto deságua diretamente no lago com uma vazão média de $2,89\text{m}^3/\text{s}$.
- **Ribeirão do Gama:** seu curso principal mede 14 km e deságua diretamente no lago com uma vazão de $1,83\text{m}^3/\text{s}$.

- **Ribeirão Riacho Fundo:** a extensão do seu curso principal é de 13 km. Sua vazão média de deságüe no lago é de 4,5 m³/s.
- **Ribeirão Bananal:** seu curso principal com um comprimento de 19,1km deságua diretamente no lago Paranoá com uma vazão de 2,51 m³/s.

Além de contar com a contribuição dos afluentes principais, o lago Paranoá recebe águas de córregos menores, de drenagens pluviais urbanas e dos efluentes de duas estações de tratamento de esgoto da CAESB, ETE sul e ETE norte.

1.6.2 - Clima

O clima predominante da região segundo a classificação de Koppen é tropical de savana, com a concentração da precipitação pluviométrica no verão.

A estação chuvosa começa em outubro e termina em abril, representando 84% do total anual. Sendo o período de maior concentração de chuvas o trimestre de novembro, dezembro e janeiro, com as a maior precipitação registrada no mês de dezembro. A estação seca vai de maio a setembro sendo o trimestre de junho, julho e agosto o período mais seco. A precipitação desse período representa apenas 2% do total anual (Moreira, 2003).

A temperatura média anual varia entre 18° e 22° C, sendo os meses de setembro e outubro os mais quentes, com média superior acima de 22° C. O mês de julho é considerado o mais frio com temperaturas médias variam entre 16° e 18° C (Echeverria, 2007).

A umidade relativa do ar cai de valores de 70% no início da seca, para menos de 20% no final desse período. Coincidindo como período mais quente, nos meses de agosto e setembro, a umidade pode chegar a 12% (CODEPLAN, 1984).

A principal característica do clima do DF relevante para o presente estudo é a sazonalidade de seu regime pluvial e a sua distribuição espacial. Os índices pluviométricos apresentam uma relação direta com a variação de altitude dos seus quadrantes. As regiões com maiores ocorrências de chuvas são Sudoeste e Noroeste do DF, com 1.000mm a 1.700mm por ano. Sobre o Lago Paranoá encontra a região com os mais baixos índices pluviométricos (Ferrante *et al.*, 2001).

O regime pluviométrico na bacia do Lago Paranoá é sazonal, caracterizado pela concentração das chuvas entre os meses de outubro a abril. Neste período, a média de todos os postos pluviométricos é de aproximadamente 92% do valor anual. Entre

novembro e janeiro esta ocorrência se situa por volta dos 49% da média anual. Os meses mais secos (maio a setembro) concentram apenas 7,6% da precipitação anual. A média anual das precipitações oscila entre 1200 mm e 1600 mm (CAESB, 2003).

1.6.3 - Geologia

O Distrito Federal tem seu contexto geológico relacionado à Faixa de Dobramentos Brasília, onde, segundo Pimentel *et al.* (2001) e Marini *et al.* (1984), são identificadas importantes falhas de empurrão, sucessivos cavalgamentos e interferências de fases de dobramentos ortogonais gerados no evento orogênico Brasileiro.

O DF está localizado na porção central dessa faixa de desdobramento onde se observam quatro grandes unidades litológicas, os grupos: Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí. O Grupo Paranoá recobre cerca de 60% do Distrito Federal (Campos & Freitas-Silva, 1998).

Na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá, segundo estudo apresentado por Campos & Freitas-Silva (1998), subtraindo as coberturas pedológicas, encontram-se, além de coberturas de solos e regolitos recentes, as seguintes unidades: **S** (siltitos), **A** (ardósia), **R3** (metarritmitos arenosos) e **Q3** (quartzitos), figura 6, descritas da seguinte forma da base para o topo:

- Unidade **S**: com espessura de até 500m, é constituída de metassiltitos argilosos de aspecto maciço e cor cinza esverdeado. Para o topo são frequentes intercalações rítmicas de bancos centimétricos de quartzitos finos a médios com níveis milimétricos de materiais silticos e argilosos. São comuns estruturas com marcas onduladas, laminações plano-paralelas, laminações cruzadas e lentes arenosas nos níveis pelíticos. No topo ocorrem raras lentes de calcário de dimensões variadas.
- Unidade **A**: contém até 70m de espessura, é composta litologicamente por ardósias de coloração cinza esverdeada e vermelhas, quando alteradas. Caracteriza-se por possuir duas foliações representadas por clivagens ardosianas penetrativas. De acordo com Campos & Freitas-Silva (1998), constitui a maior parte da porção central da bacia e das bordas do lago, bem como a área de drenagem dos tributários, em função da baixa resistência intempérica.
- Unidade **R3**: com aproximadamente 90m, dá origem a um relevo mais movimentado com vales encaixados. Correspondem a um metarritmito arenoso

caracterizado por intercalações centimétricas a métricas de metassiltitos, metalamitos e quartzitos finos de coloração cinza, amarelada, rosada ou avermelhada, devido aos diferentes graus de intemperismo. O contato inferior é gradacional com ardósia, passando ao aumento progressivo de intercalações de metassiltitos e delgadas camadas de quartzitos (Echeverria, 2007).

- Unidade **Q3** - Quartzitos Médios – com aproximadamente 70m, mostra-se com elevada resistência aos processos de desgaste, ocupando as áreas de chapadas mais elevadas do Distrito Federal. Segundo Campos & Freitas-Silva (1998), os litotipos presentes são quartzitos de cor cinza escuro quando frescos, passando a branco ou cinza claro quando alterados, finos e silicificados com estratificações cruzadas tabulares e o tipo espinha de peixe, além de marcas onduladas assimétricas, o que imprime um aspecto maciço na maioria das ocorrências no DF.

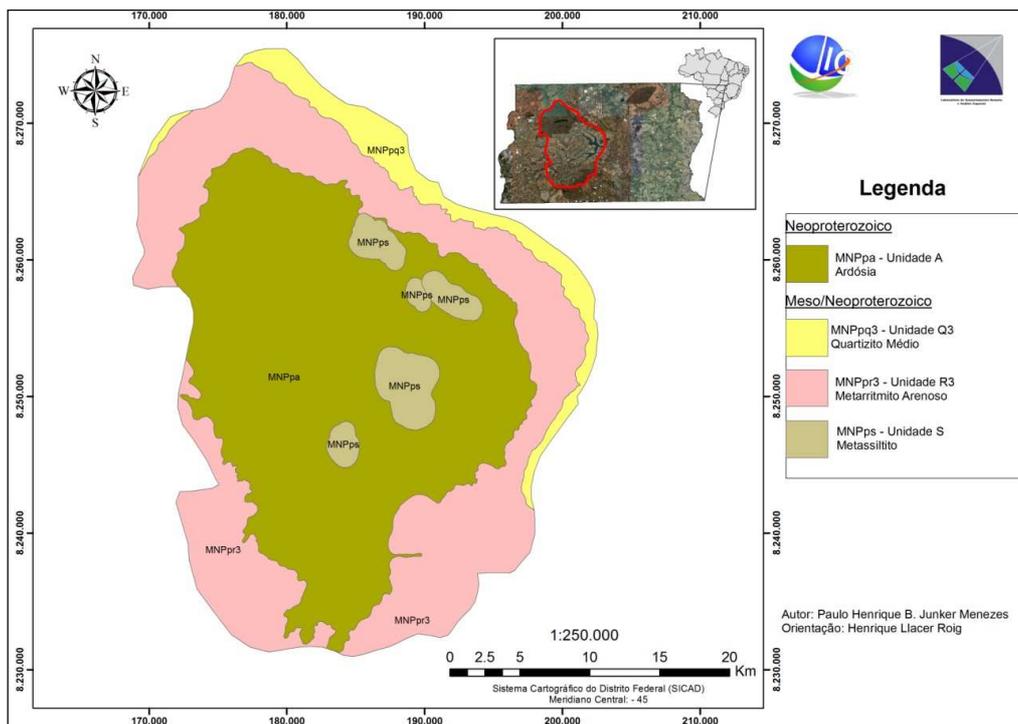


Figura 6: Mapa Geológico da Bacia do Lago Paranoá

1.6.4 - Solos

Os solos do Distrito Federal são produtos do intemperismo de rochas proterozóicas dos grupos Paranoá, Araxá, Canastra e Bambuí. Os solos, levantados pela EMBRAPA (1978), do DF estão associados às superfícies de erosão de altitude médias de 1.200 m e 1.100m, modeladas sobre quartzitos e metarritmitos (Maia, 2003).

A região do Distrito Federal apresenta três classes de solos entre as mais importantes. Essas classes são definidas como solos tropicais, vermelhos, ricos em ferro e alumínio, ácidos e pobres em macro e micro nutrientes e representam cerca de 85% do território do DF (EMBRAPA, 2004). São Elas:

- Latossolo Vermelho : ocorre nos topos de chapada, divisores principais de bacias com topos planos, na depressão do Paranoá e na Bacia do Rio Preto. A vegetação associada é geralmente de cerrado e cerradão e o relevo plano suave, de grande continuidade. Ocupam 38,65% da região do DF.
- Latossolo Vermelho-Amarelo: ocorre principalmente nas bordas de chapadas e em seus divisores, além de superfícies planas, abaixo do topo da chapada da contagem, sempre adjacente às classes dos Latossolos vermelhos. A vegetação associada é geralmente de cerrado, campo limpo e campo sujo. Ocupa uma área equivalente a 15,83% do DF.
- Cambissolo: preferencialmente nas vertentes das bacias dos Rios Maranhão, Descoberto e São Bartolomeu e nas encostas com declividades mais elevadas na depressão do Paranoá e na Bacia do Rio Preto. Possuem minerais primários facilmente intemperizáveis. A vegetação associada é a de campo limpo. Ocupam área equivalente a 31,02% do DF

Na Bacia do Lago ainda se encontram, em menor expressão, as seguintes classes (figura 7):

- Gleissolos (GX): desenvolvidos sob grande influência do lençol freático, próximo ou mesmo na superfície, evidenciada pela acumulação de matéria orgânica, na parte superficial ou pela presença de cores acinzentada, indicando redução de ferro. São permanentes ou periodicamente saturados por água, o que resulta na deficiência ou ausência de oxigênio causado pelo encharcamento. Estes solos ocorrem em áreas planas e em 4,2% da região do Distrito Federal.
- Neossolos Quartzarênicos (RQ): compreendem solos pouco desenvolvidos, em geral com espessura variável (desde centímetros até mais de 2 metros) e não apresentam qualquer tipo de horizonte B diagnóstico, porém, esta classe admite diversos tipos de horizontes superficiais, incluindo o horizonte O ou o H (hístico) pouco espesso. São geralmente ricos em minerais primários ou matéria orgânica e na região do DF ocorrem, preferencialmente, em condições de topografia acidentada.

- Plintossolos (FF): solos que apresentam horizonte plúntico, dentro dos primeiros 40 centímetros do perfil. São formados sob condições de restrição à percolação de água e, comumente, são fortemente ácidos, com baixa saturação por bases. Ocorrem normalmente em terrenos de várzeas, áreas com relevo plano ou suavemente ondulado.
- Nitossolos (Vermelho - NV): são profundos e bem desenvolvidos. Apresentam horizonte B nítico e argila de baixa atividade. São, em geral, moderadamente ácidos a ácidos, com saturação por bases variável.

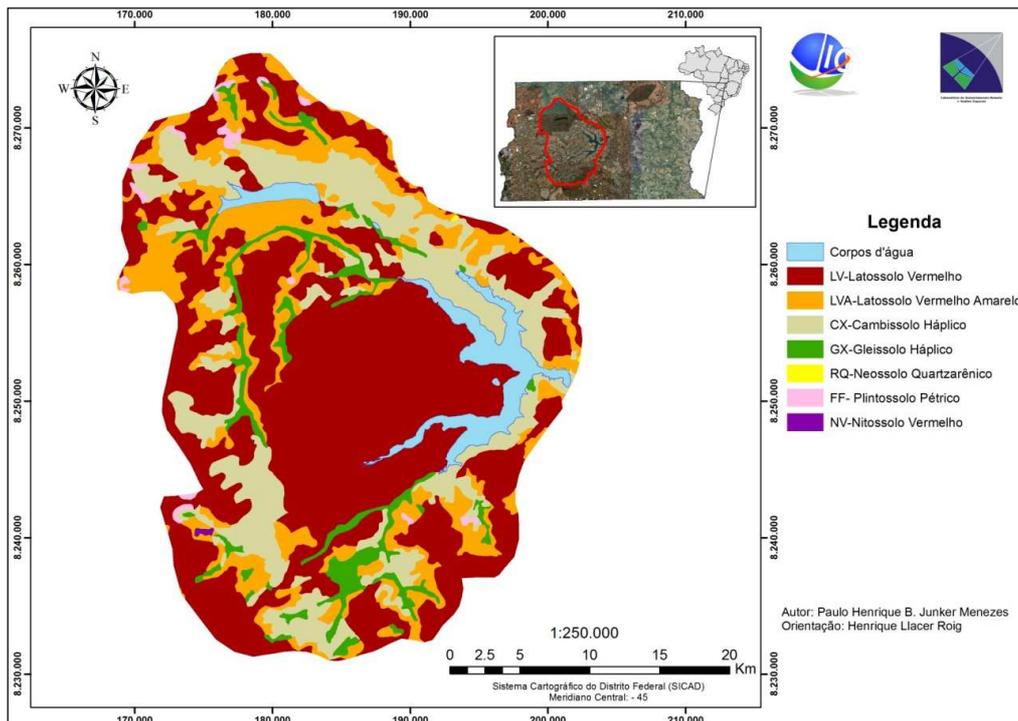


Figura 7: Mapa de Solos da Bacia (fonte Embrapa, 2004 modifica por Gonçalves, 2007)

1.6.5 - Geomorfologia:

A área do DF é constituída por extensos níveis planos a suavemente ondulados, conhecidos como chapadas, por morros residuais em direção aos vales, os pediplanos e pedimentos. Estas regiões estão modeladas sobre os quartzitos, metarritmitos e filitos e normalmente estão cobertos por latossolo e laterita vesicular, cujos rebordos são entalhadas e dissecadas pelos principais cursos d'água.

Tanto as chapadas como os pediplanos e pedimentos são residuais de aplainamentos Cenozóicos. As chapadas foram modeladas em virtude do aplainamento por corrosão e desnudação lenta causadas pelo intemperismo diferencial químico durante o Terciário. Já os pediplanos e pedimentos foram modelados por processos de

pediplanação e pedimentos iniciados no Plioceno e interrompidos durante o Quaternário por fases de dissecação ao longo dos vales (Novaes Pinto & Carneiro, 1984, Novaes Pinto, 1986 e 1988).

Novaes Pinto (1986) estabelece três macrounidades geomorfológicas para o Distrito Federal: (a) região de chapada, (b) área de dissecação intermediária e, (c) região dissecada de vale.

O padrão de relevo na bacia hidrográfica do lago Paranoá, figura 8, é fortemente controlado pelo substrato rochoso e pela estruturação tectônica. No primeiro caso, as rochas mais resistentes aos processos de denudação são responsáveis pela manutenção de chapadas e terrenos mais elevados, enquanto as rochas mais susceptíveis aos processos de alteração e transporte resultam em regiões mais rebaixadas (Ferrante *et al.*, 2001).

Na região da bacia são encontrados quatro tipos de compartimentos geomorfológicos: região de chapadas elevadas, região de dissecação intermediária, região de rebordos e região de vales dissecados.

A região das chapadas elevadas inclui a chapada da contagem e de Brasília, que corresponde a regiões de planas e suaves onduladas, com cotas entre 1.100 e 1.200 metros, sustentado por quartizitos e metarritimitos arenosos do Grupo Paranoá.

A região de dissecação intermediária (Depressão do Paranoá) corresponde ao padrão de relevo suave ondulado, situado no interior do domo estrutural de Brasília, com cotas entre 1.000 e 1.100 metros, preservados sobre ardósia, quartizitos e metassiltitos do Grupo Paranoá. Segundo Moreira (2002), essa região apresenta como única saída o vale do rio Paranoá, e nela estão localizados Lagos de Barragens, como Paranoá, Santa Maria e Torto.

O compartimento da região dos Rebordos está situado geralmente na transição entre as regiões de dissecação intermediária e de dissecação de vales. É definida por padrão de relevo ondulado, geralmente relacionado à presença de quartizitos do topo da Unidade S do Grupo Paranoá. Essa região, segundo Faria (1997); Campos & Freitas-Silva (1998), é controlada pela região de contato brusco entre as litologias com alto grau de contraste e erodibilidade.

A região de dissecação de vales apenas ocorre no baixo curso do rio Paranoá, já fora dos limites da bacia. É condicionada à presença de rochas argilosas do grupo Canastra.

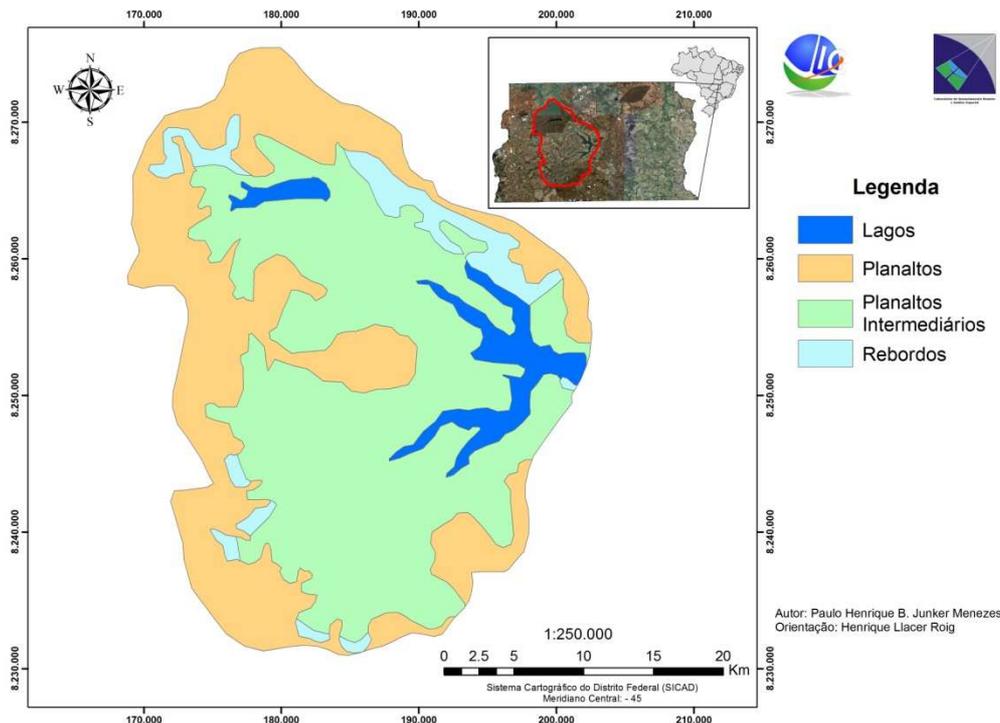


Figura 8: Mapa Geomorfológico da Bacia do Lago Paranoá. Fonte: CODEPLAN, 1984.

1.6.6 - Vegetação

Conforme Sema (1988) *in* Carvalho *et al.*(2006), a vegetação do Distrito Federal está situada na Província Fitogeográfica do Cerrado. A paisagem descrita abrange dois grupos distintos: campos (limpo e sujo) e cerrados (campo-cerrado, cerrado e cerradão), com formações adicionais como matas ciliares, matas mesófilas e veredas.

Conforme Ferrante *et al.*(2001), o cerrado típico é uma formação de savanas que tem como característica uma camada arbórea descontínua atingindo 8m de altura, cobrindo de 10 a 60% da superfície do DF e um estrato herbáceo-arbustivo bastante diversificado de até 95%.

O campo cerrado é uma forma intermediária de vegetação entre o campo típico e o campo sujo, sendo de maior ocorrência no DF. Algumas vezes ocorre alta densidade de herbáceas, com destaque para as gramíneas.

O campo sujo é uma cobertura de arbustos e subarbustos com altura inferior a 3 m, em meio à densa camada graminosa de até 1m. Os arbustos e subarbustos têm caules finos e geralmente morrem a cada ano, sendo continuamente renovados.

O campo limpo tem vegetação, predominantemente, herbácea, com raros arbustos e ausência de árvores, no qual se destacam as gramíneas que medem de 0,3 a

1m. Esses campos se situam em solos arenosos, rasos e duros, nos quais ocorre deficiência de água durante os meses secos.

Já o campo rupestre - que é constituído de herbáceo-arbustivo e de eventuais ocorrências de árvores de até 2m – se desenvolve nas frestas dos afloramentos rochosos em altitudes mais elevadas. No DF, aparecem manchas espalhadas ao longo de seu território.

A vegetação da Bacia do Lago Paranoá tem influência direta na qualidade do corpo d'água, por desempenhar importante papel na contenção de processos erosivos, fenômenos que contribuem para o assoreamento do Lago. As matas de galerias, em particular, são fundamentais para a manutenção dos sistemas hídricos.

1.7 - Estrutura da Dissertação

Esta dissertação é composta de 6 (seis) capítulos. Para se atingir o objetivo traçado nessa pesquisa, o trabalho necessita de estudos dos fatores que influenciam no fenômeno escoamento superficial e assoreamento do Lago Paranoá.

Para tanto, a sequência dos capítulos está baseada nas etapas que influenciam o objetivo do estudo, descrevendo as referências teóricas, os métodos utilizados, os resultados, discussões e conclusões de cada método/ etapa de trabalho.

No presente capítulo, o de número 1 (um), é apresentada uma introdução do problema foco deste estudo, suas questões relevantes, uma justificativa para estudos nesse segmento, os objetivos, a motivação para seleção da área de trabalho, a localização/descrição física da área de estudo, além da estruturação da dissertação.

O capítulo 2 (dois) trata das questões de uso e ocupação na área de estudo, descrevendo um breve histórico sobre a ocupação urbana no Distrito Federal e na bacia do Lago Paranoá, além dos materiais e métodos utilizados na análise da evolução do uso e ocupação na bacia, assim como, os resultados atingidos e as conclusões dessa etapa.

No capítulo 3 (três), é apresentada uma breve revisão teórica sobre escoamento superficial e sua relação com o tipo de solo e a urbanização da bacia, o método do Curva Número, utilizado para análise do escoamento superficial na bacia, e o processamento dos dados para esta etapa do trabalho e os respectivos resultados.

O capítulo 4 (quatro) apresenta o mapeamento/monitoramento do avanço do assoreamento. O avanço do assoreamento é analisado a partir da perda de área do lago,

com o deslocamento das bordas, a partir da ortorretificação das fotos áreas e de imagem do Multispectral.

No capítulo 5 (cinco) são discutidos os resultados obtidos em todas as etapas desse trabalho, a integração dos resultados e das fontes de informação utilizadas, e as sugestões para se obter resultados mais precisos e melhor comprovar as hipóteses sobre o fenômeno estudado neste trabalho

No capítulo 6 (seis) estão as referências bibliográficas utilizadas no texto e os anexos do trabalho.

Capítulo 2 - Uso e Ocupação do solo

2.1 - Introdução

Até os anos 50, quando Brasília começou a ser construída, a região onde hoje se encontra o Distrito Federal era caracterizada por uma área praticamente virgem com esparsa ocupação, cuja principal atividade econômica era agropecuária extensiva. Sua transformação em área metropolitana partiu da idéia de se levar a capital para o interior do país para promover a integração do território nacional (CODEPLAN, 2008).

O ano de 1894 pode ser considerado o marco histórico do denominado Quadrilátero Cruls, onde hoje se localiza o Distrito Federal (Figura 9). Trata-se do ano da apresentação do “Relatório da Comissão Exploradora do Planalto Central”, que, sob a chefia do astrônomo belga Luiz Cruls, foi realizado um levantamento minucioso sobre as condições de topografia, clima, geologia, flora, fauna, recursos minerais e outros aspectos da região. O resultado foi a demarcação do quadrilátero de 14.400km², entre os paralelos 15 e 16 graus de Latitude Sul, reservado para o futuro Distrito Federal (Abers, 2001).

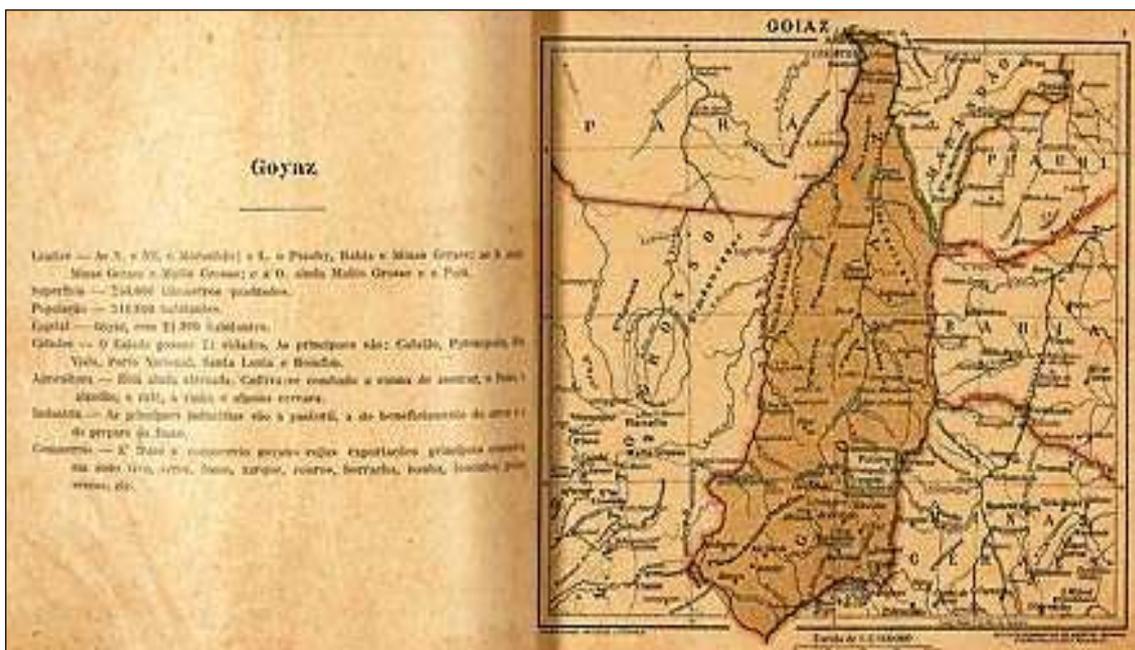


Figura 9: Imagem do pequeno Atlas do Brasil de 1922 contendo o “Quadrilátero Cruls”. (Fonte, Especial veja, Brasília 50 anos. Veja 2138 – ano42 novembro de 2009.

No entanto, somente em 1953 fora definida a mudança da capital, onde foram contratados os serviços da firma Donald J. Belcher & Associates para realizar os

estudos que, posteriormente, definiriam a escolha do local onde seria construída a cidade de Brasília.

A área analisada pela equipe abrangeu um retângulo de 50.000 Km², no qual foram selecionados cinco sítios prováveis para a implantação da cidade Brasília, figura 10 (CODEPLAN, 2008). A escolha recaiu sobre o Sítio Castanho, área que corresponde praticamente à região drenada pela Bacia do Rio Paranoá, por apresentar as melhores condições, como a configuração de terreno, tipo de solo, profundidade de rocha firme, potencial hídrico, entre outros (Soares & Alves, 2004).

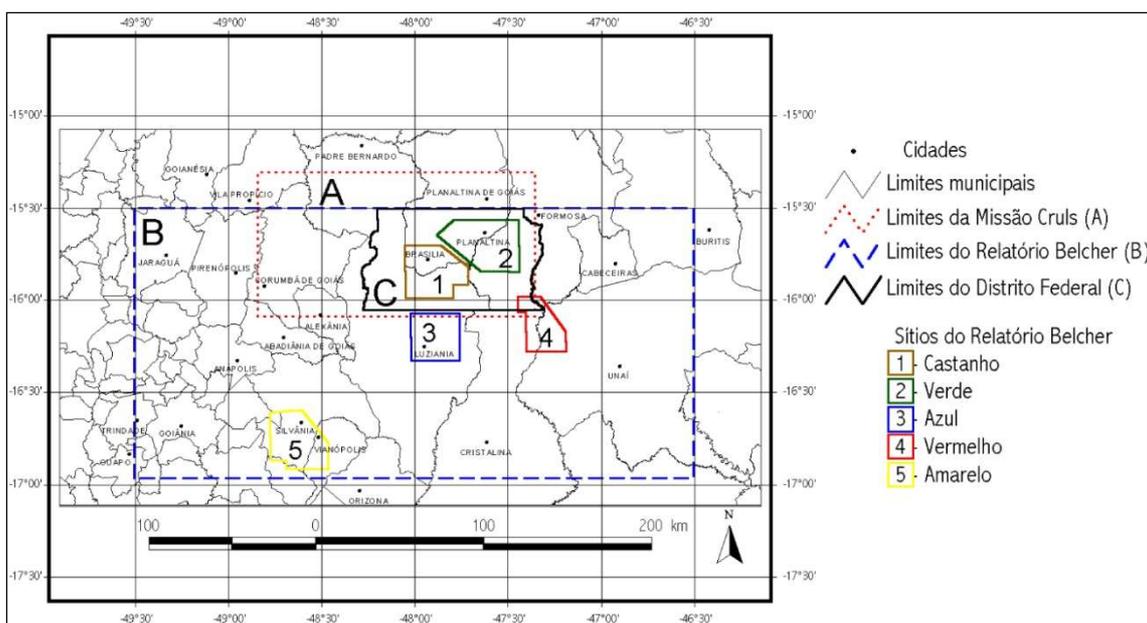


Figura 10: Localização dos limites das áreas indicadas pela Missão Cruls e pelo Relatório Belcher, inclusive dos sítios recomendados, e da área atual do Distrito. Fonte: Fortes *et al.* 2007

Segundo Queiroz, (2007), o Relatório Belcher argumentou que se a capital fosse construída no Sítio Castanho, a cidade deveria ser localizada a montante do Rio Paranoá, possibilitando assim o uso da rede de drenagem para o abastecimento e geração de energia. Estava demarcada, em 1955, a área atual da cidade de Brasília.

Durante os 41 meses de construção que antecederam a mudança, foram levantados os principais edifícios públicos, e unidades de estrutura básica, além do Eixo Rodoviário e os serviços de água, esgoto, energia elétrica e telefonia. À época da construção de Brasília fez-se necessária a criação de núcleos habitacionais para abrigar os trabalhadores. Em 1960 foi construído o núcleo central da nova capital (CODEPLAN, 2008).

O zoneamento de Brasília foi definido a partir de dois eixos perpendiculares em função do sistema viário planejado: o Eixo Rodoviário, disposto na posição Norte-Sul,

com 14,3km de extensão, onde se encontram distribuídas as quadras e superquadras residenciais, circundadas por larga cinta arborizada; e o Eixo Monumental, com 9,75km, no sentido Leste-Oeste. Com a construção da cidade de Brasília iniciou-se o processo de ocupação humana no DF, principalmente na bacia do Lago Paranoá (CODEPLAN, 2008).

À época da construção de Brasília fez-se necessária a criação de núcleos habitacionais para abrigar os trabalhadores que para aqui vieram. A Cidade Livre, posteriormente denominada Núcleo Bandeirante, surgiu em 1956. Em 1957 surgiu o Paranoá, para abrigar os trabalhadores que vieram construir a barragem formadora do Lago Paranoá. Taguatinga foi criada em 1958, Gama e Sobradinho em 1960 as quais passaram à condição de cidades satélites em 1967. Planaltina e Brazlândia já existiam como municípios do Estado de Goiás.

De acordo com estudo publicado pela CODEPLAN, 2008, para facilitar a administração dessas localidades, foi sancionada a Lei no 4.545/64 que dividiu o território em oito Regiões Administrativas - RAs. Com a evolução da ocupação territorial, em outubro de 1989 procedeu-se a uma nova divisão em 12 RAs e no período entre 1993 e 2005 foram delimitadas mais 17 RAs. Portanto, o Distrito Federal está dividido atualmente em vinte e nove Regiões Administrativas.

O processo de planejamento do DF, durante a década de 70, passou a ter uma preocupação central de assentar a população migrante fora da bacia do lago, tendo entre os argumentos citados, a preservação da capacidade limite do lago e a criação de um cinturão de proteção para a bacia do lago (Oliva *et al*, 2001).

Apesar de Brasília ter sido fruto de um plano urbanístico rigoroso, o uso e ocupação do solo do DF nas últimas décadas, não vem ocorrendo de forma planejada. Cidades satélites nasceram de projetos urbanísticos e/ou invasões, por meio de pressões de demandas por habitação e não de um processo de planejamento, forçando, constantemente, a expansão para uso residencial (Oliva *et al*, 2001)

Essa pressão da demanda por espaços habitacionais deu início ao rompimento do cordão de proteção do lago com o surgimento de projetos governamentais como Guará I e II, Candangolândia, Varjão, Riacho Fundo I e II, Águas Claras, o setor Sudoeste, o Taquari, e projeto do setor Noroeste, todos situados dentro da bacia do lago (Queiroz, 2007).

Esta situação de crescimento acelerado levou a realização de vários trabalhos sobre o padrão de mudança de uso e ocupação do Solo (Anjos, 2008; Unesco 2002; Felizola *et al.*, 2001; Unesco, 2000). Entretanto, as análises desses dados foram sempre voltadas para a identificação da perda de cobertura vegetal, sem considerar outros impactos como, por exemplo, as modificações no padrão de urbanização das cidades sobre a taxa de impermeabilização e conseqüentemente o fluxo superficial.

Dentro deste contexto, o objetivo deste capítulo é analisar a dinâmica do uso e ocupação na bacia de contribuição do lago Paranoá, identificando as regiões de maior alteração/crescimento urbano, visto que o processo de urbanização aumenta escoamento superficial (*runoff*) e conseqüentemente, os processos de produção de sedimentos, principalmente, nos estágios iniciais de urbanização.

2.2 - Etapas e Métodos

Trabalhos recentes abordam o uso de técnicas de processamento digital de imagens e integração de dados, para fins de avaliar os impactos das mudanças no uso e cobertura da terra no ciclo hidrológico e no processo erosivo em bacias hidrográficas (Maeda, 2008; Kucukmehmetoglu & Geymen 2008; Shi *et al.*, 2007; Ito, 2007)

Para se atingir os objetivos deste capítulo fez-se necessário cumprir as etapas de trabalho abaixo descritas e apresentadas no fluxograma da figura 11:

1. Aquisição dos dados vetoriais de uso e ocupação existentes (Anjos *et al.*, 2002, UNESCO, 2000 e 2002);
2. Aquisição das imagens e fotos para validação dos dados vetoriais (INPE);
3. Aquisição da imagem AVNIR-2 (2009), comprada pelo Projeto do FAP-DF;
4. Definição da legenda a ser utilizadas;
5. Pré-processamento das imagens;
6. Validação da base de dados. Ratificação ou retificação dos mapas do período entre 1964 e 1998;
7. Construção do mapa do ano de 2009;
8. Identificação do(s) período(s) de maior alteração/ crescimento urbano;
9. Identificação da unidade hidrográfica com maior porcentagem de urbanização;
10. Análise da dinâmica de uso e ocupação para o período de maior alteração.

O fluxograma da figura 11 pode ser dividido em duas fases. A primeira fase é formada pelas etapas de 1 a 7, que consistem na fase de preparação da base de dados.

Nesta fase são explicados todos os procedimentos para padronizar a base de dados. A segunda fase, formada pelas etapas de 8 a 10, descreve os métodos de análise utilizados para alcançar os objetivos propostos neste capítulo.

A primeira etapa do fluxograma consiste na aquisição das bases de dados vetoriais existentes. As fontes dos mapas de uso e ocupação do período de 1953 a 1998 foram:

1. 1953. Relatório Belcher, digitalizado pela equipe que realizou a 1ª edição do trabalho da UNESCO (2000) “Vegetação no Distrito Federal, Tempo e Espaço”.
2. 1964. Mapeamento realizado por Anjos *et al.* (2002) na escala de 1:60.000 e disponibilizado na escala 1:100.000;
3. 1973 e 1998. Mapeamento realizado para a UNESCO (2000 e 2002) por meio de Classificação supervisionada MaxVer sobre as imagens dos satélites da série Landsat (Felizola *et al.*, 2001).

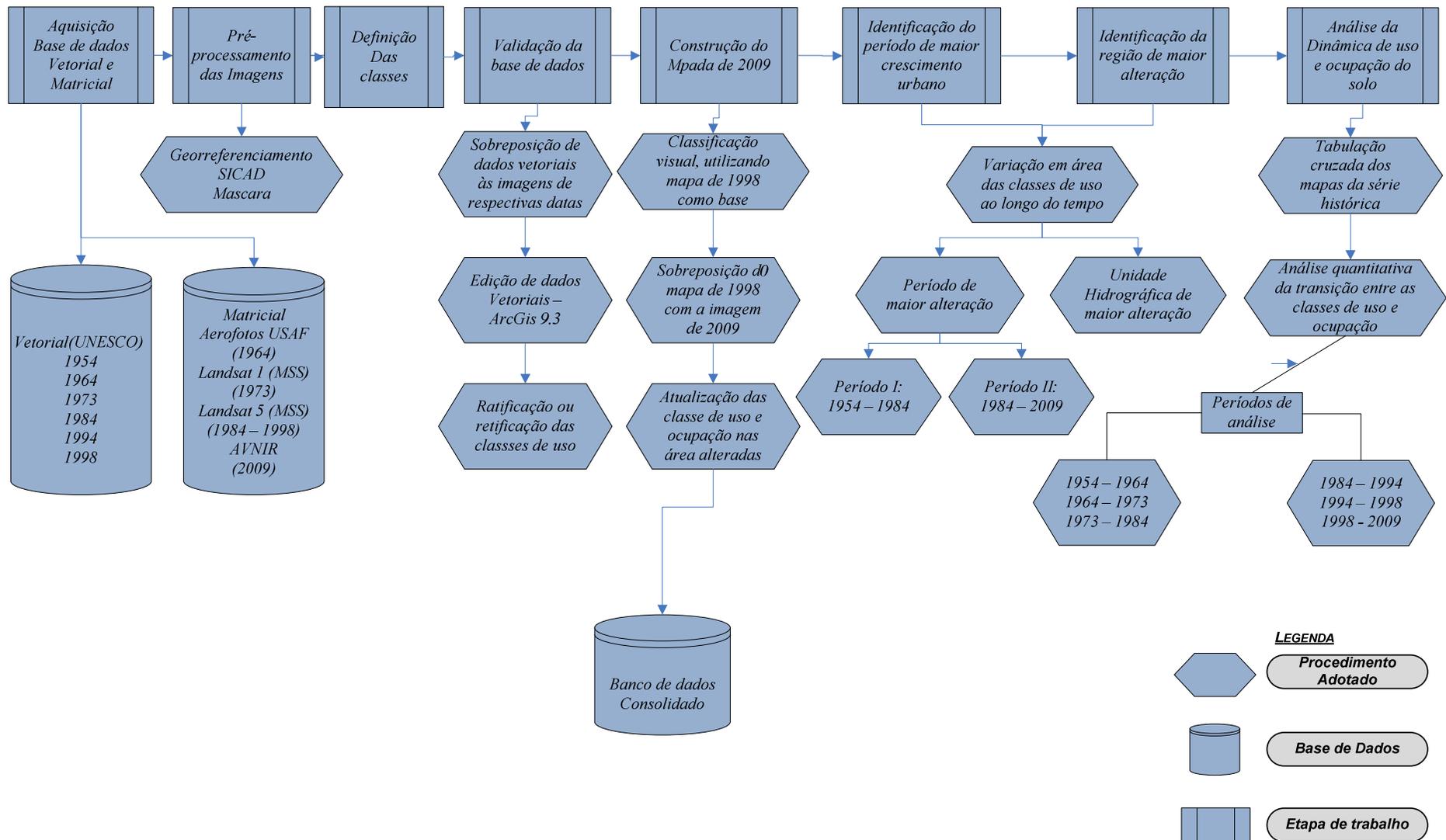


Figura 11: Fluxograma das etapas de trabalho da análise de uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá

A base de dados de Sensoriamento Remoto (etapas 2 e 3) necessárias para a validação dos Mapas de Uso e Cobertura são constituídas pelas fotografias áreas da década de 1960, levantamento executado pela USAF (*Unitade States Air Force*), disponível, também pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto do IG / UnB, além das imagens dos sensores: Landsat 1(MSS) e Landsat 5 (TM) referente, respectivamente, aos anos de 1973 e ao período entre 1984 e 1998. Estas imagens são disponibilizadas gratuitamente no site da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/ INPE) endereço eletrônico www.dgi.inpe.br/CDSR. E por último, a imagem do sensor AVNIR-2, de setembro de 2009 adquiridas comercialmente pelo projeto de pesquisa do FAP-DF “Avaliação do efeito de ações antrópicas na dinâmica hidrossedimentológica e no suprimento de água do DF visando o desenvolvimento sustentável”.

De posse desses dados o passo seguinte (etapa 4) foi definir uma legenda mínima passível a ser utilizada para todos os períodos, considerando a grande diversidade de fontes (sensores) com resoluções diversas. Desta forma para a série de mapeamentos multitemporais, a legenda adotada foi a mesma do projeto da UNESCO (2000 e 2002).

Para a validação dos dados gerados (1964 – 1998), foram utilizadas as mesmas imagens, ou seja, o mesmo sensor adquirido no mesmo dia das imagens utilizadas para a construção dos mapas. A imagem de 1998 foi georreferenciada utilizando-se a base cartográfica da CODEPLAN, na escala de 1:10.000 no sistema de projeção SICAD (CODEPLAN, 2008), sendo que o registro seguiu o modelo de interpolação RTS (*rotation, sclaing and transtaion*) baseado no polinômico do 1º grau. Os pontos de controle (GCP – Ground control points) foram definidos pela coincidência das feições terrestres entre a base cartográfica e as imagens de satélite. O erro máximo (RMS - *root mean square*) não ultrapassou 2 pixels. Por último, durante o processo de registro os valores do DN (digital number) foram reamostrados utilizando-se o algoritmo de vizinho mais próximo. As demais imagens do sistema Landsat foram registradas utilizando-se como referência a imagem de 1998, com uma superposição que não ultrapasse 2 pixels, condição necessária para um adequado estudo multitemporal.

A etapa 6 (seis) Validação dos dados, foi realizada por meio da interpretação visual e por sobreposição dos mapas vetoriais, com as imagens das respectivas datas. Este processo permitiu a ratificação e/ou retificação das classes de cobertura vegetal e

agricultura e delimitação das três classes de áreas urbanas. A edição topológica dos dados vetoriais foi feita no software Arcgis 9.3.

O mapa de 1954 não passou por esse procedimento, pois não se obteve o dado referente ao levantamento que originou o mapeamento desse ano. Segundo UNESCO (2002), a base utilizada para esse levantamento foram as cartas específicas de utilização das terras na escala de 1:50.000, produto elaborado pelo "Relatório Técnico sobre a Nova Capital da República" - Relatório Belcher .

O mapa de uso e ocupação do ano de 2009 foi feito com base na análise da imagem do sensor AVNIR-2, do satélite japonês ALOS. Esta imagem também foi georreferenciada utilizando-se a base cartográfica da CODEPLAN na escala de 1:10.000 no sistema de projeção SICAD. Para elaboração desse mapa foi utilizada a base vetorial do ano de 1998. Essa base foi sobreposta à imagem de 2009, e atualizada para a realidade do uso e ocupação do solo na data da imagem, baseado em dados de campo.

Após a preparação da base iniciou-se a segunda fase (etapas 8 a 10) a análise multitemporal do padrão de uso e cobertura da terra. Esta análise foi feita com base no cálculo de área em quilômetros quadrados e em porcentagem de área das classes de uso e ocupação da Bacia do Lago Paranoá e das unidades hidrográficas, que a constituem, citadas no capítulo 1(um), para todos os anos da série histórica analisada. Os resultados dessa análise foram gerados na forma de mapas, gráficos e tabelas. Com isso foram identificados os principais padrões de mudança e o período de maior crescimento urbano na bacia do Lago Paranoá e nas unidades hidrográficas.

Segundo Godoy (2004), uma das maneiras mais simples de determinar o padrão de mudança dos elementos ou estados de uma paisagem e suas possíveis transições é basear-se na análise das matrizes de transição, geradas sobre representações espaciais matricial. O resultado desses matrizes, normalmente, são tabulações cruzadas que expressam a taxa de substituição ou transição, entre as classes sem, no entanto, identificar onde estas ocorreram, de modo não ser possível determinar o padrão de distribuição dessas mudanças. A melhor forma de determinar tanto a taxa de mudança como a sua distribuição, é associar a essas matrizes de transição os mapas de mudanças gerados pela simples união de vetorial dos mapas, dois a dois (Valentin, 2008).

A construção da análise multitemporal dessas mudanças na bacia basearam-se na tabulação cruzada entre os mapas de uso e ocupação do solo inicial e final de cada

período de simulação, e, foi realizada utilizando a extensão *Spatial Analyst* do ArcGis 9.3. O resultado desse processo consiste num conjunto de tabelas e mapas de transição para todo intervalo considerado, refletindo as probabilidades globais de transição detectadas.

Esse método de análise de mudança de paisagem requer a definição de alguns elementos para o seu desenvolvimento, sendo que, para o formato dos dados será utilizada a representação matricial (raster), como variável de entrada, os pares de dados de uso e ocupação do solo, considerando o tamanho do pixel de 1 m² (pixel de 1x1 m),.

Para a análise das mudanças foram elaboradas 6 matrizes de transição. Esse método permite calcular as transições para apenas um par de datas. Portanto, as análises foram feitas para os seguintes pares:

- 1954 – 1964;
- 1964 – 1973;
- 1973 – 1984;
- 1984 – 1994;
- 1994 – 1998;
- 1998 – 2009.

2.3 - Resultados e Discussões

As figuras 12 a 18 mostram os mapas de uso e ocupação, respectivamente, para os anos de 1954, 1964, 1973, 1984, 1994, 1998 e 2009 e as tabelas 1 e 2 apresentam a área total (km² e porcentagem, respectivamente) ocupada por cada classe de uso para cada período analisado e o gráfico da figura 19 apresenta a evolução em porcentagem de cada classe, ao longo da série histórica, que é de 55 anos.

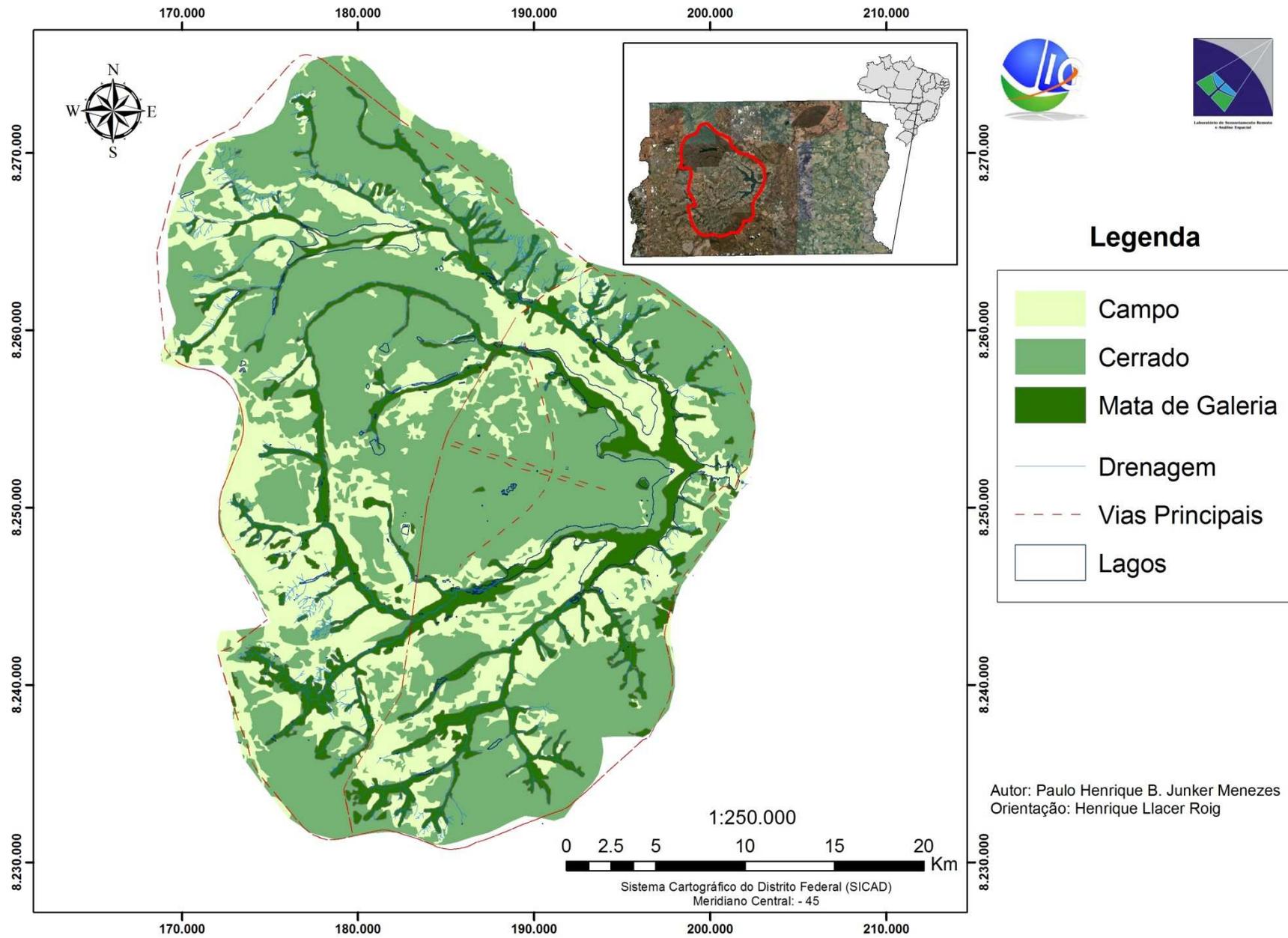


Figura 12: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Lago Paranoá no ano de 1954

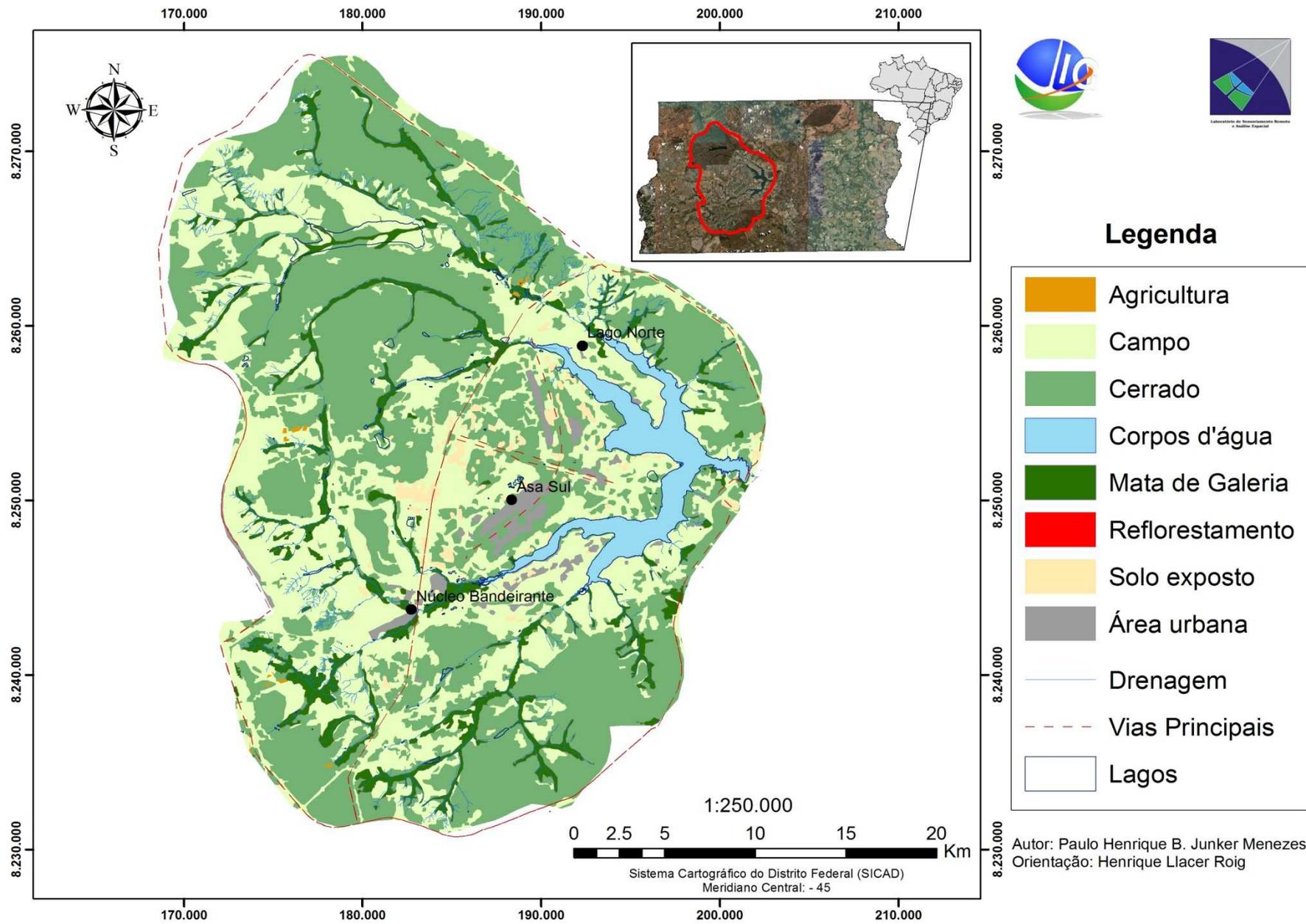


Figura 13: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Lago Paranoá no ano de 1964

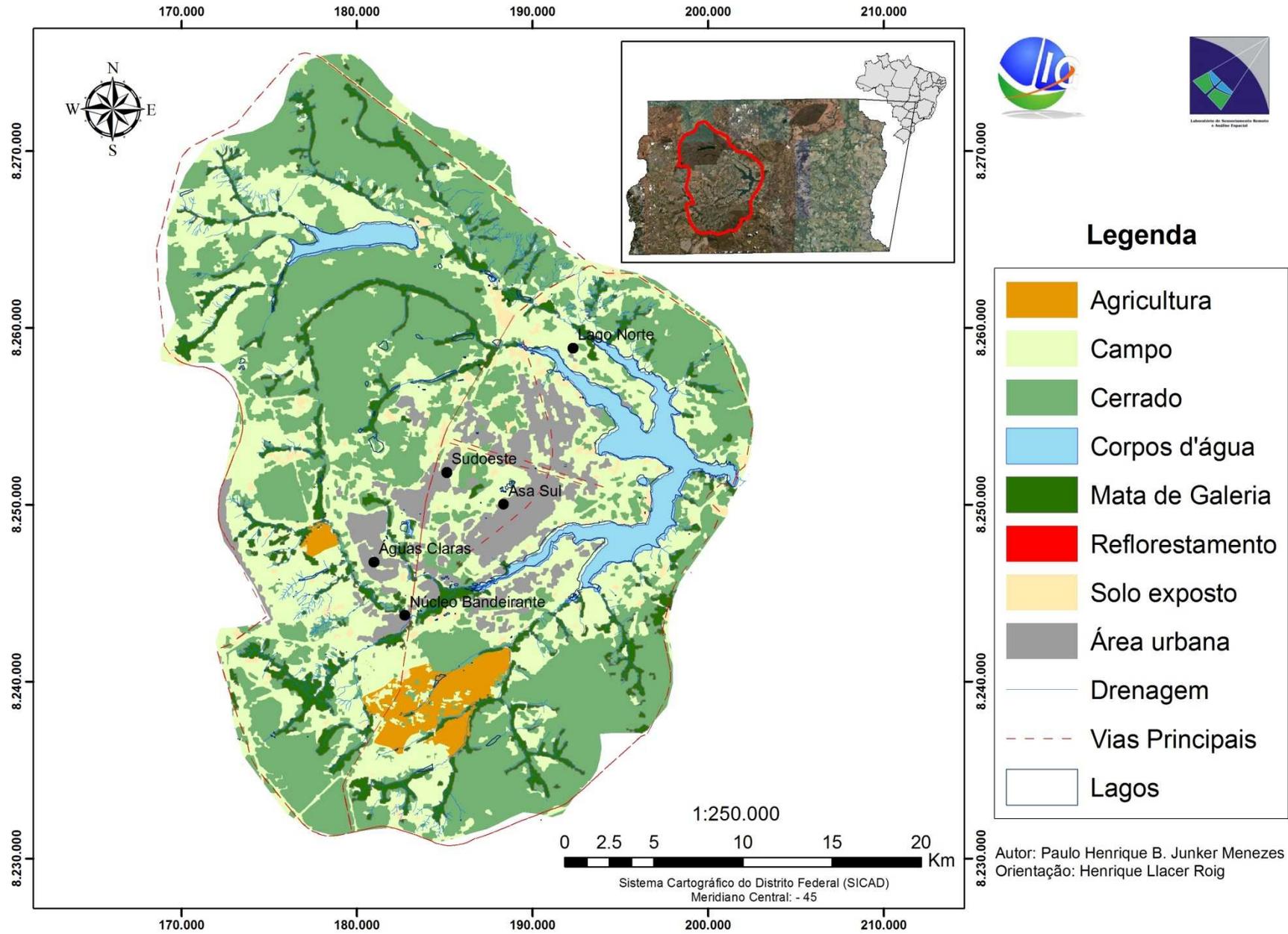


Figura 14: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Lago Paranoá no ano de 1973

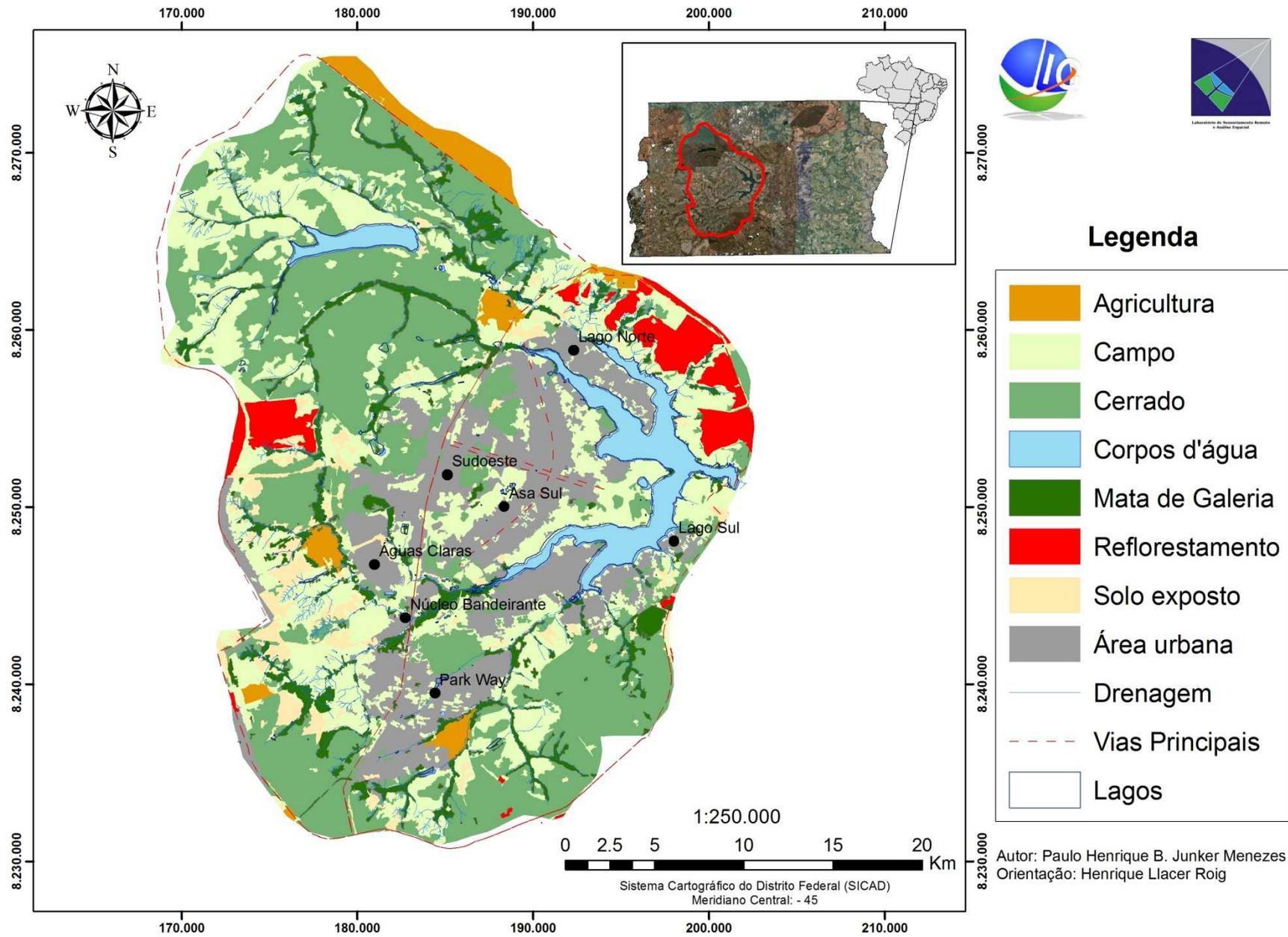


Figura 15: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Lago Paranoá no ano de 1984

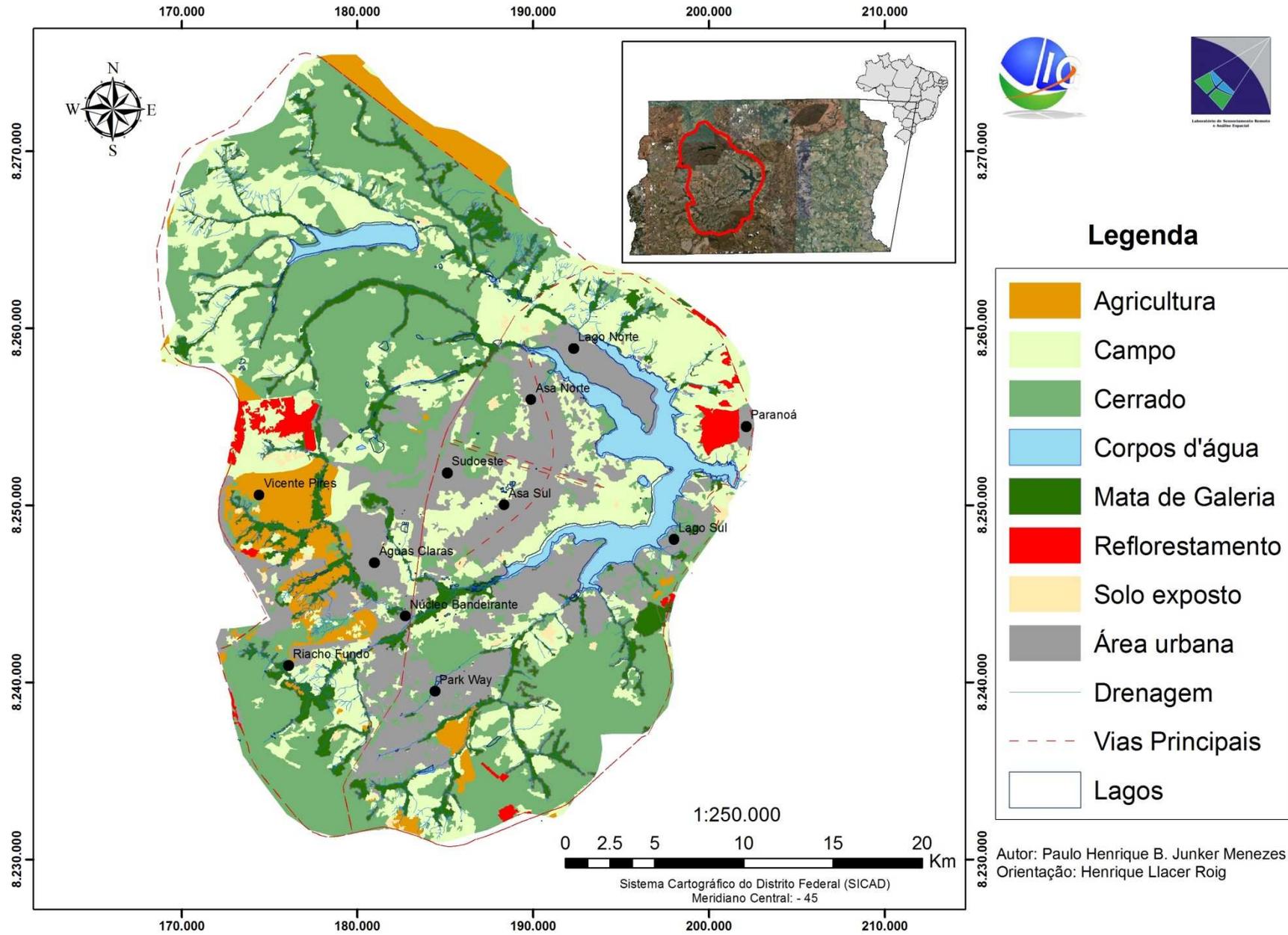


Figura 16: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Lago Paranoá no ano de 1994

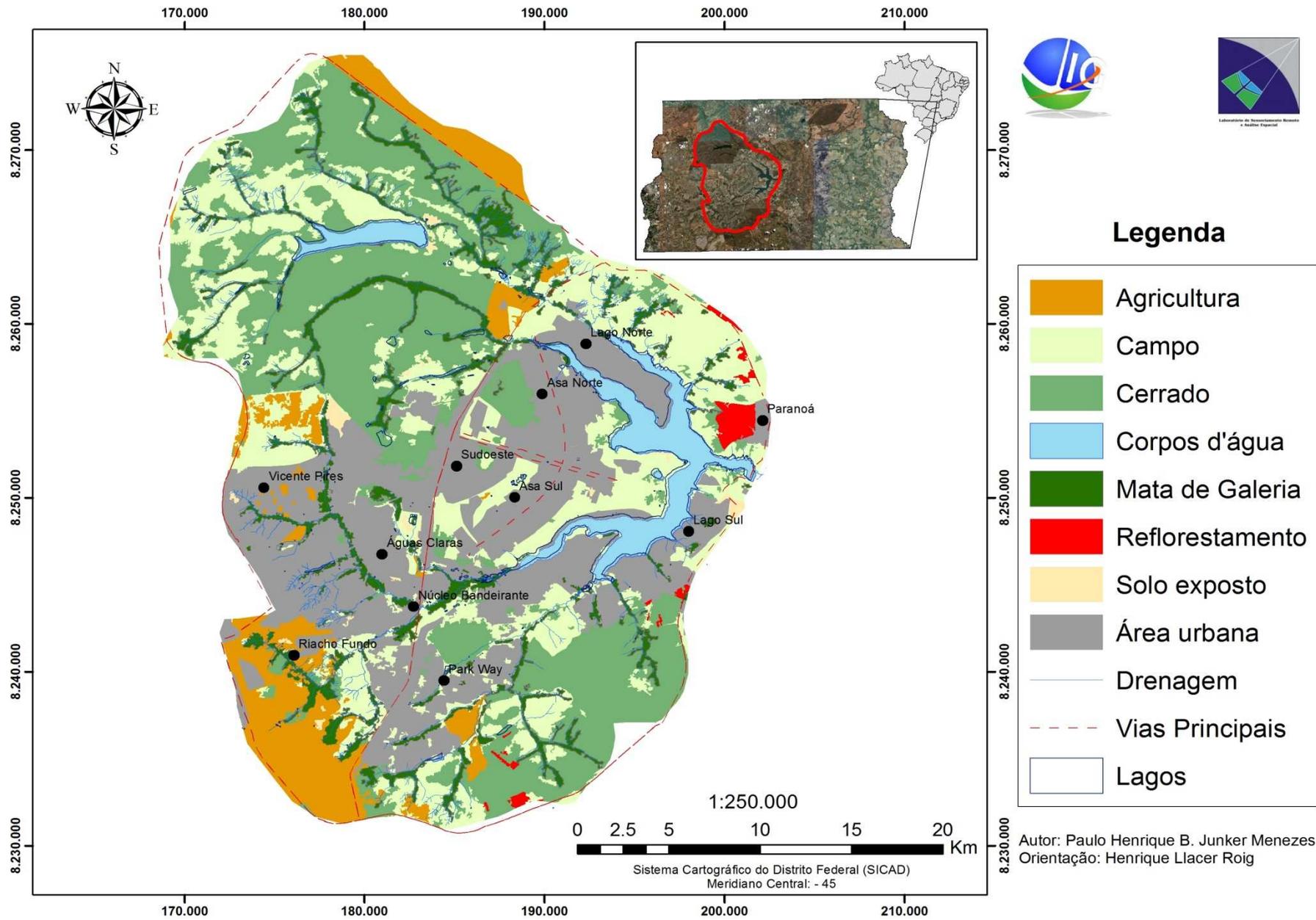


Figura 17: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Lago Paranoá no ano de 1998

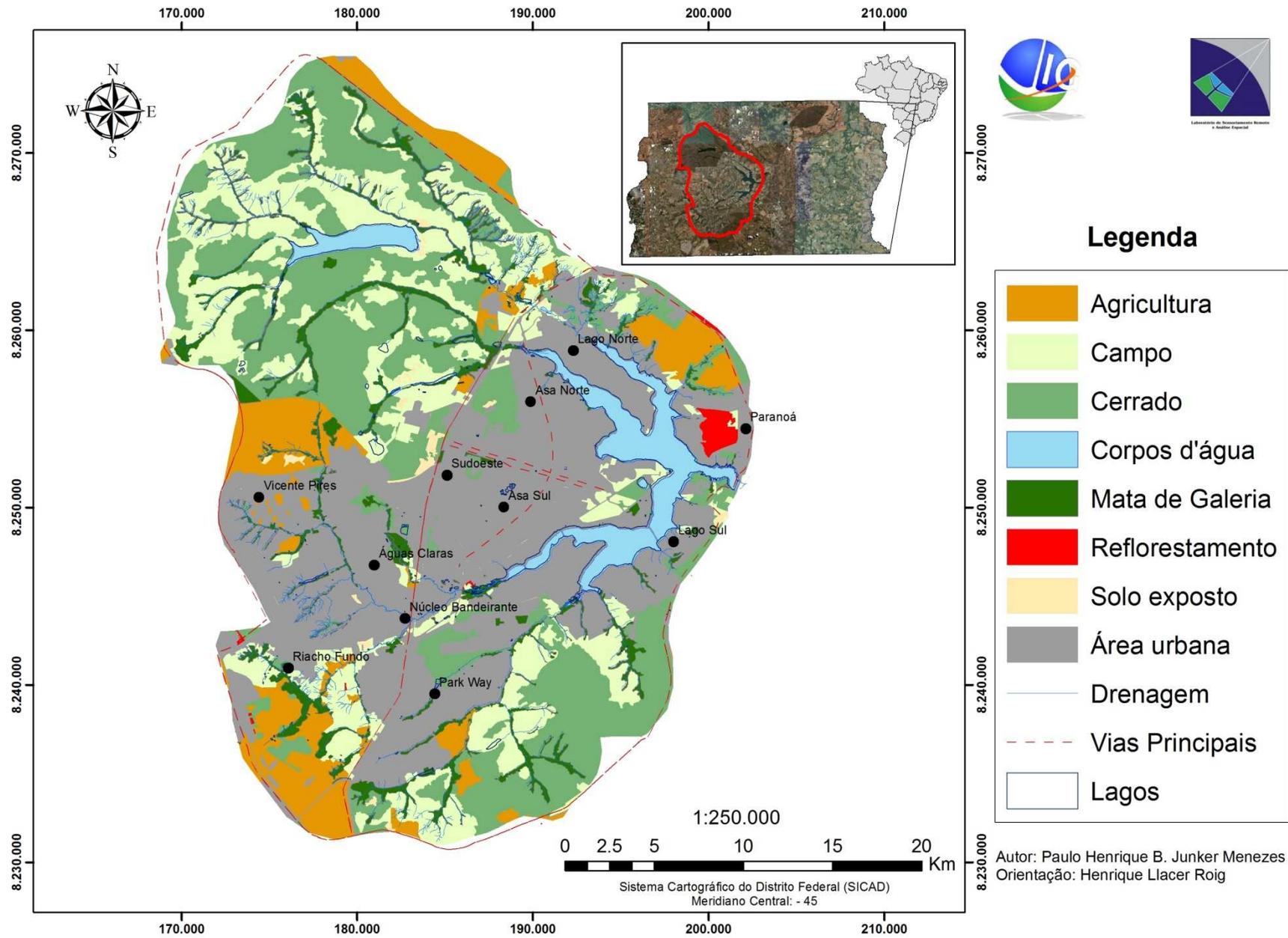


Figura 18: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Lago Paranoá no ano de 2009

Tabela 1: Área em quilometro quadrado (km²) das classes de uso e ocupação do solo ao longo da série histórica para a bacia do Lago Paranoá - DF

	1954	1964	1973	1984	1994	1998	2009
Cerrado	563,8	485,8	436,1	341,2	322,1	295,0	256,9
Campo	299,6	362,8	338,5	274,3	260,4	244,5	196,7
Mata de Galeria	141,3	83,5	77,7	81,1	83,4	69,4	67,3
Corpos d'água	0,0	39,1	45,3	45,6	46,8	43,8	43,0
Agricultura	0,0	0,8	21,4	26,4	87,7	78,3	91,3
Solo exposto	0,0	14,0	16,5	39,8	8,2	5,0	3,8
Reflorestamento	0,0	0,0	0,0	36,3	15,6	7,3	5,0
Área urbana	0,0	18,7	69,2	160,0	180,7	261,4	340,6

Tabela 2: Área em porcentagem (%) das classes de uso e ocupação do solo ao longo da série histórica para a bacia do Lago Paranoá - DF

	1954	1964	1973	1984	1994	1998	2009
Cerrado	56,1	48,4	43,4	34,0	32,1	29,4	25,6
Campo	29,8	36,1	33,7	27,3	25,9	24,3	19,6
Mata de Galeria	14,1	8,3	7,7	8,1	8,3	6,9	6,7
Corpos d'água	0,0	3,9	4,5	4,5	4,7	4,4	4,3
Agricultura	0,0	0,1	2,1	2,6	8,7	7,8	9,1
Solo exposto	0,0	1,4	1,6	4,0	0,8	0,5	0,4
Reflorestamento	0,0	0,0	0,0	3,6	1,6	0,7	0,5
Área urbana	0,0	1,9	6,9	15,9	18,0	26,0	33,9

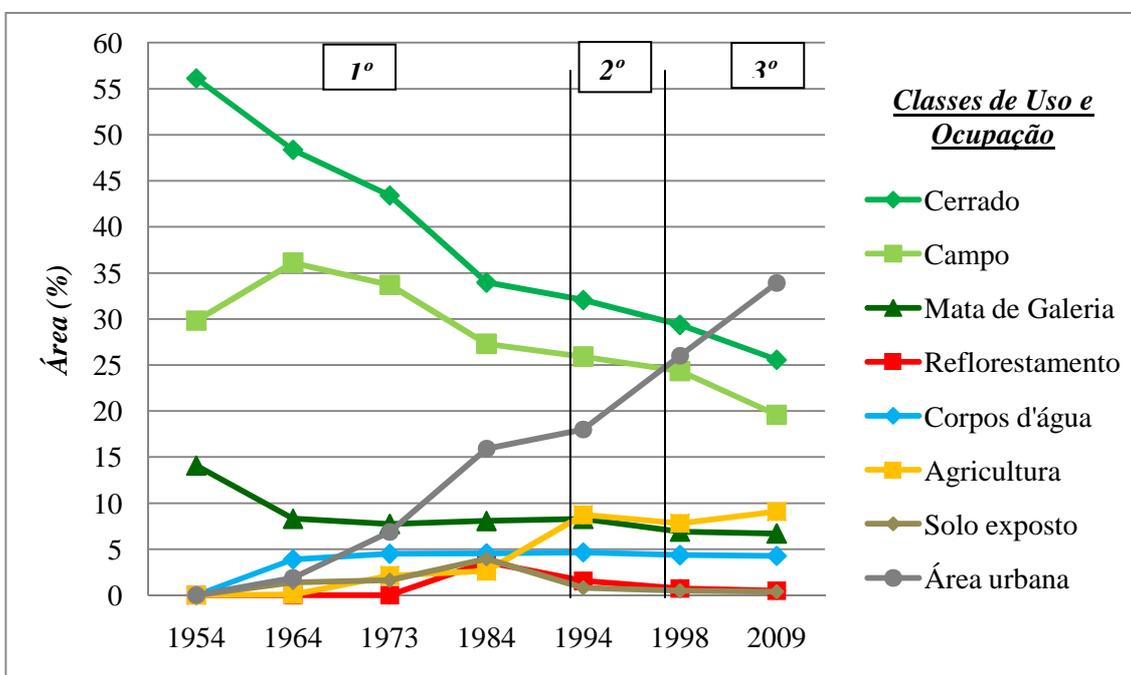


Figura 19: Análise temporal da variação em porcentagem de área das classes de uso e ocupação do solo na Bacia do Lago Paranoá - DF.

Analisando-se a situação atual, ano de 2009 (figura 19 e tabela 2), verifica-se que as áreas urbanas ocupam aproximadamente 341 Km² na bacia, o equivalente a 34% da área.

Cabe destacar que, esta taxa só não é maior, devido à presença de grandes áreas de preservação permanente, como o Parque Nacional de Brasília (300km²), a Reserva do IBGE (RECOR, 14 km²), o Jardim Botânico (40 km²) e a Faz. Água Limpa da UnB (45 km²). Estas áreas de preservação encontram-se fortemente pressionadas pela expansão urbana (figura 2, capítulo1).

Partindo-se para uma análise da evolução do padrão de uso e cobertura da terra (tabelas 1 e 2) percebe-se, imediatamente, um crescimento aproximadamente constante da supressão da cobertura vegetal, claramente evidenciada pela curva do cerrado (figura 19). É importante ressaltar que o aparente crescimento de $\pm 6\%$ da classe campo entre os anos de 1954 e 1964, pode estar relacionado à instalação do Plano Piloto que suprimiu o cerrado e não o ocupou imediatamente, permitindo uma regeneração parcial da cobertura vegetal (compare as figuras 12 e 13). Fotos históricas (figura 20) mostram as áreas em construção no plano piloto, cercada por solo exposto e campo.



Figura 20: Fotos históricas da área em construção do Plano Piloto.

Fonte:(http://www.portalbrasil.net/brasil_cidades_brasilia.htm)

Uma análise global da evolução do uso e ocupação da bacia, considerando a área urbana como um todo, permite reconhecer três períodos distintos de crescimento urbano, marcados no gráfico da figura 19.

O primeiro estágio, entre 1954 e 1984, observa-se uma supressão da vegetação e uma substituição direta por áreas urbanas (figura 21), com taxa de evolução oposta, mas, com proporções semelhantes. Este padrão é bastante distinto do que ocorre em geral, ou seja, a substituição da vegetação por atividades rurais e estas por áreas

urbanas. Outro ponto importante de se observar é o crescimento urbano periférico, com poucas novas manchas urbanas (figura 21).

O segundo estágio (1984 – 1994) é caracterizado por um baixo crescimento urbano ($\pm 2,1\%$) muito inferior ao período anterior, que foi de 5 a 9% por década. Por outro, lado o que se observa é o aumento das áreas para uso agrícola, $\pm 6\%$, figura 21.

O último estágio (1994 – 2009) corresponde ao processo de urbanização mais intenso, em que o crescimento das áreas urbanas atingiu cerca de 18% da área da bacia, equivalente à aproximadamente 181 km², num espaço de tempo de 15 anos, figura 21. Este período também é marcado por uma diminuição da área de atividade agrícola que fora substituída por parcelamentos urbanos.

Esta urbanização é marcada por dois vetores de crescimento. O primeiro, mais intenso, na direção de Taguatinga gerando a conurbação entre o Gama, Candangolândia, Núcleo Bandeirante, Águas Claras e Taguatinga, porém ainda observa-se a presença de manchas de baixa densidade habitacional, como o Park Way. O segundo vetor ocorre na direção de Sobradinho, evidenciado, principalmente, pelas regiões do Varjão e Taquari. Estes vetores de crescimento podem ter sido impulsionados pela distribuição da malha viária, que comumente orienta o crescimento urbano

Este cenário reforça a preocupação com a qualidade e quantidade das águas que aportam o Lago Paranoá, visto que o cordão verde planejando para preservar os seus principais afluentes, e principalmente, suas nascentes, foi destruído, à exceção das áreas de preservação, como mencionado anteriormente.

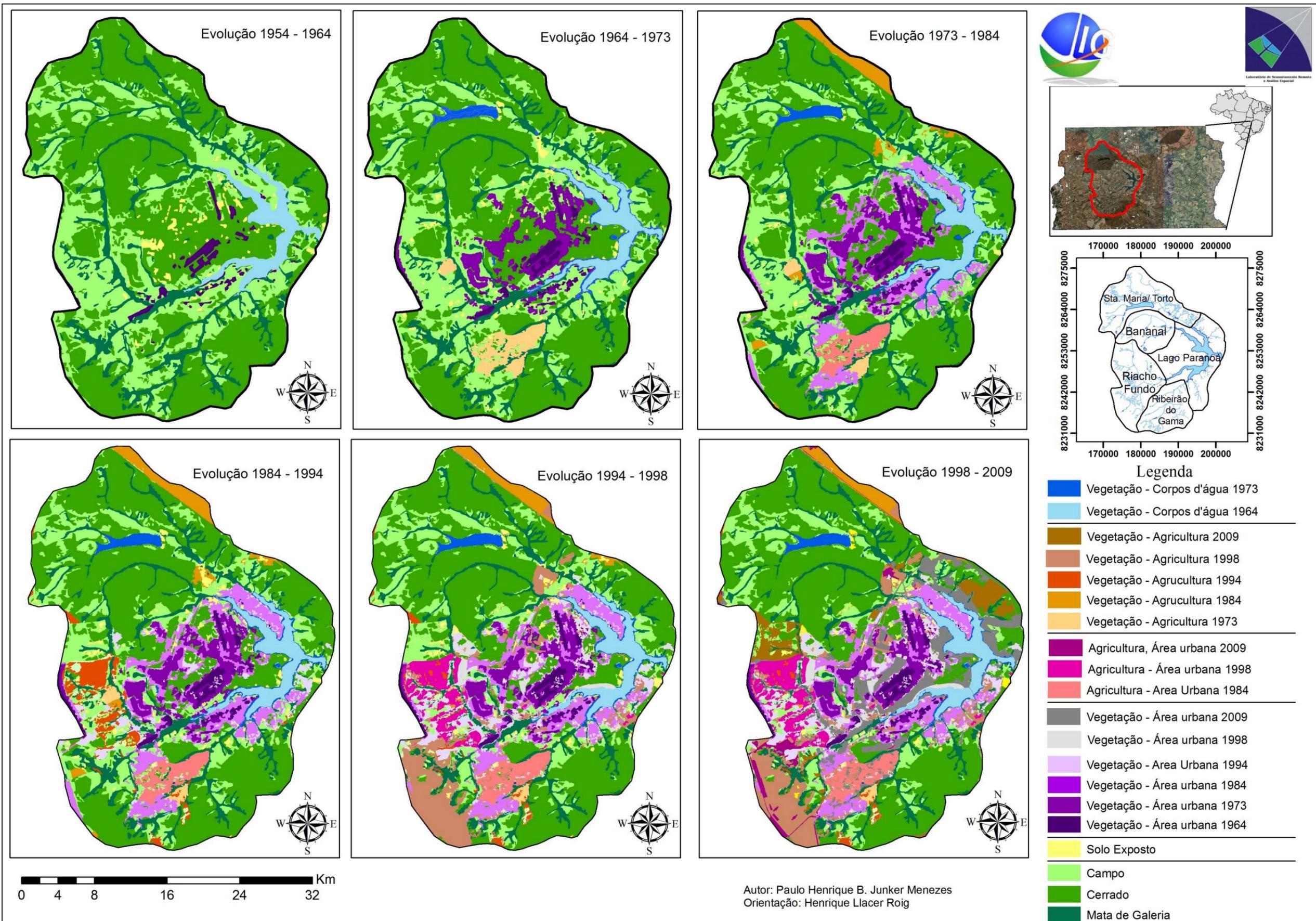


Figura 21: Análise global da evolução de uso e ocupação da bacia do Lago Paranoá

No entanto, como o foco desta dissertação é entender o impacto das mudanças do uso e ocupação da terra sobre o Lago Paranoá, faz-se necessário identificar como estes processos ocorreram em cada unidade hidrográfica de contribuição, permitindo assim verificar se existe uma correlação temporal com o assoreamento do Lago estudado no capítulo IV.

Uma simples análise da distribuição temporal das porcentagens em área das classes de uso e cobertura da terra (tabela 3 e figura 22) pode-se perceber que as unidades hidrográficas do Paranoá e Riacho Fundo apresentam as maiores taxas de substituição da cobertura natural por áreas urbanas. As unidades hidrográficas do Torto e Bananal têm as menores taxas, devido à presença do Parque Nacional de Brasília.

Tabela 3: Quantificação da taxa de urbanização das unidades hidrográficas que constituem a bacia do Lago Paranoá, para os anos analisados.

Unidades Hidrográficas	1954	1964	1973	1984	1994	1998	2009
Torto	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,7	4,6
Bananal	0,0	0,0	2,3	7,4	5,9	7,7	8,2
Lago Paranoá	0,0	4,9	15,6	29,9	32,3	39,8	51,9
Riacho Fundo	0,0	2,0	9,6	16,5	22,8	48,1	56,2
Gama	0,00	0,40	1,33	21,62	23,03	23,60	29,14

*Taxa de urbanização em porcentagem de área.

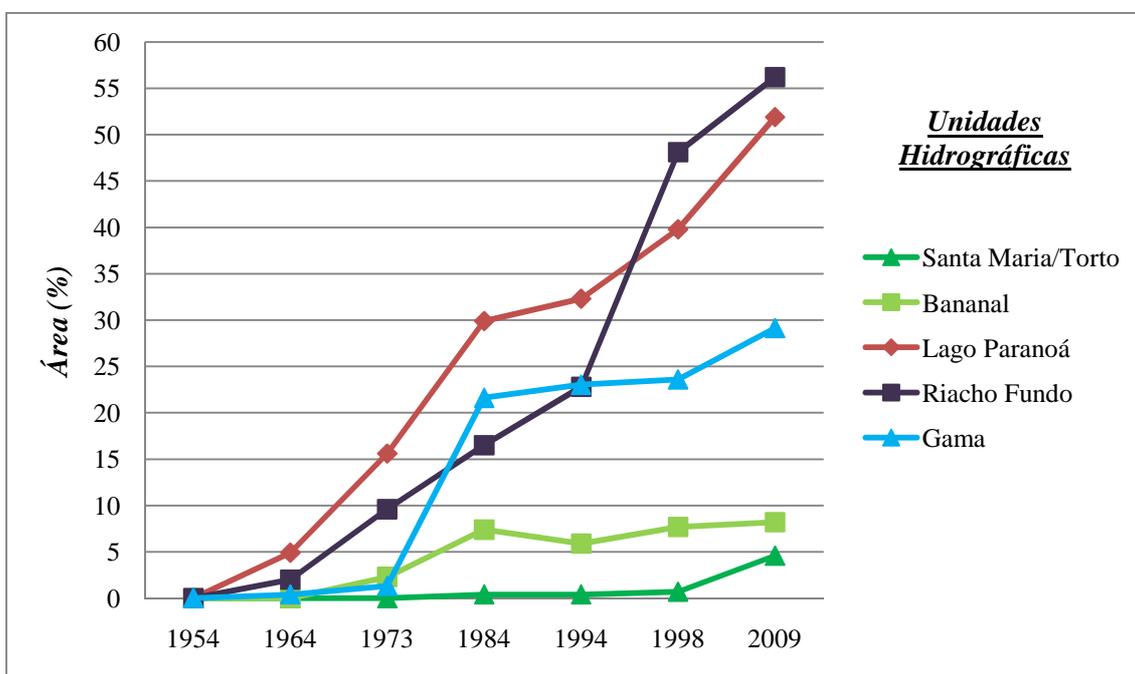


Figura 22: Variação da taxa de urbanização nas unidades hidrográficas da bacia do Lago Paranoá.

Na unidade hidrográfica do Riacho Fundo esse problema chama atenção pelo fato de, em sua região, a ocupação da classe agricultura em 2009 alcançar cerca de 20,5% da bacia (tabelas 4 e 5 e figura 23). Portanto, aproximadamente 87 % dessa unidade hidrográfica vem sendo ocupada com uso intenso do solo, seja por áreas

urbanas já consolidadas, seja por uso agrícola. É interessante observar que o período entre 1994 e 1998 foi o de maior alteração em termos de crescimento urbano, que atingiu cerca de 25% na área da unidade hidrográfica do Riacho Fundo, equivalente a uma área de aproximadamente 55km².

Tabela 4: Área em quilometro quadrado (km²) das classes de uso e ocupação do solo ao longo da série histórica para a unidade hidrográfica do Riacho Fundo - DF

Classe	1954	1964	1973	1984	1994	1998	2009
Cerrado	80,6	71,8	64,9	56,5	24,1	8,2	10,2
Campo	101,5	112,4	101,0	61,9	43,4	33,7	21,1
Mata de Galeria	35,8	25,0	23,1	23,8	26,4	20,2	17,1
Corpos d'água	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
Agricultura	0,0	0,6	3,9	5,3	64,8	48,3	44,6
Solo exposto	0,0	3,7	3,9	26,7	3,7	2,6	1,9
Reflorestamento	0,0	0,0	0,0	7,7	5,7	0,0	0,5
Área urbana	0,0	4,3	20,9	35,9	49,7	104,9	122,4

Tabela 5: Área em porcentagem das classes de uso e ocupação do solo ao longo da série histórica para a unidade hidrográfica do Riacho Fundo - DF

Classe	1954	1964	1973	1984	1994	1998	2009
Cerrado	37,0	32,9	29,8	25,9	11,1	3,8	4,7
Campo	46,6	51,6	46,4	28,4	19,9	15,4	9,7
Mata de Galeria	16,4	11,5	10,6	10,9	12,1	9,3	7,9
Corpos d'água	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Agricultura	0,0	0,3	1,8	2,4	29,7	22,2	20,5
Solo exposto	0,0	1,7	1,8	12,2	1,7	1,2	0,9
Reflorestamento	0,0	0,0	0,0	3,6	2,6	0,0	0,2
Área urbana	0,0	2,0	9,6	16,5	22,8	48,1	56,2

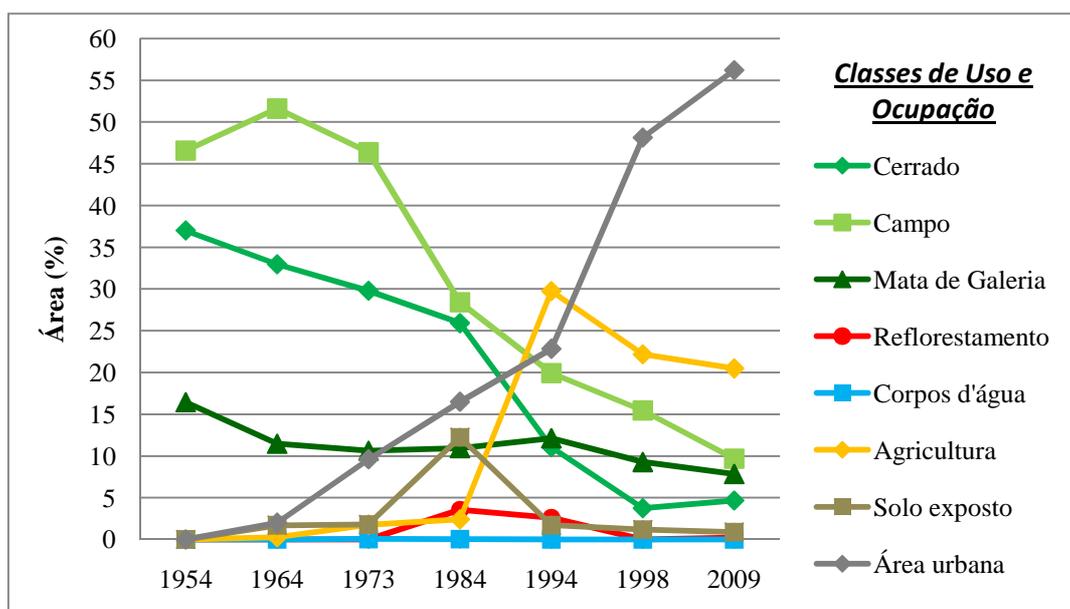


Figura 23: Análise temporal da variação em porcentagem de área das classes de uso e ocupação do solo para a unidade hidrográfica do Riacho Fundo - DF

A história evolutiva do padrão de uso e cobertura da terra da unidade hidrográfica do Riacho Fundo tem alterado o balanço hidrológico, como será visto no capítulo III, principalmente pela modificação das características hidrológicas do terreno causado pela urbanização e atividades agrícolas, o que tem elevado as condições de escoamento superficial, um dos principais fatores que desencadeiam os processos de erosão dos solos e transporte de sedimentos.

A presença de áreas urbanas com taxas elevadas de impermeabilização, “circundadas” por áreas em estágio inicial de urbanização, com vastas áreas de solo exposto gera uma conjunção de fatores que promove o aumento da produção de sedimentos e conseqüentemente o assoreamento do Lago Paranoá.

Um exemplo deste processo pode ser visto no Parque Olhos D’água, na Asa norte, onde a implantação das SQN 213 e 214 praticamente assoreou o córrego Olhos D’água em, aproximadamente, 2 (dois) anos. O córrego perdeu cerca de 2 a 5 metros de profundidade dentro do parque.

Deste modo, em uma primeira aproximação, que será detalhada nos próximos capítulos, pode-se dizer que a unidade hidrográfica do Riacho Fundo tem o maior potencial de promover o assoreamento do lago Paranoá, no ponto de vista do padrão de mudança da cobertura da terra, seguido pela unidade hidrológica do Paranoá.

Entretanto, na unidade hidrográfica do Paranoá a dispersão do excesso de chuva e dos sedimentos é concentrada na rede pluvial, como é o caso da região do Iate Clube. Em seguida, porém com uma taxa bem menor, aparecem as unidades do Gama e Bananal.

Esta última merece um destaque especial, devido ao início da construção do Noroeste, que se encontra atualmente com inúmeras áreas com solo exposto e “pilhas” de aterros desagregados prontos para ser erodidos. Destaca-se que, mesmo hoje em dia, praticamente nenhuma providência tem sido tomada para mitigar os impactos dos processos erosivos, durante a fase de implantação de sistemas urbanos.

As tabelas e os gráficos de evolução temporal de uso e ocupação do solo das unidades hidrográficas encontram-se no anexo 1.

Como síntese deste capítulo pode-se concluir que a bacia de contribuição do Lago Paranoá encontra-se próximo do seu estágio máximo de ocupação, onde, praticamente, somente as áreas de preservação permanente encontram-se em seu estágio natural (equivalente a 1954). A última tendência de evolução desta bacia é a completa

substituição das áreas de agricultura, localizada nas bordas da bacia por núcleos urbanos, isso se não houver modificações no status das unidades de conservação.

Por último, vale destacar que, embora ao longo deste estudo, as taxas de substituição temporal ou mais conhecida como matrizes de transição tenham sido calculadas e analisadas, inclusive para os estágios de urbanização, estas não foram apresentadas aqui, pois em virtude das necessidades de adequação do tema ao tempo de execução do mesmo, as mesmas deixaram de ser importantes para a análise do seu impacto, sobre a taxa de assoreamento do Lago Paranoá.

Para responder a esta pergunta, em uma primeira aproximação, basta conhecer o padrão de uso e ocupação para cada período analisado. Os estudos da dinâmica do uso da bacia estão em andamento e deverão ser apresentados como um artigo num futuro próximo.

3.1 Introdução

Segundo Fontes & Barbassa, (2003), uma das principais consequências do processo de crescimento desordenado do uso e ocupação da terra são as marcas permanentes deixadas sobre o ciclo hidrológico, principalmente, no aumento do escoamento superficial e na diminuição da infiltração de água no solo, que por sua vez, promovem alterações nas vazões máximas e mínimas dos mananciais e na produção de sedimentos. Para Pickbrenner (2005), as principais consequências decorrentes deste crescimento urbano acentuado estão associadas ao aumento do pico de vazão de cheia e a antecipação e diminuição do tempo desta vazão máxima causado pelo aumento do escoamento superficial.

O escoamento superficial é o segmento do ciclo hidrológico que estuda o deslocamento das águas na superfície da terra (Tucci, 2007). A água que dá origem ao escoamento superficial é proveniente das chuvas, e, em alguns países, do degelo da neve. Em países tropicais como o Brasil, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia, entre outros motivos, devido a sua capacidade de produzir escoamento superficial (Bertoni, 2007).

O início do processo de escoamento superficial acontece quando a taxa de precipitação supera a taxa de infiltração e retenção de água do solo. O escoamento superficial pode ser considerado como a água que circula sobre a superfície do solo, escoando para as depressões do terreno e canalículos que vão se juntando, até despejar em canais, córregos, rios e lagos. A qualidade da água desses corpos é, altamente, relacionada à quantidade do escoamento superficial e a qualidade dos sedimentos e nutrientes associados ao mesmo (Fangmeier *et al*, 2005). Quantitativamente o escoamento superficial é definido pelo histórico de vazões medido em determinada seção (Silva *et al*, 2009; Sartori, 2004; Tucci, 2007).

Portanto, quanto maior o volume e a taxa de escoamento superficial, maiores os riscos de degradação dos solos, arraste de sedimentos, alagamentos, destruição de estruturas urbanas, destruição de habitats aquáticos e redução da capacidade de armazenamento de reservatórios (Rauhoffer *et al.*, 2001; Sartori *et al*, 2005a; Maeda, 2008;)

Cabe também ressaltar que a produção de sedimentos e o assoreamento que atingem rios, lagos e reservatórios são fortemente influenciados pela erosão hídrica e

escoamento superficial das águas de chuva, bem como, pelas, características do transporte de sedimentos, no curso d'água (Carvalho *et al.*, 2000; Tucci 2007).

Diante desse fato, a simulação dinâmica do escoamento superficial pode contribuir para o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas carentes de dados de estações hidrológicas, (pluviógrafos e linígrafos) e hidrossedimentométricas sujeitas a constantes mudanças do uso e cobertura da terra, como é o caso da Bacia do lago Paranoá.

O objetivo deste capítulo é analisar a variação temporal do escoamento superficial na bacia do lago Paranoá. Com esta análise pretende-se buscar o entendimento sobre as possíveis áreas (unidades hidrográficas) de maior ocorrência de escoamento superficial, ao longo da expansão urbana na bacia e conseqüente contribuição para o carregamento de sedimentos aos tributários do lago Paranoá provocando, assim, o aporte de sedimentos, nesse corpo hídrico.

3.2 Revisão Teórica

A bacia hidrográfica é um sistema acionado por um estímulo, a precipitação, e através de diversos fenômenos do ciclo hidrológico, transforma esta precipitação em vazão (Pickbrenner, 2005). Segundo Fragoso Jr. *et al.*, (2009) é a bacia de drenagem que regula a característica de lagos e rios. Por exemplo, o tipo de vegetação e a composição do solo influenciam não apenas na quantidade de escoamento, mas na composição e a quantidade de matéria orgânica que aporta nos lagos e rios.

Dada a importância da hidrologia, conseqüentemente, do processo de escoamento em bacias para a dinâmica dos ecossistemas aquáticos, a modelagem de bacias hidrográficas é uma das áreas em franco desenvolvimento (Fragoso Jr. *et al.*, 2009). Segundo Tucci (2002), a modelagem de escoamento em bacias é considerada uma ferramenta que a ciência desenvolveu para representar e entender o comportamento da bacia hidrográfica.

Modelos hidrológicos têm sido utilizados para realizar um prognóstico dos principais efeitos da urbanização na bacia. Eventualmente, esses modelos são denominados de modelos chuva-vazão, pois muitas vezes são aplicados para simular a resposta da bacia, em termos de vazão, a partir de uma precipitação conhecida (Tucci, 2007; Pickbrenner, 2005; Fragoso Jr. *et al.*, 2009)

Existem vários modelos de chuva-vazão que se diferenciam basicamente pelos dados utilizados, pela discretização (concentrados ou distribuídos), pela representação dos processos e pelos objetivos a serem alcançados (Fragoso Jr. *et al.*, 2009)

Os dados de entrada geralmente utilizados em modelagem hidrológica, segundo Pickbrenner (2005) são: precipitação de projeto e as características da bacia, tanto ambientais (ex. solo, vegetação, topografia), como socioeconômicas (ex. população, tipos de atividades agrícolas desenvolvidas, número de indústrias), estas últimas refletindo-se na alteração do uso das terras, com consequentes impactos sobre o sistema de drenagem.

Um dos grandes problemas enfrentados no âmbito da modelagem refere-se à escassez de dados disponíveis da bacia e de metodologias mais precisas, para a determinação de parâmetros sensíveis ao modelo.

Com este propósito, técnicas de geoprocessamento têm sido, crescentemente, utilizadas no contexto do planejamento dos recursos hídricos. Sua importância, segundo Mendes & Cirilo (2001), está relacionada à necessidade de se manipular propriedades ambientais que apresentem uma grande variabilidade espacial.

A quantificação do escoamento superficial é uma tarefa complexa. Fragoso Jr. *et al.*, (2009) recomenda que os modelos de escoamento superficial das bacias de drenagem levem em consideração a análise das características fisiográficas da bacia, do tipo do solo e sua cobertura.

Para tanto, diversos métodos são utilizados para estudar o escoamento superficial. A escolha do modelo depende, principalmente, dos objetivos do seu uso, da quantidade de dados disponíveis (Tucci, 1998). Quanto mais detalhado for o modelo, mais difícil será sua aplicação, devido à necessidade de se conhecer e/ou obter resultados de estudos experimentais, e os parâmetros para sua aplicação, com certo grau de confiabilidade (Sartori *et al.*, 2005b).

Machado (2002) e Pruski, (2001) citam a existência de modelos que usam simulação contínua para modelar a produção de escoamento superficial como WEEP (*Water Erosion Prediction Project*) e CREAMS (*Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems*). Segundo os autores, esses modelos requerem uma grande quantidade de informações relacionadas ao clima, uso do solo, além de serem sensíveis a evapotranspiração e à dinâmica do solo.

Alguns modelos fornecem as vazões máximas de uma bacia hidrográfica, tais como a fórmula racional, a fórmula de Mac-Math e o método de Cook (Aquino *et al.*, 2008).

Outros permitem conhecer a distribuição e o volume total escoado superficialmente. Nesta categoria destaca-se o método do Curva Número desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo (SCS) (Mendes Filho *et al.*, 2007; Aquino *et al.*, 2008;).

Segundo Sartori *et al.* (2005a) o curva número é um dos modelos mais utilizados na prática da engenharia, com um número razoável de informações disponíveis, e que permitem considerar o tipo de solo e sua cobertura. Este método será utilizado neste trabalho.

3.2.1 Método do Curva Número (CN)

O método do Curva-Número (CN) foi desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo - SCS; atualmente chamado de Serviço de Conservação de Recursos Naturais (NRCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e sua primeira publicação data de 1954 (Gonçalves, 2007).

Segundo Zhan & Huang (2004), esse método é comumente usado para determinar a quantidade de chuva que infiltra no solo ou no aquífero e a quantidade de chuva que escoia, superficialmente, numa determinada região, em função do tipo de uso e ocupação do solo e do grupo de solos hidrológicos.

O método curva número é o método mais comum para previsão de volume de águas pluviais. Muitos modelos hidrológicos como AGNPS, EPIC, SWAT WMS utilizam o CN em sua composição, para determinar o escoamento superficial (Zhan & Huang, 2004)

A popularidade do referido método, de acordo com Gonçalves (2007), está ligada a sua simplicidade em relacionar apenas três variáveis: precipitação, umidade antecedente do solo e o chamado complexo hidrológico solo-cobertura.

O CN foi inicialmente desenvolvido para uso em áreas agrícolas, porém, segundo Sartori *et al.* (2005b), o modelo tem sido objeto de estudo, desenvolvimento e aplicação para áreas urbanas.

Esse modelo permite estimar a partir de informações do tipo, uso e umidade antecedente do solo, o número da curva de escoamento superficial (CN) e com este a parcela da precipitação que resultará em escoamento superficial ou Chuva excedente.

Uma vez conhecida a Chuva excedente, o modelo estima a distribuição e o volume do escoamento superficial de uma determinada área de drenagem, baseando-se no hidrograma unitário adimensional regionalizado, para pequenas bacias dos Estados Unidos.

Existe uma ampla bibliografia sobre experiências de sua utilização. No Brasil, muitos autores apresentam estudos sobre o modelo CN, entre eles, Machado (2002); Pickbrenner *et al.*(2005); Sartori *et al* (2005b); Mendes Filho *et al.* (2007); Ruhoff, (2007); Gonçalves (2007); Ferreira *et al.*(2007); Aquino *et al.* (2008); Beskow *et al.* (2009); Silva *et al* (2009).

Estes autores citam como uma das principais vantagens deste método a existência de um parâmetro único, o CN. As principais desvantagens referem-se à desconsideração da percolação e da recuperação da capacidade de infiltração dos solos. Outro ponto sensível deste modelo é definição das perdas iniciais.

3.2.1.1 - Modelo Matemático

É um modelo empírico que permite estimar o volume e a distribuição do escoamento superficial. Existem dois módulos básicos na estrutura desse método: 1ª Separação do escoamento; 2ª propagação do escoamento. Neste trabalho será aplicado apenas o primeiro módulo.

Nesse modelo, o primeiro ponto importante é o cálculo das perdas iniciais (I_a), que se refere à altura de chuva precipitada, até o início da formação do escoamento superficial. Essas perdas são constituídas por três parcelas: interceptação, retenção em depressões e infiltração, até a saturação da camada superficial do solo. Em função dessas três variáveis, raramente, serem conhecidas, o SCS propôs a seguinte relação linear entre as variáveis S e I_a :

$$I_a = \lambda S \quad (3.1)$$

Sendo S a capacidade de retenção máxima de água dos solos e λ uma constante de proporcionalidade da abstração inicial em relação à capacidade de retenção máxima de água dos solos.

De acordo com Pruski *et al.* (2003) e Sartori (2004), o SCS analisando o comportamento do escoamento superficial das bacias hidrográficas estudadas nos Estados Unidos, verificaram que 50 % dos pares de valores encontraram λ variando de

0,095 a 0,38. Citam, também, que valores variando de $0 > \lambda > 0,3$ têm sido documentados em diversos estudos realizados para vários locais dos Estados Unidos.

Assim, foi possível ao SCS considerar o λ como uma constante de 0,2 expresso na equação 3.2.

$$Ia = 0.2S \quad (3.2)$$

Segundo Sartori (2004) conforme os princípios adotados pelo SCS, não existe precipitação efetiva até que as perdas iniciais sejam integralmente satisfeitas, pois toda a chuva é retida por, pelo menos, um dos três parâmetros acima citados. Isso quer dizer que, a ocorrência de escoamento superficial está condicionada a:

$$P > Ia \quad (3.3)$$

Sendo P a precipitação ocorrida desde o início e Ia as perdas iniciais.

Portanto, a separação do escoamento é obtida por meio das seguintes equações, respeitando-se suas respectivas condições:

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{P-Ia+S} \quad \text{para } P > 0,2S \quad (3.4)$$

Sendo Q o volume do escoamento superficial ou chuva excedente (mm), P a precipitação (mm) e S a capacidade máxima de retenção de água dos solos.

Substituindo a equação 3.2 na equação 3.4 temos:

$$Q = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S} \quad \text{para } Ia > 0.2S \quad (3.5)$$

Para o cálculo do escoamento direto Q a

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Para P em milímetros} \quad (3.6)$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad \text{Para P em polegadas} \quad (3.7)$$

Resolvendo a equação 3.6 para CN tem-se:

$$CN = \frac{25400}{254+S} \quad (3.8)$$

Resolvendo a equação 3.7 para CN tem-se:

$$CN = \frac{1000}{10+S} \quad (3.9)$$

Para ambas as equações CN é adimensional.

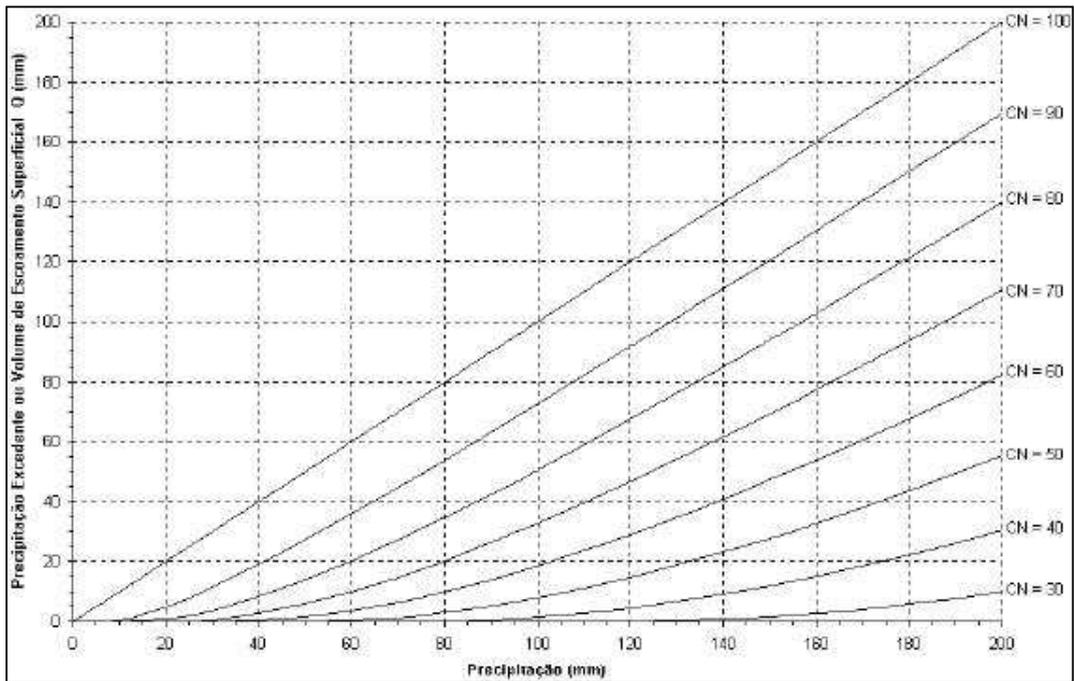


Figura 24: Gráfico para obtenção do volume de escoamento superficial em função da precipitação e do CN de escoamento superficial ($I_a = 0,2S$ e Condição II de umidade antecedente). Fonte: Sartori, 2004.

Segundo Tucci (1998), os valores de CN

O CN representa uma curva média de

A partir das curvas (Figura 24) os valores de

A condição de umidade antecedente foi

O modelo do SCS considera três condições

Tabela 6: Condição antecedente de umidade do solo.

Condição I	Condição em que os solos de uma bacia
Condição	É o caso em que os solos
Condição	Condição em que os solos se

Fonte: Machado, (2002); Sartori, (2004).

3.2.2 Classificação Hidrológica dos Solos

Uma classificação consiste em agrupar objetos

Nesse contexto o SCS desenvolveu uma

Tabela 7: Classificação hidrológica dos solos estabelecida pelo SCS

Grupo	Característica Hidrológica
A	Compreende os solos com baixo potencial de
B	Compreende os solos contendo moderada
C	Compreende os solos contendo baixa taxa de
D	Compreende os solos que possuem alto

Fonte: Sartori, (2004).

O SCS formou os grupos hidrológicos do
 Porém, observa-se que na definição dos grupos
 Segundo Sartori *et al.* (2005a), esse fato

Alguns estudos demonstram a diferença de
 Bertolani e Vieira (2001) estudando a

Pott (2001) determinou a taxa mínima de

De acordo com Sartori *et al.* (2005a) a

Utilizando a metodologia do SCS, Lombardi

Essa classificação traz a definição de cada

Essa classificação é mais criteriosa e fornece

Tabela 8: Grupamento de solos segundo suas qualidades, características e resistência à erosão

Grupo	Grupo	Principais Características					Índice
		Profundidade	Permeabilidade	Textura	Razão	Grandes	
A	Alto	Muito	Rápida/rápida Moderada/rápida	Média/média Muito argilosa Argilosa/argilosa	< 1,2	LR, LE, LVr, LVt, LH, LEa, e LVa	1,25
B	Moderado	Profundo (1 a	Rápida/rápida Rápida/moderada Moderada/moderada	Arenosa/arenosa Arenosa/média Arenosa/argilosa Média/argilosa Argilosa/muito	1,2 a	LJ, LVP, PVL, Pln, TE, PVls, RPV, RLV, LEa(3), e LVa(3)	1,1
C	Baixo	Profundo (1 a	Lenta/rápida Lenta/moderada Rápida/moderada	Arenosa/média ⁽²⁾ Média/ argilosa ⁽²⁾ Arenosa/ argilosa Arenosa/muito	> 1,5	Pml, PVp, PVls, Pc e	0,9
D	Muito	Moderadamente	Rápida,	Muito variável	Muito	Li-b, Li- gr, Li-fi, e PVp (rasos)	0,75

Fonte: Lombardi Neto *et al.*, 1989

⁽¹⁾ Média da porcentagem de argila do horizonte B sobre média da porcentagem de

⁽²⁾ Somente com mudança textural abrupta entre os horizontes A e B.

⁽³⁾ Somente aqueles com horizonte A arenoso.

⁽⁴⁾ Legenda segundo Brasil (1960).

Sartori *et al.* (2005a), considera a classificação

Tabela 9: Classificação Hidrológica dos solos para as condições brasileiras

Grupo	Características Principais
A	<ul style="list-style-type: none"> • Solos muito profundos (prof. > 200 cm) ou profundos (100 a 200 cm). Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão; • Solos porosos com baixo gradiente textural (< 1,20). Solos de textura média; • Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo o perfil; • Solos bem drenados ou excessivamente drenados; • Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1; • A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: média/média, argilosa/ argilosa e muito argilosa/muito argilosa.
B	<ul style="list-style-type: none"> • Solos profundos (100 a 200 cm). Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão; • Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50; • Solos de textura arenosa ao longo do perfil ou de textura média com horizonte superficial arenoso; • Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macroporosidade em todo o perfil; • Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1; • A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/arenosa, arenosa/ média, média/argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa.
C	<ul style="list-style-type: none"> • Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm). Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão; • São solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta; • Solos associados a argila de atividade baixa (Tb); • A textura nos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/média e média/ argilosa apresentando mudança textural abrupta; arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.
D	<ul style="list-style-type: none"> • Solos rasos (prof. < 50 cm); Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão; • Solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1; • Solos argilosos associados à argila de atividade alta (Ta); • Solos orgânicos.

Fonte: adaptado de Sartori, 2004.

3.2.3 Complexo Hidrológico Solo

A associação dos Grupos Hidrológicos de

Os valores de CN para as diversas condições

Como já foi dito, todos esses fatores têm

A identificação deste complexo permite
Após a tabulação do CN pelo SCS, muitos

Tabela 10: Valores dos parâmetros CN para bacias rurais proposto por Setzer & Porto (1979)

Cobertura vegetal ou	Condição	Situação	Grupo			
			A	B	C	D
Solo Arado ou	SR	Boa	65	80	88	92
	SR	Boa	65	78	86	90
Cultivos de ciclo	SR	Má	60	72	81	87
	SR	Boa	52	66	75	82
	C	Má	56	65	78	84
	C	Boa	48	60	72	78
	C-T	Má	52	62	74	80
	C-T	Boa	45	55	67	75
Cultivos de ciclo	SR	Má	58	65	73	82
	SR	Boa	54	62	70	79
	C	Má	55	64	72	78
	C	Boa	50	60	67	75
	T	Má	52	62	70	77
	T	Boa	48	55	65	73
Semeadura densa ou a	SR	Má	56	64	72	80
	SR	Boa	50	58	66	76
	C	Má	54	60	69	76
	C	Boa	48	56	64	72
	T	Má	50	58	65	75
	T	Boa	45	52	60	70
Pastagem velha com		Má	65	70	78	85
		Boa	60	66	75	82
		Má	56	62	72	79
	C	Boa	55	62	70	78
	C	Má	42	59	67	75
	C	Boa	50	56	64	72
Reflorestamento	SR	Má	35	50	62	74
	SR	Boa	30	42	55	68
	C	Má	30	45	57	69
	C	Boa	25	36	52	64
Mata Capoeira		Má	32	40	55	67
		Boa	18	25	42	58

Gramados tratados	Má	65	72	78	84
	Boa	59	67	74	81
Estradas de terra	Má	80	85	90	93
	Boa	74	80	86	90

Notas: SR=sulcos retos; T =terraceamento; C=cultivo
Fonte: Setzer & Porto (1979) apud Machado, (2002).

Tabela 11: Valores dos parâmetros CN para bacias hidrográficas urbanas

Descrição da cobertura Vegetal		CN para os			
Tipo de cobertura e	Área	A	B	C	D
1 ÁREAS URBANAS DESENVOLVIDAS					
1.1. Espaço aberto (gramados, parques, campos de golfe, cemitérios, etc.):					
Condição ruim (cobertura		68	79	86	89
Condição média (cobertura		49	69	79	84
Condição boa (cobertura com		39	61	74	80
1.2. Áreas Impermeáveis:					
Lotes de estacionamentos		98	98	98	98
1.3. Ruas e rodovias:					
Pavimentadas com calçadas,		98	98	98	98
Pavimentadas com abertura de		83	89	92	93
Pedregulhadas		76	85	89	91
De terra		72	82	87	89
1.4. Áreas urbanas no deserto (meio oeste					
Paisagem natural do deserto		63	77	85	88
Paisagem artificial do deserto		96	96	96	96
1.5. Zonas urbanas:					
Comerciais e escritórios	85%	89	92	94	95
Industriais	72%	81	88	91	93
Residenciais pela média do tamanho dos lotes:					
500 m ² ou menor	65%	77	85	90	92
1000 m ²	38%	61	75	83	87
1300 m ²	30%	57	72	81	86
2000m ²	25%	54	70	80	85
4000m ²	20%	51	68	79	84
8000m ²	12%	46	65	77	82
2 ÁREAS URBANAS EM DESENVOLVIMENTO					
Áreas mudadas		77	86	91	94

Fonte: Rawls *et al* 1996 *apud* Sartori, 2004.

Conforme mencionado, o Número da Curva

3.3 Etapas e Métodos

Com base na metodologia estabelecida para a

1. Readaptação do mapa de uso e ocupação para as áreas urbanas;
2. Construção do Mapa de solos hidrológicos;
3. Adaptação da tabela do complexo hidrológico solo e cobertura para definir os valores de CN;
4. Tratamento estatístico dos dados de precipitação da série histórica das estações instaladas dentro do limite da bacia;
5. Criação do mapa de complexos hidrológicos (solo x uso) associado ao CN tabulado;
6. Cálculo do CN médio ponderado e do escoamento superficial para as unidades hidrográficas;
7. Cálculo do escoamento superficial médio ponderado para cada unidade hidrográfica;
8. Análise da variabilidade espacial do escoamento superficial no período entre 1953 e 2009.

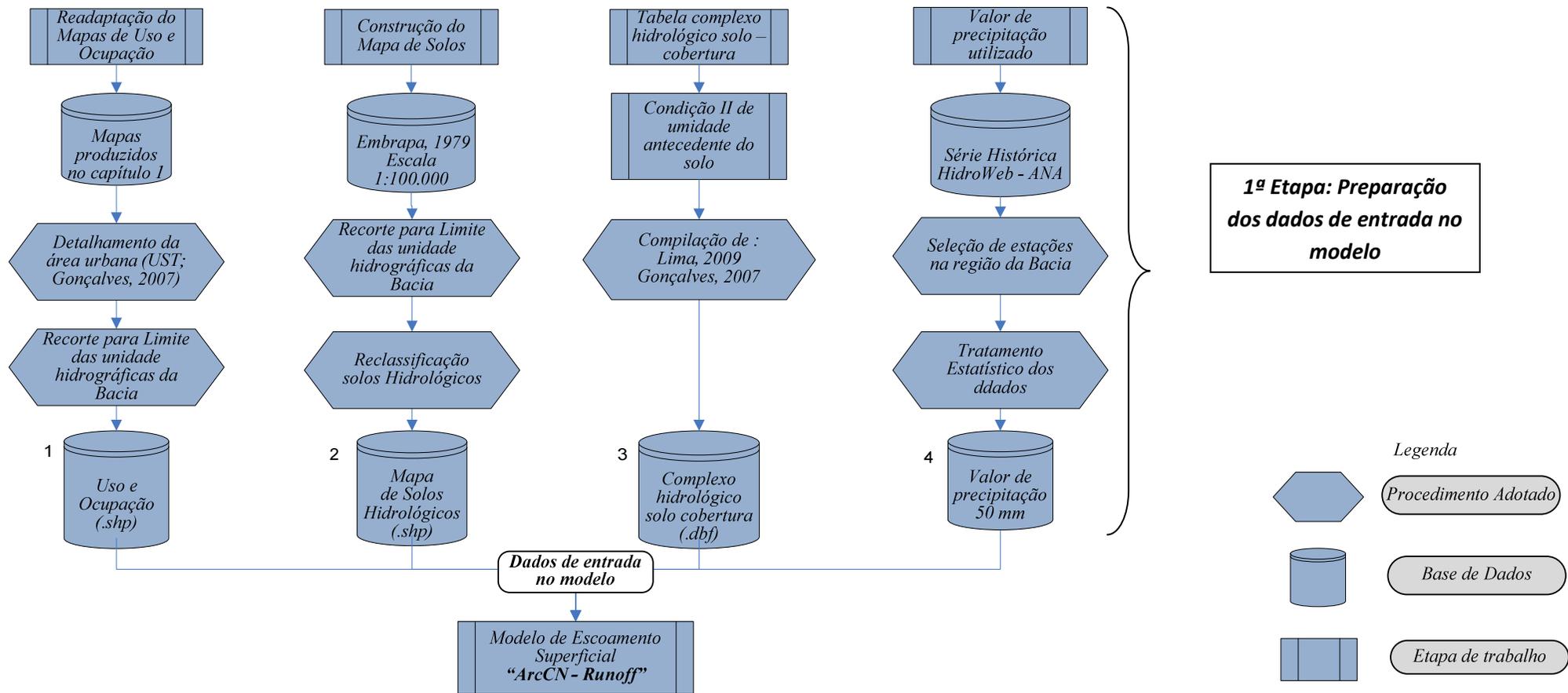


Figura 25: Fluxograma das etapas de trabalho da análise variação de escoamento superficial na bacia do Lago Paranoá

3.3.1 Readaptação dos mapas de uso e

Os mapas gerados, no capítulo 2, tiveram o
Como o objetivo deste capítulo é relacionar o

As áreas urbanas, na região da bacia do lago
Com base no exposto, os mapas foram

A definição das classes de área urbana foi
Segundo Banzhaf & Höfer, 2008, para se obter

Para se alcançar o nível de hierarquização

No entanto, para a maioria das datas da série

Tabela 12: resolução espacial das imagens utilizadas para construção dos mapas de uso e ocupação.

<i>Dados de uso e</i>	<i>Sensor</i>	<i>Escala/</i>
1954	Foto aérea	Escala 1:50.000
1964	Foto aérea	Escala 1:60.000
1973	Landsat	80 metros
1984	Landsat	30 metros
1998	Landsat	30 metros
2009	AVNIR	10 metros

Desta forma, a readaptação das classes de

Assim, a legenda da classe “área urbana”

Esse nível de detalhamento levou em

As características de resolução espacial e

A primeira classe, definida com a

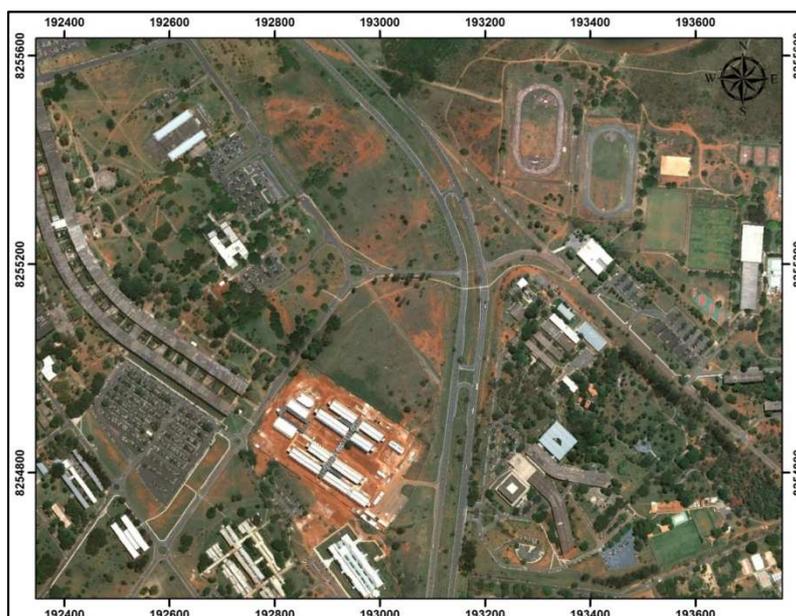


Figura 26: Área urbana 1 - < 40% de área impermeável. (Imagem extraída do Google Earth e georreferenciada para SICAD). Região do Plano Piloto, mostrando a Universidade de Brasília

A classe área urbana 2, representa as áreas



Figura 27: Área Urbana 2 - 40 a 70% de área impermeável. (Imagem extraída do Google Earth e georreferenciada para SICAD). Região do lago Norte

A classe denominada como área urbana 3,

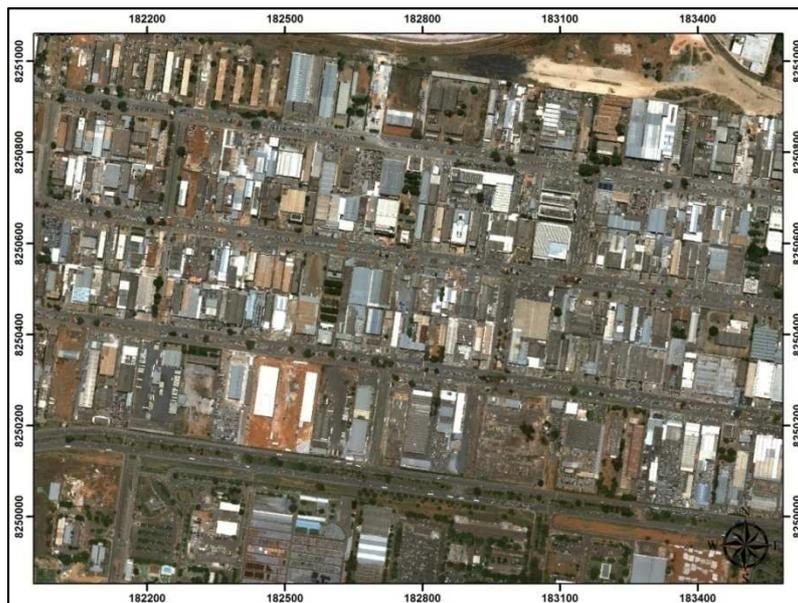


Figura 28: Área urbana 3 - > 70% de área impermeável. (Imagem extraída do Google Earth e georreferenciada para SICAD) Guará

Em virtude do nível de detalhamento

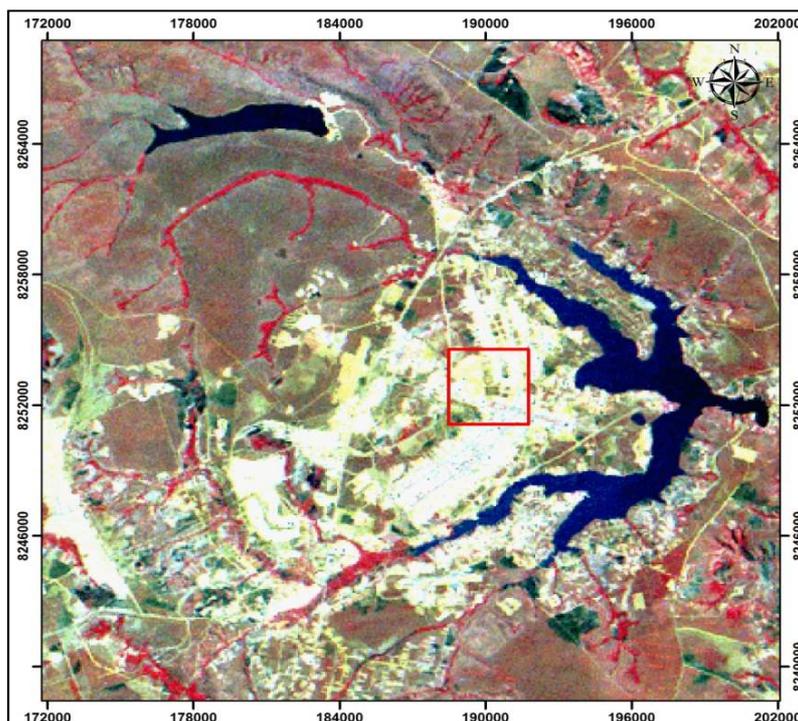


Figura 29: Imagem Landsat 1 sensor MSS ano de 1973.

Em destaque na imagem está a região do
 Para uma análise neste nível de detalhe, para a
 Os mapas utilizados nesta etapa foram os

3.3.2 Construção do Mapa de Solos

O mapa de solos utilizado neste trabalho foi
 A denominação dos tipos de solo foi
 A classificação hidrológica dos solos do DF
 A tabela 13 mostra a classificação

Tabela 13: Enquadramento das classes de solo do Distrito Federal nos grupos hidrológicos.

Grupo	Classe de Solo da Bacia
A	Latossolo Vermelho (LV);
B	Nitossolo Vermelho (NV)
C	Plintossolo Pétrico (FF)
D	Gleissolo Háplico (GX);

Fonte: Gonçalves, (2007)

3.3.3 – Complexo Hidrológico Solo –

O complexo hidrológico nada mais é do que
 A tabela 14 apresenta o complexo

Tabela 14: Complexo Hidrológico Solo – Cobertura da Terra adaptado para a Bacia do Lago Paranoá

<i>Classes de Uso e Cobertura</i>	<i>Grupo de Solos</i>
-----------------------------------	-----------------------

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Mata de Galeria	20	40	49	52
Cerrado	30	48	65	73
Campo	39	61	74	80
Reflorestamento	25	36	52	64
Agricultura	63	74	81	85
Solo exposto	77	86	91	94
Área urbana 1 (< 40% área	64	75	83	87
Área urbana 2 (40% - 70%	68	79	86	89
Área urbana 3 (> 70% área	89	92	94	95
Copos d'água	0	0	0	0

Fonte: Lima, 2009.

Lima (2009) realizou uma comparação entre

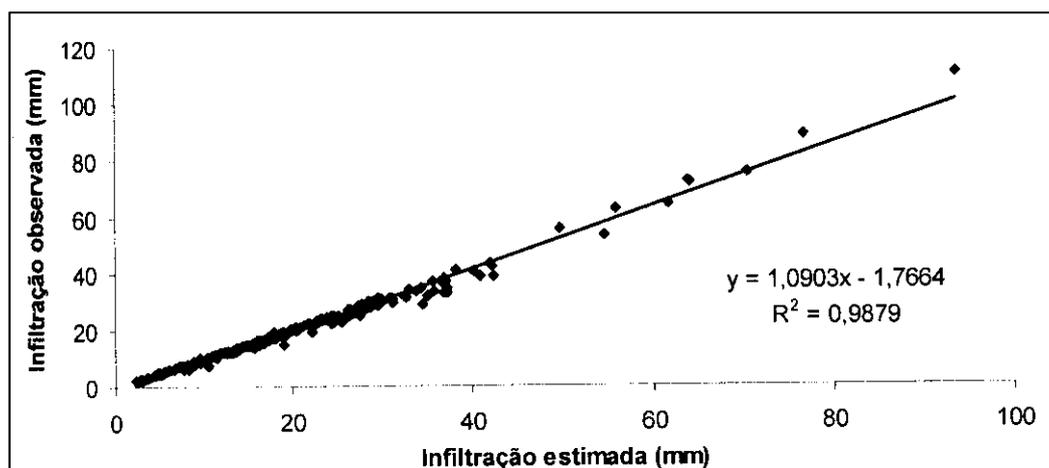


Figura 30: Equação e r^2 da regressão linear com o uso da ferramenta ArcCN-Runoff na estimativa de infiltração.

3.3.4 – Dados de precipitação

Como o objetivo deste trabalho é realizar um

Para tanto, foi escolhida a estação que

Foram utilizados os dados da série histórica

Para isso, foi utilizada a média dos valores de

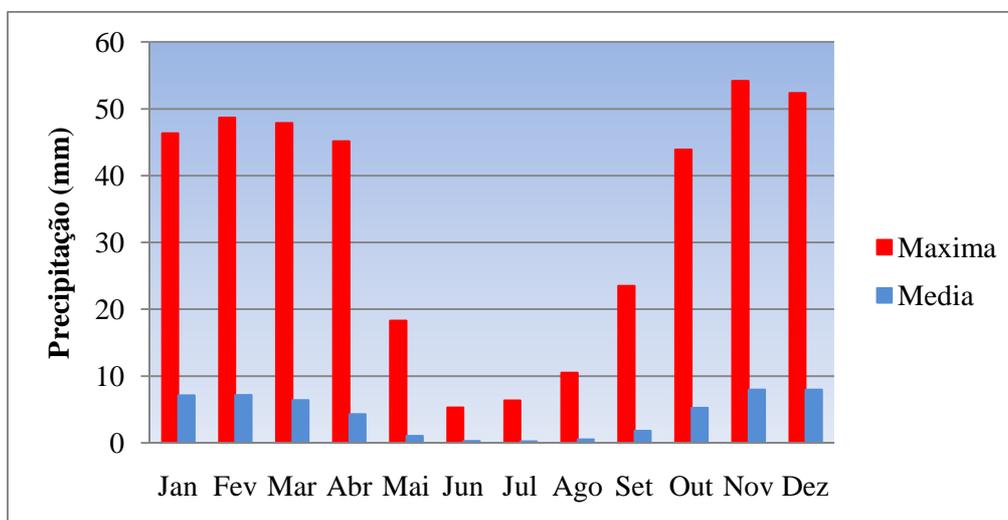


Figura 31: O valor determinado para simular a variação do escoamento superficial foi de 50 milímetros de chuva.

3.3.5 – Cálculo do Escoamento Superficial

Para o cálculo do escoamento superficial

Posteriormente, foi obtido o escoamento superficial

3.3.5.1 - CN médio ponderado

O modelo de escoamento superficial foi

A análise de variação de escoamento

$$CNp = \frac{CN \times \text{Área} (\%)}{100} \quad (3.10)$$

O valor de CN ponderado para cada unidade Hidrográfica é dado por

$$CNp \text{ por unidade Hidrográfica} = \sum CNp \quad (3.11)$$

Tabela 15: Valores de CN ponderado para Unidade Hidrográfica do Riacho Fundo no ano de 2009.

CN	Área (Km ²)	Área (%)	CN ponderado (CNp)
20	10,471	4,806	1
25	0,337	0,155	0
30	9,063	4,160	1
39	10,800	4,957	2
40	0,272	0,125	0
49	0,044	0,020	0
52	7,325	3,362	2
61	0,376	0,173	0
63	38,012	17,446	11
64	20,908	9,596	6
65	0,382	0,175	0
68	14,357	6,589	4
73	0,751	0,345	0
74	0,402	0,185	0
77	1,089	0,500	0
80	10,529	4,832	4
83	0,269	0,123	0
85	8,278	3,799	3
87	0,894	0,410	0
89	68,369	31,379	28
94	1,016	0,466	0
95	17,532	8,047	8
CN Ponderado			72

3.3.5.2 Escoamento Superficial Ponderado (ArcCN Runoff).

O fluxo de trabalho do modelo matemático utilizado pela ferramenta *ArcCN-Runoff*, do ArcGis 9.3, para o cálculo do escoamento superficial pode ser explicado pelas etapas descritas a seguir e organizadas sequencialmente no fluxograma da figura 32.

1. Interseção dos mapas de uso e ocupação e de solos.
2. Relacionamento de tabelas para definir os valores de CN que ocorrem nas unidades hidrográficas, que constituem a bacia do lago.
3. Cálculo da Variável S – capacidade máxima de retenção de água no solo.
4. Espacialização do Escoamento Superficial para cada complexo hidrológico usando um evento de precipitação determinado (50 mm).
5. Determinação do Escoamento Superficial ponderado para cada Unidade hidrológica.

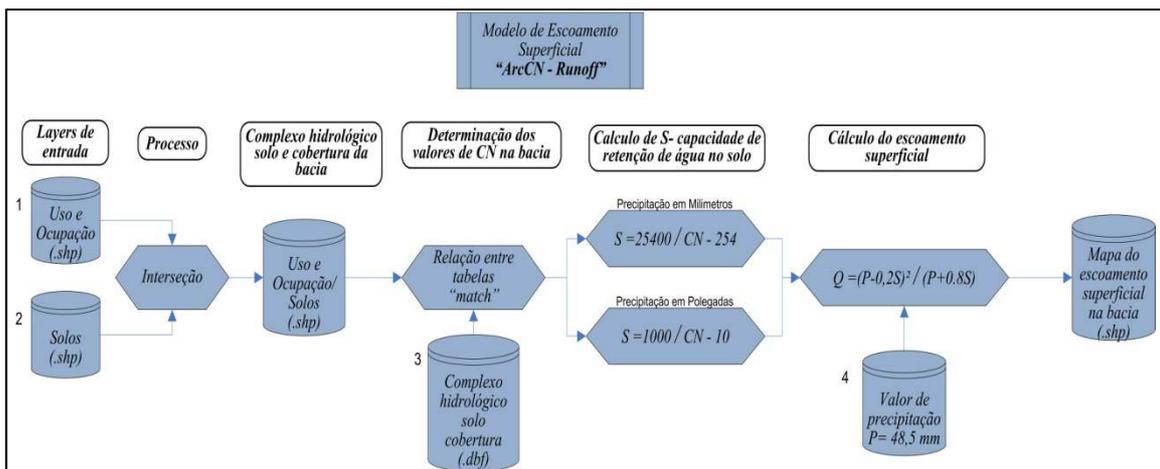


Figura 32: Fluxograma da seqüência de trabalho da ferramenta ArcCN runoff para cálculo de escoamento superficial.

Na primeira etapa, o modelo calcula a interseção do mapa de solos hidrológicos com o mapa de uso e ocupação da bacia. Com isso ficam definidos espacialmente quais são os complexos hidrológicos que ocorrem na bacia, ou seja, quais são as combinações possíveis entre solos hidrológicos, e uso e cobertura do solo.

A seguir é definido o valor de CN por meio de um relacionamento do vetor do mapa da interseção, com uma tabela disponibilizada pelo aplicativo que contém os valores de CN para diferentes complexo hidrológicos. Essa tabela do aplicativo foi editada com os tipos de uso e cobertura da terra do DF e seus respectivos valores de CN.

Com os valores de CN definidos, o aplicativo calcula a capacidade de retenção de água no solo S. Esta é a última variável necessária para o cálculo do escoamento

superficial, com base em um valor de precipitação. Cabe ressaltar que esse valor de precipitação deve ser informado em polegadas, pois o aplicativo utiliza a fórmula para o cálculo de S em polegadas. Esta conversão para milímetros deve ser feita manualmente (pós-processamento) pelo usuário. Como resultado, o usuário obtém o mapa com a espacialização dos valores de escoamento superficial, para o evento de precipitação, analisado ao longo da bacia, para cada ano da série histórica, por complexo hidrológico.

Toda a parte matemática do modelo foi calculada manualmente para verificar se os resultados estão sendo calculados corretamente pela ferramenta automatizada.

$$ESp = \frac{ES \times \text{Área} (\%)}{100} \quad (3.12)$$

O valor de CN ponderado para cada unidade

$$\text{Esp por unidade Hidrográfica} = \sum ESp \quad (3.13)$$

3.3.6 – Análise da Variação Temporal do Escoamento Superficial

Como mencionado anteriormente, o modelo de escoamento superficial foi rodado independentemente para todas as datas citadas no item 3.3.1. Os demais parâmetros, precipitação e o mapa de solos, foram mantidos constantes, sendo alterados apenas os mapas de uso e ocupação em função das datas.

Deste modo, a variação do escoamento superficial foi feita com base na comparação dos resultados simulados, de acordo com a seguinte equação:

$$dES = \left(\frac{ES_{II} - ES_I}{ES_I} \right) \times 100 \quad (3.14)$$

Onde:

- dES: Diferença percentual do escoamento superficial;
- ES_{II}: escoamento superficial para um ΔT2 (período mais recente)
- ES_I: escoamento superficial para um ΔT1 (período antecedente)

Este tipo de análise permite definir quantos por cento o escoamento aumentou ou diminuiu na bacia de uma época, em relação à outra. Outro ponto importante é que, este procedimento permite identificar as regiões onde anteriormente uma determinada “intensidade de precipitação” não promovia chuva-excedente, porém devido à mudança do padrão de uso, num determinado período de tempo (ΔT), passou a existir excedente

de precipitação, ou seja, escoamento superficial. Com este modelo é possível espacializar as mudanças do nível de escoamento superficial ao longo do tempo.

3.4 – Resultados

Os itens a seguir apresentam os resultados dos dados construídos nesse capítulo, os quais são: Uso e Ocupação, Mapa de Solos hidrológicos, Mapas do escoamento Superficial e Análise de variação do escoamento superficial.

3.4.1 - Mapas de Uso e Ocupação

A figura 33 apresenta os mapas de uso e ocupação com a classificação proposta na etapa 3.3.1 para os anos de 1954, 1964, 1984, 1998 e 2009.

Como foi definido no capítulo 2, as Unidades Hidrográficas do Riacho Fundo e do Lago Paranoá possuem a maior área urbanizada. Porém, os mapas gerados no referido capítulo, não permitem analisar a situação de impermeabilização do solo nessas unidades hidrográficas, as quais foram discriminadas neste item (figura 33 e tabela 16).

Na unidade hidrográfica do Lago Paranoá as áreas de impermeabilização ocorrem em menor expressão e em lugares onde não existem redes de drenagem, sendo esse escoamento canalizado, basicamente, por redes pluviais.

Analisando o mapa do ano de 2009 é possível identificar uma maior concentração de área com impermeabilização > 70% do solo na região hidrográfica do Riacho Fundo, onde praticamente toda a precipitação excedente escoou pela superfície da bacia, em direção à rede de drenagem, diferentemente, da unidade hidrográfica do Lago Paranoá.

Estas regiões se encontram próximas às redes de drenagem que abastecem o lago, de modo a tornar esta situação bastante crítica, visto que atualmente 37% da área da bacia encontra-se com um nível de mais 70% de área impermeável, circundando os afluentes do córrego Vicente Pires (tabela 16 e gráfico da figura 34).

Tabela 16: Evolução das classes de nível de impermeabilização do solo na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá

Classes de Impermeabilização de áreas urbanas	1954	1964	1984	1998	2009
Área Urbana 1 (<40% área impermeável)	0	2	6	7	10
Área Urbana 2 (40 a 70% área impermeável)	0	0	5	22	9
Área Urbana 3 (> 70% área impermeável)	0	0	5	19	37

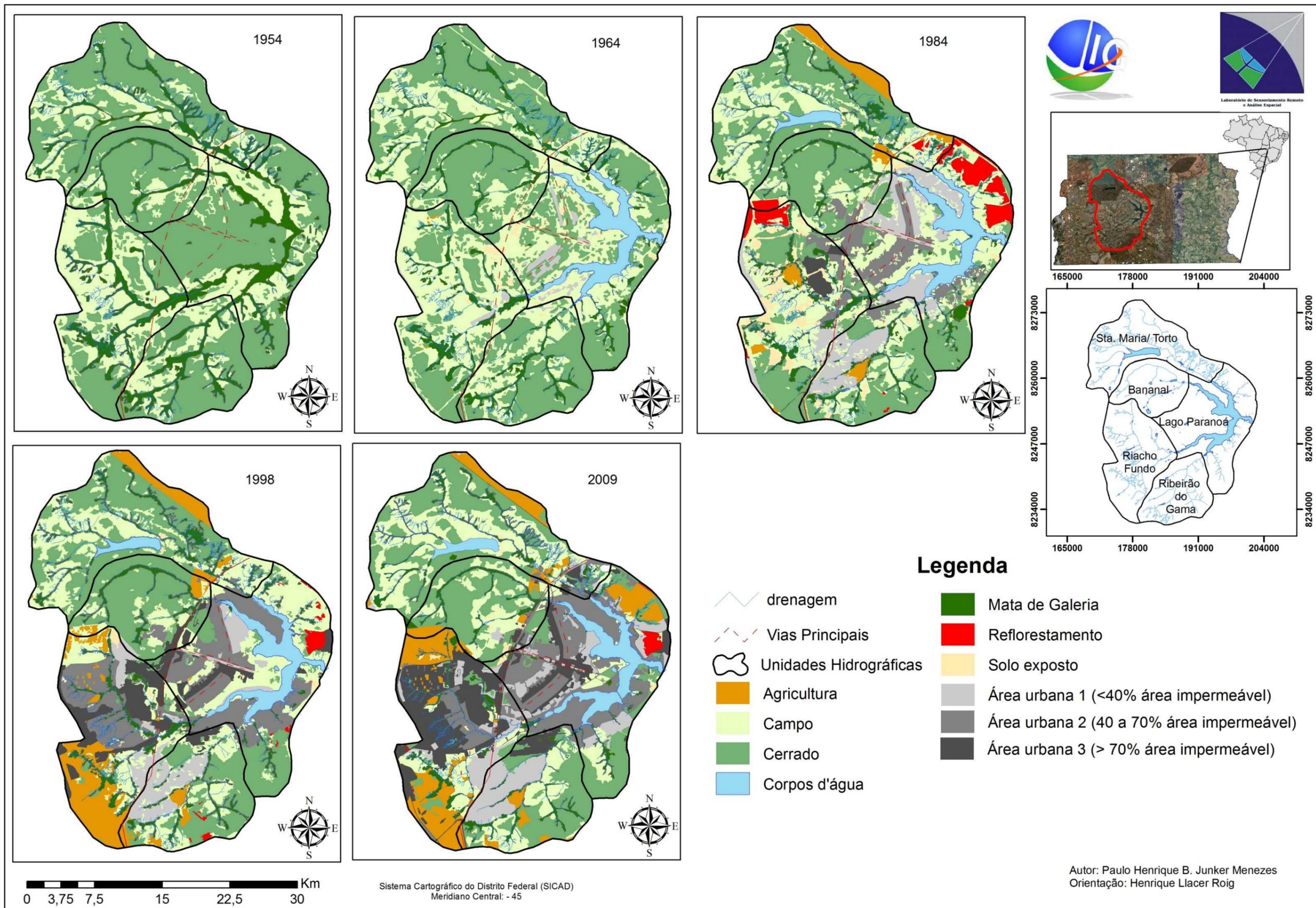


Figura 33: Mapas de Uso e Ocupação do Solo reclassificados para análise de Escoamento Superficial

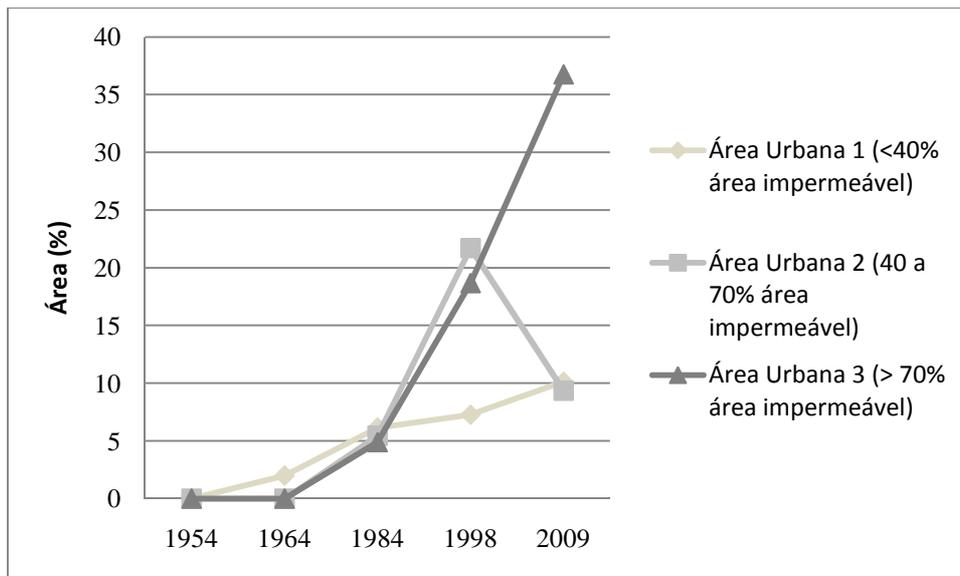


Figura 34: evolução das classes de impermeabilização de áreas urbanas para unidade hidrográfica do Riacho Fundo

Com base no gráfico da figura 34, pode-se perceber a intensidade de crescimento da classe, com maior nível de impermeabilização (> 70%). A partir de 1984 até 1998 a unidade hidrográfica do Riacho Fundo passa por intenso processo de crescimento urbano e de adensamento das áreas urbanas. A partir de 1998, observa-se uma substituição das áreas urbanas de classe dois, pelas áreas urbanas de classe 3, caracterizando o período com a maior taxa de adensamento da urbanização nessa unidade hidrográfica.

Esse fato mostra que essa unidade hidrográfica passou por um intenso processo de urbanização e de adensamento demográfico, o que pode ter contribuído muito para o aporte de sedimentos nos cursos d'água. Isto porque a fase de urbanização e de adensamento sempre apresenta regiões com grandes quantidades de solo exposto, durante o período de obras. Com isso, em um evento de precipitação que provoque escoamento superficial o solo pode ser facilmente desprendido com o impacto das gotas de chuva e transportado para os corpos hídricos tributários do lago, contribuindo para o assoreamento do reservatório, como mostram as fotos da figura 35.



Figura 35: escoamento superficial em áreas impermeáveis na unidade hidrográfica do Lago Paranoá.

3.4.2 – Mapa de solos Hidrológicos

Na bacia predominam os solos com alta taxa de infiltração, grupo A. Estes ocupam cerca de 70% da área da bacia. Os solos com baixa e moderada taxa de infiltração, grupos B e C respectivamente, tem uma representação pouco expressiva na bacia, somando aproximadamente 1% da área. Os solos com taxa de infiltração muito baixa, grupo D, ocupam aproximadamente 25% da área da bacia, figura 36.

Apesar de não ocuparem a maior parte da bacia, analisando o mapa da figura 36, pode se observar uma forte proximidade dos solos do grupo D com as redes de drenagem, ou seja, em áreas de declividade mais acentuada. Portanto, os valores de escoamento superficial próximo às redes de drenagem, têm uma forte tendência de serem altos, dependendo do padrão de uso e ocupação desse solo. Isso pode contribuir, fortemente, para o aporte de sedimentos nos tributários do Lago Paranoá.

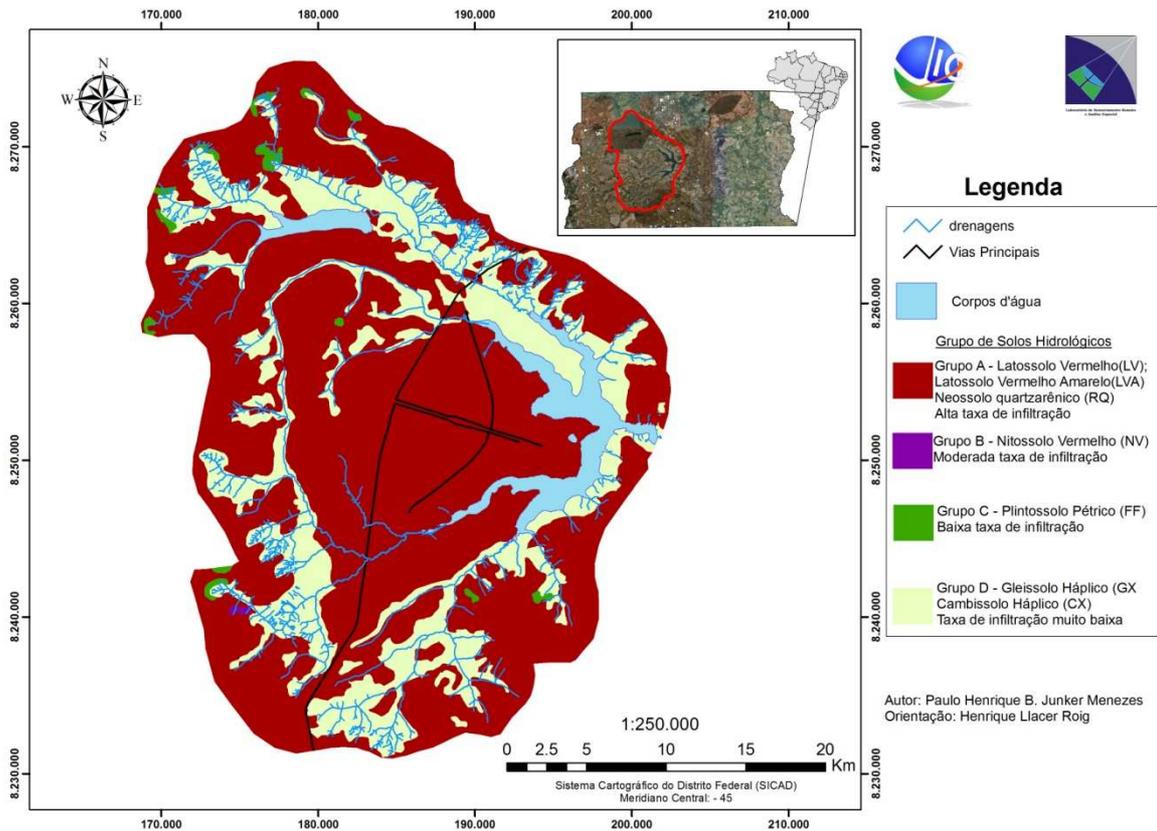


Figura 36: Mapas de Grupos Hidrológicos de Solos da Bacia do Lago Paranoá.

3.4.3 – Escoamento Superficial

Como já foi dito anteriormente, a análise do escoamento superficial foi feita sobre duas óticas. Na primeira é apresentada a variação dos valores de CN ponderados, por unidades hidrográficas e a segunda baseada no escoamento superficial e no escoamento superficial ponderado, na bacia e nas unidades hidrográficas

3.4.3.1 - Curva Número Ponderada.

Os valores de CN ponderados, por unidades hidrográficas, foram calculados de acordo com as equações 3.10 e 3.11, para todos os anos da série histórica utilizada deste capítulo. Além dos valores de CN ponderados foram calculados os valores e Ia e Q para os respectivos valores de CN ponderados. Estes valores são apresentados nas tabelas 16, 17 e 18.

Tabela 17: Valores de CN ponderado (CNp) das unidades hidrográficas ao longo da série histórica.

Unidades Hidrográficas	1954	1964	1984	1998	2009
Riacho Fundo	42	45	53	67	72
Ribeirão do Gama	44	46	53	54	56
Lago Paranoá	34	38	44	49	53
Santa Maria/Torto	43	44	47	47	49
Ribeirão do Bananal	38	39	42	43	44

Tabela 18: Valores das perdas iniciais (Ia) calculada pelo CNp para as Unidade Hidrográficas que constituem a Bacia do Lago Paranoá

Unidades Hidrográficas	1954	1964	1984	1998	2009
Riacho Fundo	70,2	62,1	45,0	25,0	19,8
Ribeirão do Gama	64,7	59,6	45,0	43,3	39,9
Lago Paranoá	98,6	82,9	64,7	52,9	45,0
Santa Maria/Torto	67,3	64,7	57,3	57,3	52,9
Ribeirão do Bananal	82,9	79,5	70,2	67,3	64,7

Tabela 19: Valores do escoamento superficial calculado pelo CNp para as Unidade Hidrográficas que constituem a Bacia do Lago Paranoá

Unidades Hidrográficas	1954	1964	1984	1998	2009
Riacho Fundo	0	0	19,5	28,9	32,2
Ribeirão do Gama	0	0	19,5	20,2	21,5
Lago Paranoá	0	0	0	0	19,5
Santa Maria/Torto	0	0	0	0	0
Ribeirão do Bananal	0	0	0	0	0

Transformando-se os valores de CNp em precipitação excedente, percebe-se que para uma chuva de 50 mm não há escoamento para nenhuma das unidades hidrográficas nos anos de 1953 e 64 e, somente na unidade do Riacho Fundo e Gama para os anos de 1984 e 1998 (células destacadas em azul na tabela). Se fosse utilizado este método, na unidade hidrográfica do Lago Paranoá, só seria gerado escoamento superficial, no ano 2009.

Analisando-se os resultados dos mapas de escoamento superficial, que serão mostrados a seguir, observa-se que ocorre excedente de chuva, mesmo em 1954 para as unidades hidrográficas do Riacho Fundo e do Ribeirão do Bananal.

Como veremos mais a frente, se o valor de CN for espacializado inicialmente para posteriormente se calcular a precipitação excedente percebe-se que há regiões com geração de escoamento superficial, em todas as unidades hidrográficas.

Outro ponto interessante é a análise da variação no tempo desses valores, o que pode estimar como que a atividade antrópica, nas unidades hidrográficas pode ter alterado as características de infiltração e escoamento superficial.

Esta análise entra em contradição com as características de tipos de solo e de padrões, uso e ocupação das unidades hidrográficas, como apresenta o gráfico da figura 37.

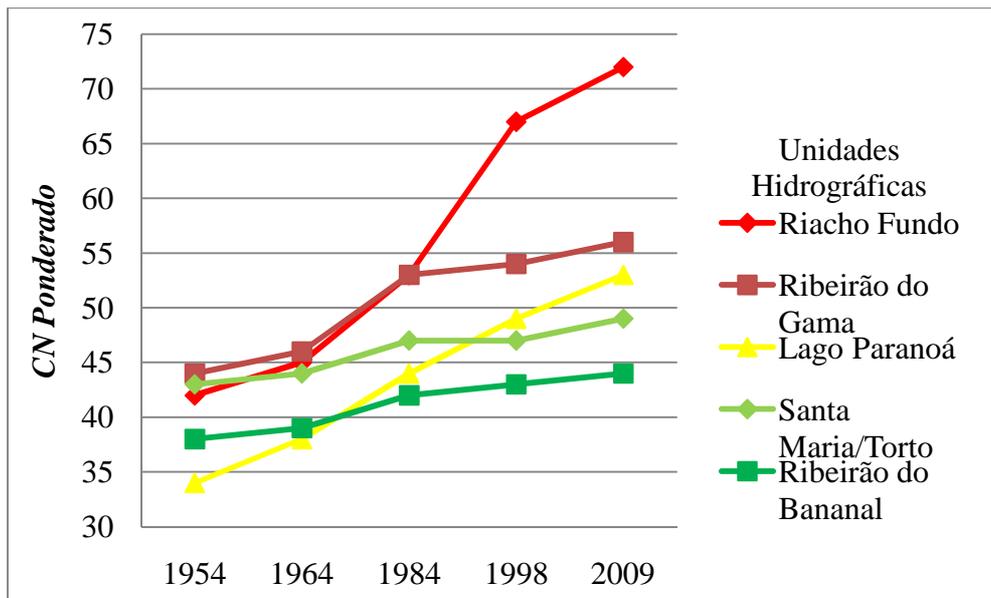


Figura 37: Análise temporal da variação dos valores de CN ponderado (CNp) nas unidades hidrográficas da Bacia do Lago Paranoá.

De acordo com o gráfico da figura 37, pode se observar que a unidade hidrográfica do Lago Paranoá, apesar de apresentar uma grande porcentagem de áreas impermeáveis, seus valores de CN médio ponderado são menores do que na unidade hidrográfica do ribeirão do Gama, onde teoricamente é uma área mais preservada. Isto ocorre porque além de ter uma área menor, o que influencia no fator de ponderação, a unidade hidrográfica do Ribeirão do Gama, apresenta uma alta concentração de solos com taxas de infiltração muito baixas o que eleva os valores de CN. Esse tipo de solo não ocorre na unidade hidrográfica do Lago Paranoá.

A unidade hidrográfica do Riacho Fundo apresenta os maiores valores de CN ponderado, e, a partir do ano de 1984, esse valor se difere muito das demais unidades hidrográficas. Este fato tem forte relação com o crescimento urbano nesta unidade hidrográfica, apresentado no capítulo 2 e com as altas taxas de solo impermeável presentes nessa unidade hidrográfica.

Como as unidades que constituem a bacia hidrográfica do Lago Paranoá apresentam um padrão de urbanização muito heterogêneo, os valores de CN médio ponderado não representam bem a variação do comportamento do escoamento superficial.

Para avaliar essa variação de comportamento do escoamento superficial foi feita uma análise dos valores de escoamento por complexo hidrológico e posteriormente dos valores do escoamento superficial ponderado.

3.4.3.2 Escoamento Superficial (*ArcCN Runoff*)

A figura 38 mostra os mapas de escoamento superficial calculados para os anos da série histórica, discriminados por complexos hidrológicos. Estão simbolizados nos mapas os valores da porcentagem da precipitação excedente para um evento simulado de precipitação igual a 50 mm.

De acordo com os mapas, pode-se observar que em todas as datas analisadas, os maiores valores de escoamento superficial estão sempre associados às regiões próximas às redes de drenagem. Esse fato ocorre devido a presença de solos com baixa taxa de infiltração nessas regiões, conforme foi apresentado no item 3.4.2.

No ano de 1954, as regiões que ocorrem escoamento superficial estão relacionadas aos solos de baixa taxa de infiltração, grupo D. Essas regiões ocorrem em sua maioria, nas unidades hidrográficas do Riacho Fundo e do Ribeirão do Gama, com valores de precipitação excedente entre 25 e 50 %.

Em 1964, com a construção de uma parte do plano piloto, aumenta a área da classe de precipitação excedente entre 1 e 25%.

A partir do ano de 1984, data na qual a urbanização começa a crescer acentuadamente, ocorre um aumento nas taxas de precipitação excedente fruto do surgimento de áreas de transição onde estão sendo construídas as áreas urbanas.

A partir do ano de 1998, as classes de precipitação excedente entre 50 e 75% começam a surgir, em virtude do adensamento das áreas urbanas e das transições de áreas de agricultura para áreas urbanas.

Os gráficos das figuras 39 e 40 e a tabela 20 apresentam a quantificação do aumento em áreas das classes de precipitação excedente, ao longo da série histórica.

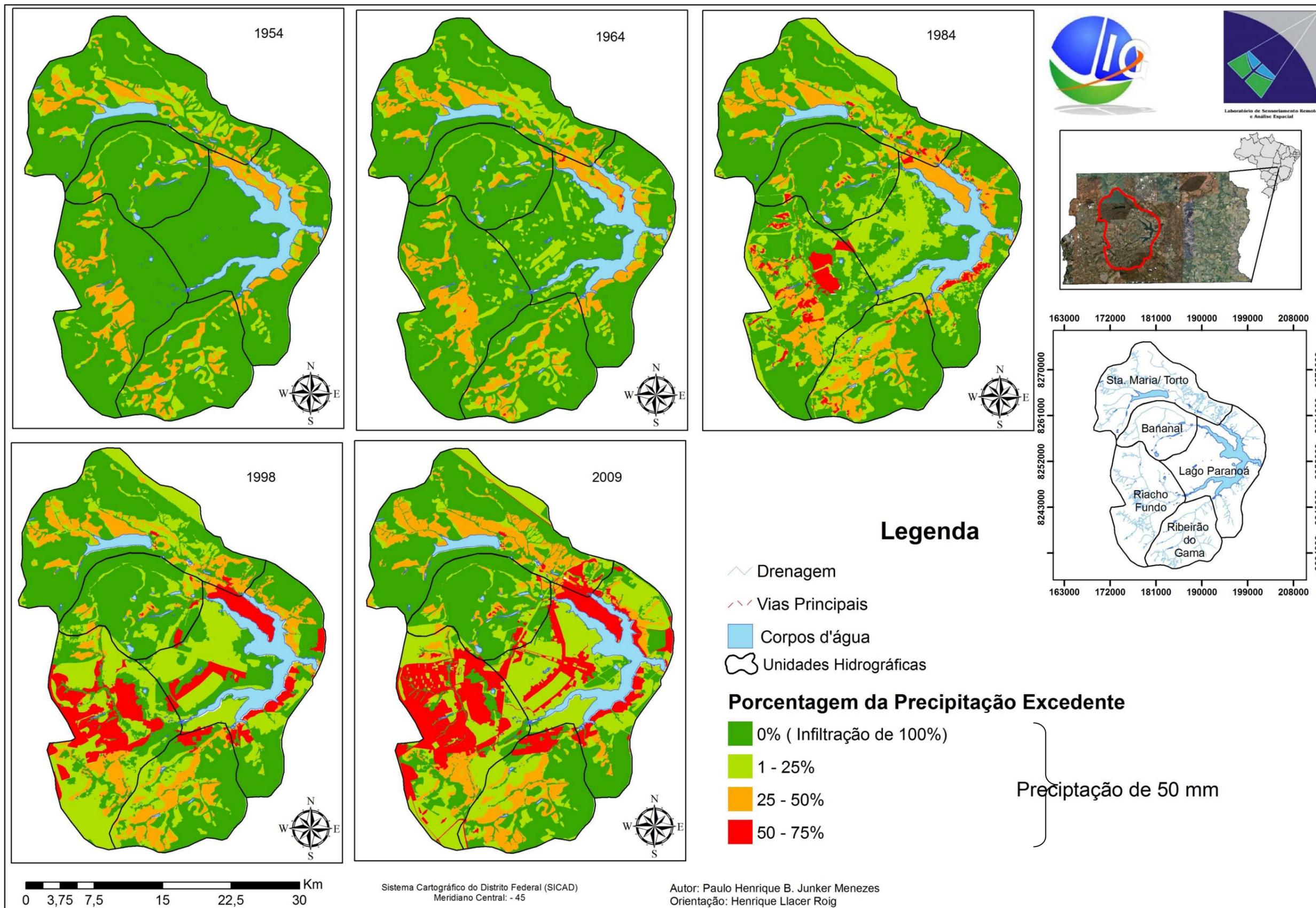


Figura 38: Mapas da Porcentagem de Precipitação Excedente para evento simulado de uma precipitação de 50 mm.

Tabela 20: quantificação da área das classes de Porcentagem de Precipitação excedente na Bacia do Lago Paranoá

Classe de Porcentagem de Precipitação Excedente	1954	1964	1984	1998	2009
0% de Precipitação Excedente (100% de Infiltração)	80,0	70,9	55,5	46,2	39,7
1 a 25% de Precipitação Excedente	8,2	11,8	22,9	27,7	27,4
25 a 50% de Precipitação Excedente	11,7	12,0	13,3	10,9	12,1
50 a 75% de Precipitação Excedente	0,0	0,1	2,8	9,7	15,9

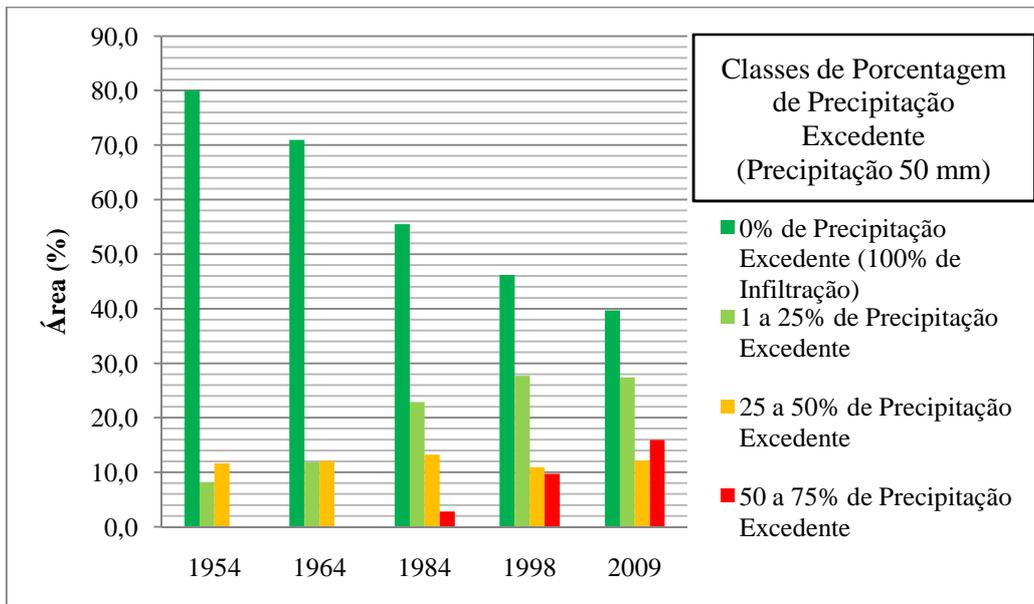


Figura 39: concentração das classes de precipitação excedente da Bacia do Lago Paranoá nas datas analisadas.

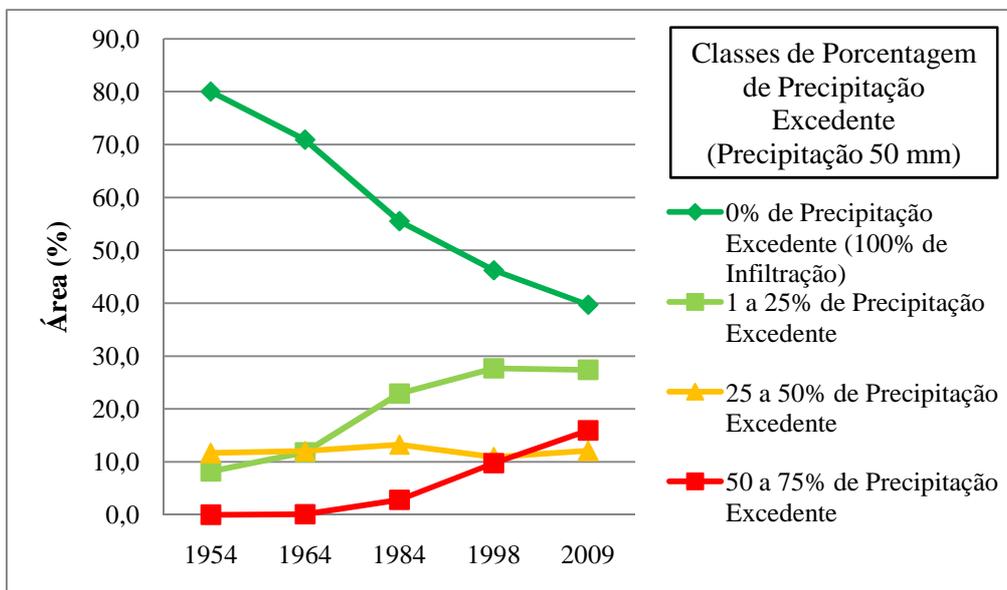


Figura 40: Evolução temporal das classes de precipitação excedente da Bacia do Lago Paranoá ao longo da série histórica.

Com base nos gráficos é possível concluir que, ao longo da série histórica de análise, houve uma diminuição das regiões onde ocorrem 100% de infiltração da água no solo, e o aumento das classes de ocorrência de precipitação excedente acima.

As classes com precipitação entre 25 e 50 %, a partir do ano de 1984 se mantêm aproximadamente constante, enquanto que a classe com precipitação excedente entre 50 e 75 % aumenta. Isso é explicado pelo adensamento das áreas urbanas, onde regiões passam a ser mais impermeabilizadas, ou seja, a ter maiores índices de escoamento superficial.

Em todos os anos analisados, a unidade hidrográfica do Riacho Fundo apresenta uma forte concentração de taxas altas de escoamento superficial. A partir do ano de 1998, a classe com precipitação excedente de 50 a 75%, se concentra nessa unidade hidrográfica, figuras 41 e 42.

Atualmente, aproximadamente 40% da área dessa unidade hidrográfica, apresentam valores de escoamento superficial maiores do que 50% da precipitação simulada (tabela 21).

Tabela 21: quantificação da área das classes de Porcentagem de Precipitação excedente na Unidade Hidrográfica do Riacho Fundo

Classe de Porcentagem de Precipitação Excedente	1954	1964	1984	1998	2009
0% de Precipitação Excedente (100% de Infiltração)	83,3	77,0	53,7	22,0	15,9
1 a 25% de Precipitação Excedente	3,6	7,9	25,6	44,0	35,0
25 a 50% de Precipitação Excedente	13,1	15,0	11,8	9,3	9,2
50 a 75% de Precipitação Excedente	0,0	0,1	8,9	24,7	39,9

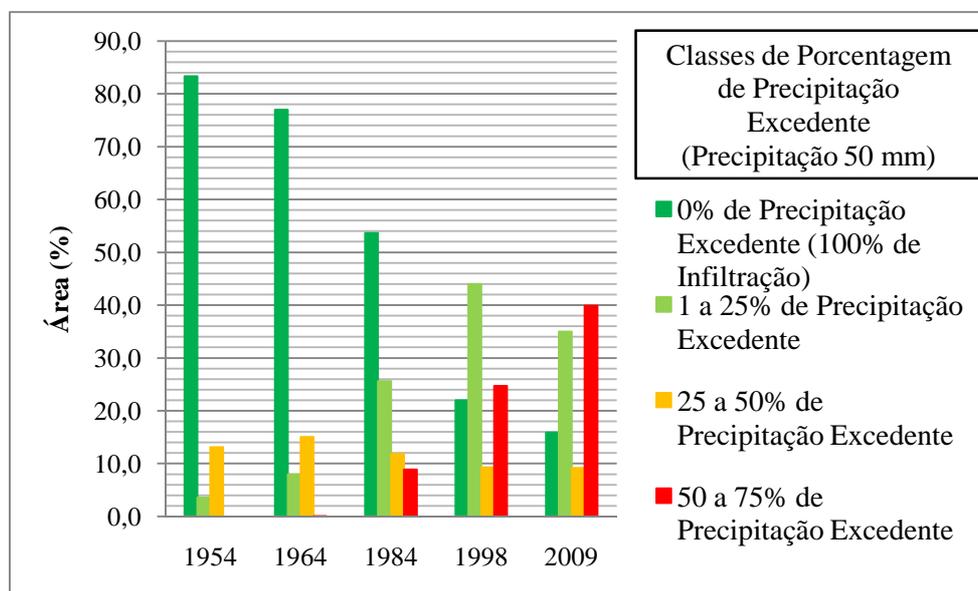


Figura 41: concentração das classes de precipitação excedente da Unidade Hidrográfica do Riacho Fundo nas datas analisadas

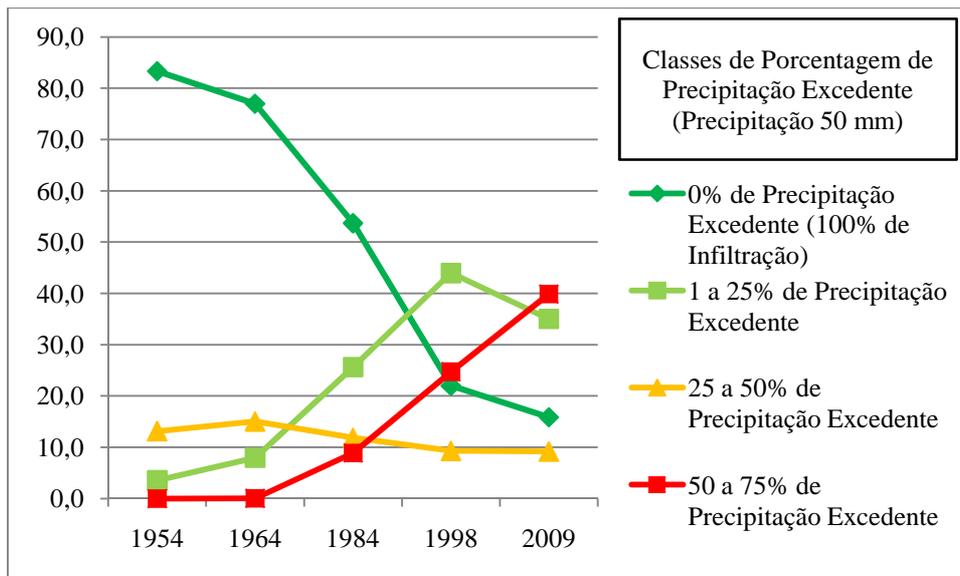


Figura 42: Evolução temporal das classes de precipitação excedente da Unida Hidrográfica do Riacho Fundo ao longo da série histórica.

O crescimento urbano nessa unidade hidrográfica é um fator que contribuiu muito para os aumentos nas taxas de escoamento superficial, e, também, para o aporte de sedimentos nas redes de drenagens dessa região que abastece o lago. Uma região em expansão urbana passa por um processo onde, antes do início das obras, muitas áreas com solo exposto ficam abertas. Nessas áreas com solo exposto, o impacto das gotas de chuva, faz com que partículas desse solo se desprendam, sendo transportadas pelo escoamento superficial, (figura 43)



Figura 43: Escoamento superficial em áreas com solo exposto

Aliado ao forte crescimento urbano, a unidade hidrográfica do Riacho Fundo, apresenta aproximadamente 25% de sua área coberta com solo hidrológico do grupo D (muito baixa taxa de infiltração de água no solo).

3.4.3.3 – Escoamento Superficial Ponderado (ESp)

Como apresentado anteriormente, no item 4.3.2, a ponderação dos valores do CN subestima a condição de escoamento nas unidades hidrográficas. Isto ocorre devido à heterogeneidade dos complexos hidrológicos que ocorrem na bacia do Lago Paranoá.

Este fato foi comprovado ao analisar os mapas de escoamento superficial, da figura 38, onde é possível observar a ocorrência de escoamento, desde o ano de 1954.

Para se ter uma idéia do comportamento médio do escoamento superficial nas unidades hidrográficas, ao invés de se ponderar o valor de CN, pode ser ponderado os valores de escoamento, calculados no item 4.4.2, utilizando as equações 3.12 e 3.13.

A tabela 22 e o gráfico da figura 44 mostram os resultados desta análise

Tabela 22: Valores de Escoamento superficial ponderado (ESp)

	1954	1964	1984	1998	2009
Riacho Fundo	2,06	2,64	5,93	9,38	13,70
Ribeirão do Gama	2,60	3,00	5,13	5,82	6,75
Lago Paranoá	1,58	2,30	3,60	5,24	7,19
Santa Maria/Torto	2,67	3,05	3,42	3,62	4,50
Ribeirão do Bananal	1,33	1,47	2,0	2,17	2,63

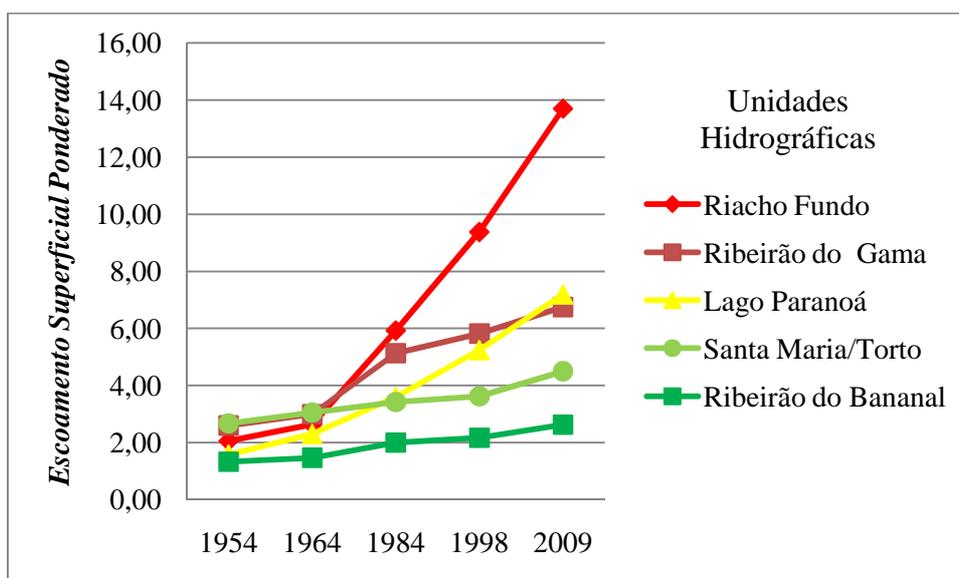


Figura 44: Análise temporal da variação dos valores de Escoamento Superficial ponderado (ESp) nas unidades hidrográficas da Bacia do Lago Paranoá.

Comparando as curvas dos gráficos das figuras 44 (escoamento superficial ponderado) e 37 (Curva Numero ponderado), observa-se que o comportamento não se

distingue muito. Porém, o método de ponderação para os valores de escoamento superficial ponderado não mascaram a ocorrência de escoamento, ao contrário do que ocorre com o método de ponderação dos valores de CN, como demonstrado nas tabelas 17, 18 e 19.

Para trabalhar com valores de comportamento médio de escoamento superficial em bacias hidrográficas é recomendado trabalhar em regiões de área menor, onde não ocorre muita variação, nos padrões de uso e ocupação, e na dimensão das áreas que serão comparadas entre si.

No caso da Bacia do Lago Paranoá, seria interessante delimitar sub-bacias, dentro das unidades hidrográficas, para que esse método fosse usado com mais precisão.

3.4.3.4 – Variação da Porcentagem de Escoamento Superficial

A figura 45 apresenta a análise de variação do escoamento superficial, com base na equação 3.14. Como esse método utiliza os dados de apenas dois períodos, a comparação dos dados da série histórica foi feita em pares de datas, assim definidos: 1954 – 1964; 1964 – 1984; 1984 – 1998; 1998 – 2009. Foi feito, também, uma análise com o ano de início da análise e o último ano 1954 – 2009.

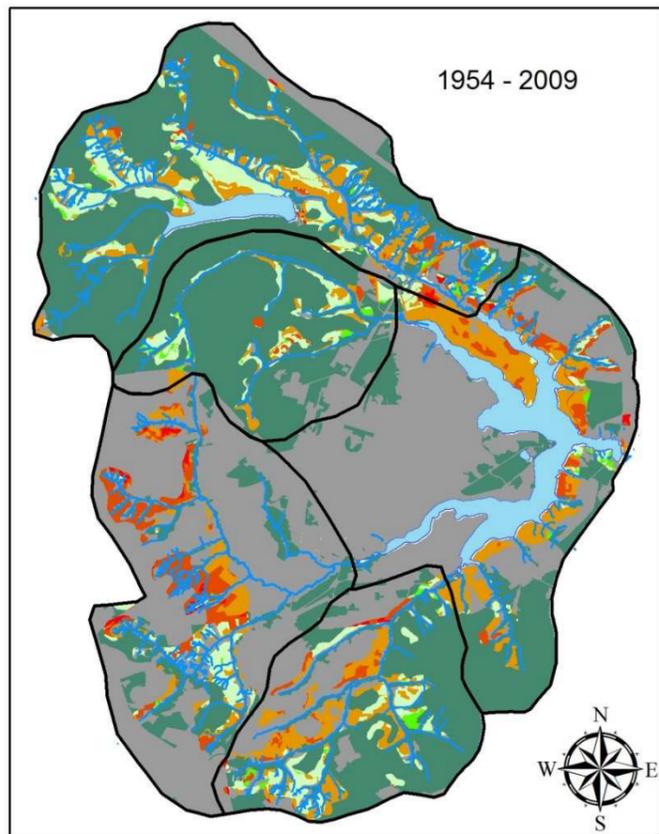
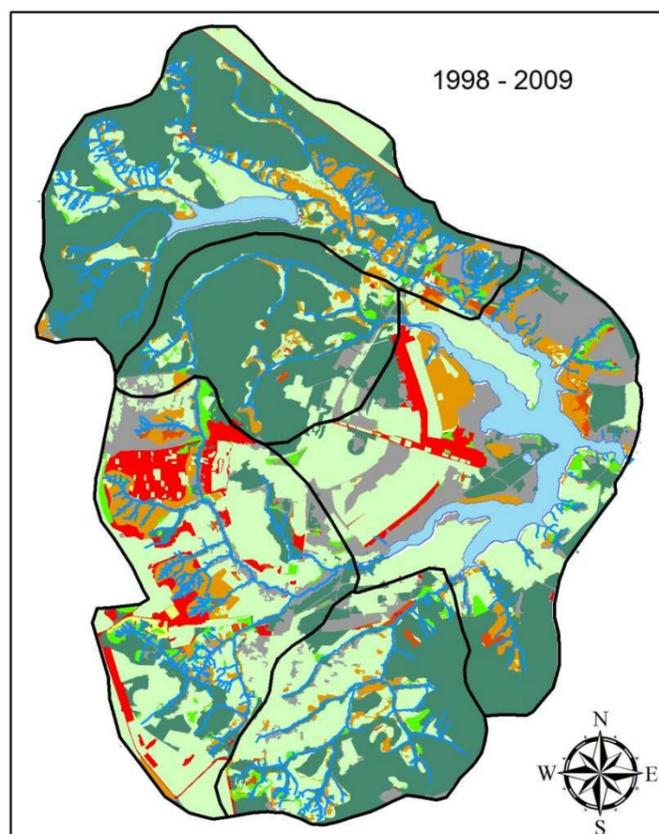
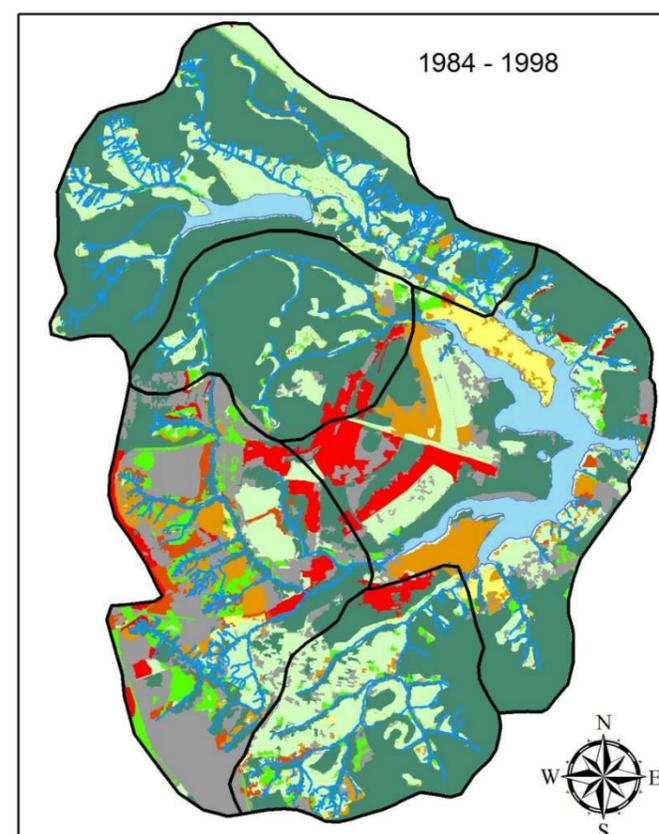
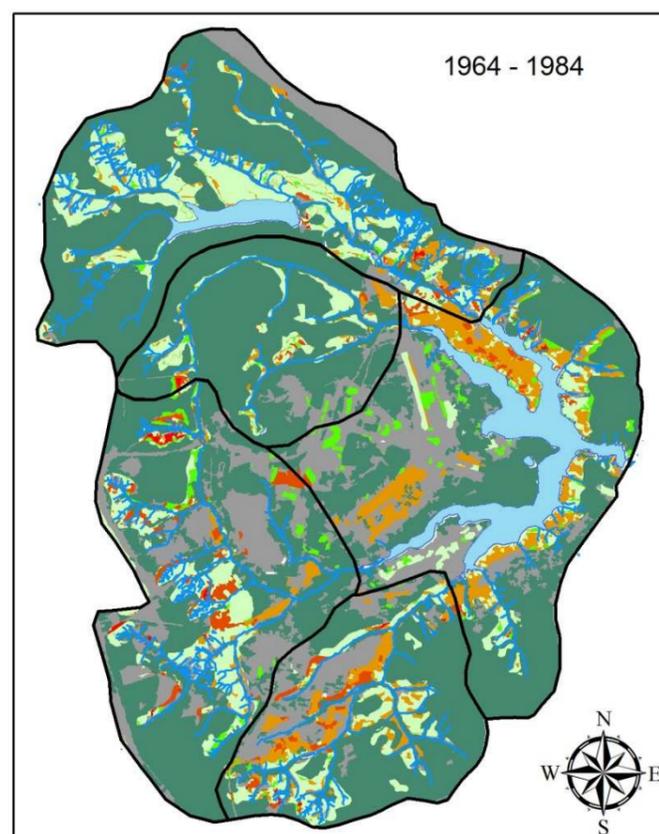
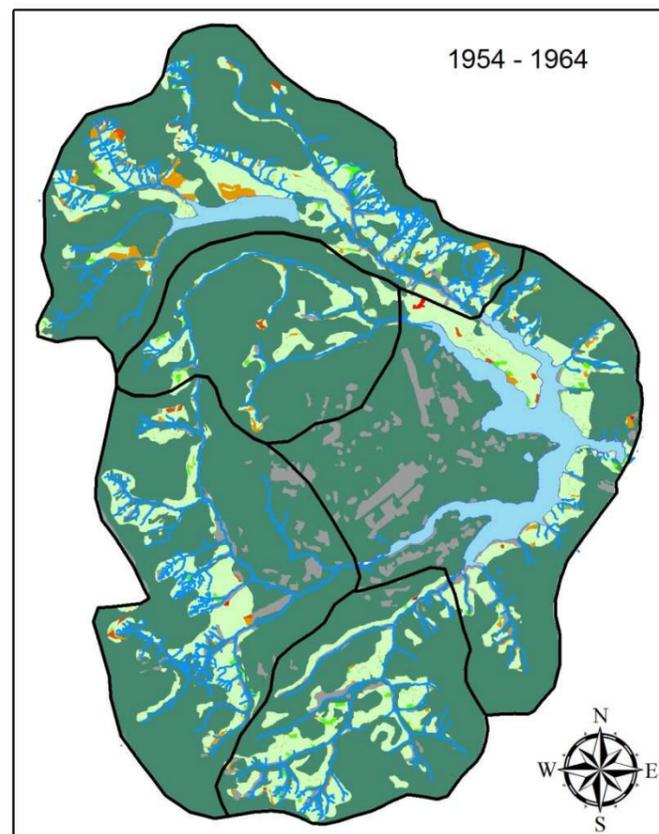
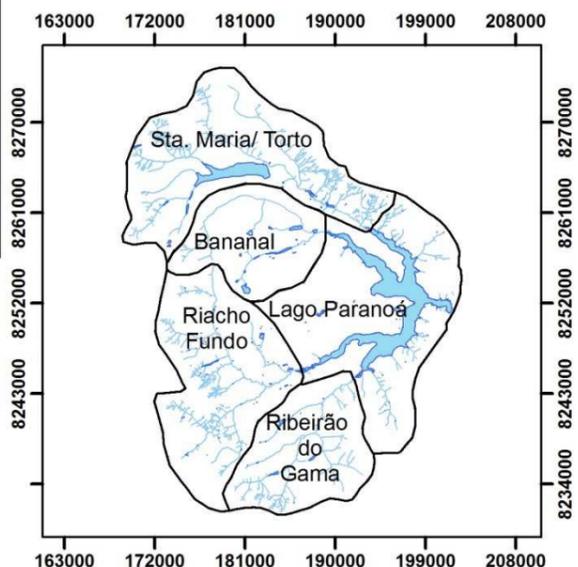
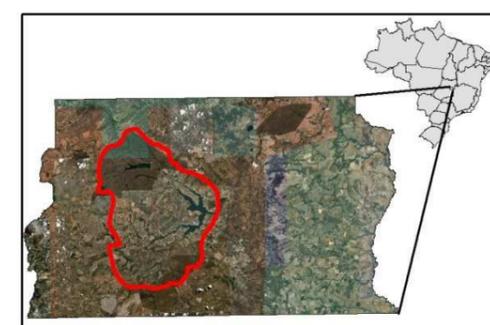
É importante ressaltar que a base de comparação dos resultados é sempre o período mais recente, tomando-se como base uma precipitação de 50 mm. Portanto, um resultado com valor de 50%, significa que o valor de escoamento dobrou de um período para o outro. Da mesma forma, um valor de 100% indica que o volume de escoamento superficial passou a ocorrer em uma região, onde anteriormente, não era observado nenhum escoamento superficial (Maeda, 2008).

Portanto, as classes utilizadas para o mapeamento dessa análise foram definidas com o objetivo de analisar as regiões, onde o aumento de escoamento superficial foi relevante, e identificar em qual período esse aumento foi mais acentuado. Para isso, as classes foram assim definidas:

- Regiões sem escoamento superficial (100% de infiltração). Regiões onde o escoamento é igual a zero, em ambas as datas dos pares de análise.
- Regiões com diminuição do Escoamento Superficial.
- Regiões onde o escoamento superficial se manteve constante. São as regiões onde não se teve alteração do valor de escoamento superficial, independente do valor escoado.

- Regiões com aumento de até 25% do valor de escoamento superficial
- Regiões com aumento entre 25 e 50% do valor de escoamento superficial
- Regiões com aumento $> 75\%$. Do valor de escoamento superficial. Nessas regiões o valor varia entre 75 e 99% de aumento. Pois um aumento de 100% do valor escoado representa uma região, onde anteriormente, não ocorria escoamento superficial e, na data mais recente, nessa região, passa a ocorrer escoamento superficial, independente do valor escoado.
- Regiões sem escoamento superficial prévio (perda de 100% de infiltração). Essas são as regiões onde o aumento de escoamento superficial tem como resultado no modelo o valor igual a 100%, como explicado no item anterior.

A tabela 23 e o gráfico da figura 46 mostram a quantificação em porcentagem de área dessas alterações, ao longo da série histórica analisada, para a bacia hidrográfica do Lago Paranoá.



Legenda

- Unidades Hidrográficas
- Corpos d'água
- drenagem
- Regiões sem Escoamento Superficial (100% de Infiltração)
- Regiões com diminuição do Escoamento Superficial
- Regiões onde Escoamento Superficial se manteve constante
- Regiões com aumento de até 25% dos valores de Escoamento Superficial
- Regiões com aumento de 25 a 50% dos valores de Escoamento Superficial
- Regiões com aumento de 50 a 75% dos valores de Escoamento Superficial
- Regiões com aumento >75% dos valores de Escoamento Superficial
- Regiões sem escoamento superficial prévio (perda de 100% de infiltração)



Sistema Cartográfico do Distrito Federal (SICAD)
Meridiano Central: - 45

Autor: Paulo Henrique B. Junker Menezes
Orientação: Henrique Llacer Roig

Figura 45: Mudança percentual na geração de escoamento superficial ao longo da série histórica

Tabela 23: Porcentagem de área das classes de dES da bacia do Lago Paranoá para os pares de datas analisados

Classes de porcentagem da variação do Escoamento Superficial (dES)	54 - 64	64 - 84	84 - 98	98 - 09
Regiões sem Escoamento Superficial (100% de Infiltração)	71	55	46	40
Regiões com diminuição do Escoamento Superficial	1	2	4	2
Regiões onde Escoamento Superficial de manteve constante	16	12	20	30
Regiões com aumento de até 25% dos valores de Escoamento Superficial	0	0	2	0
Regiões com aumento de 25 a 50% dos valores de Escoamento Superficial	1	6	5	4
Regiões com aumento de 50 a 75% dos valores de Escoamento Superficial	0	2	1	7
Regiões com aumento >75% dos valores de Escoamento Superficial	0	0	4	1
Regiões sem Escoamento Superficial prévio (perda de 100% de Infiltração)	6	17	12	10

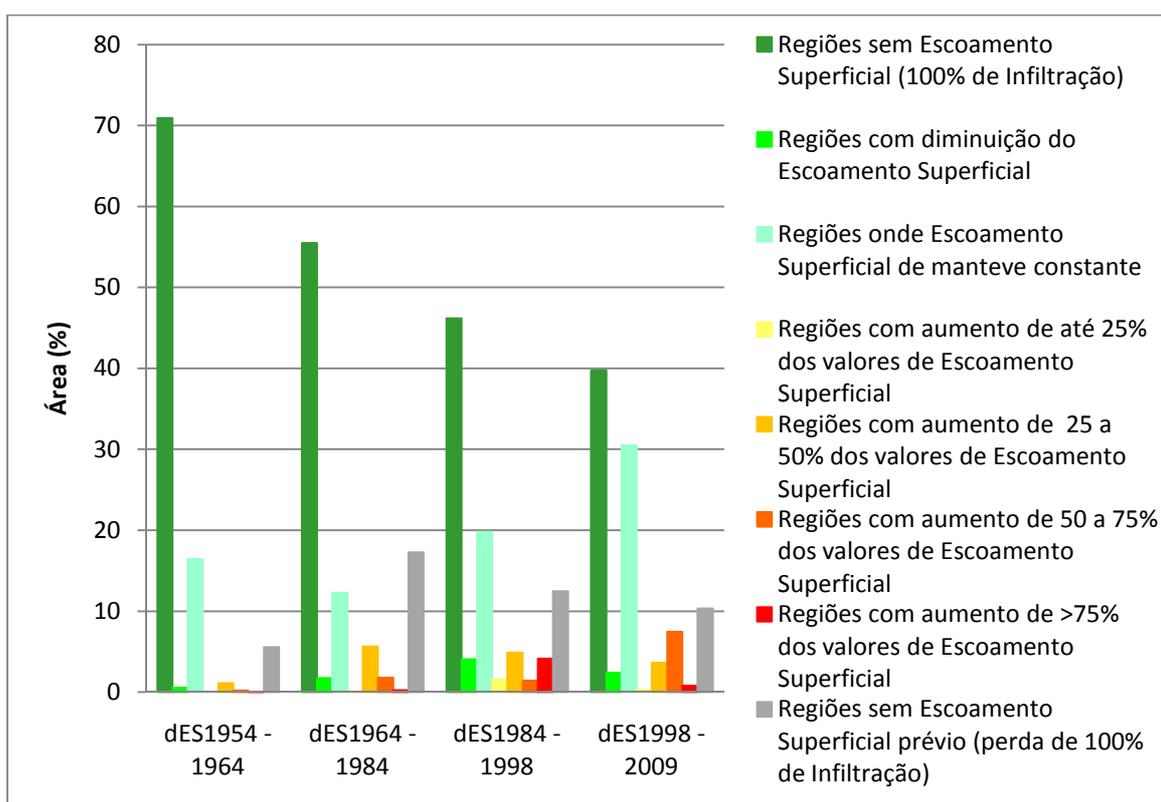


Figura 46: Evolução da porcentagem de área das taxas de dES da Bacia do Lago Paranoá para os pares de datas analisados.

O gráfico da figura 46 mostra que, durante todo o período de análise, diminuem as regiões onde não ocorre escoamento superficial e, atualmente, ocupam 40% da bacia. Esse valor se mantém, devido à presença das macrozonas de proteção permanente, que ocupam cerca de 40% da bacia, apresentadas no capítulo 1.

Com relação às classes que representam as regiões sem escoamento prévio, ou seja, que perderam 100% da taxa de infiltração de água no solo, entre o período de 1954 e 1964, há um crescimento, cerca de 60 quilômetros quadrado (6% da bacia). Essas regiões estão relacionadas com a primeira fase de urbanização do Plano Piloto, e áreas de solo exposto, abertas nesse intervalo de tempo.

No período entre 1964 e 1984, essa classe apresenta um aumento de, aproximadamente, 170 quilômetros quadrados (cerca de 17% da bacia). Esse aumento está relacionado, não só, à expansão das áreas urbanas, mas, também, com o crescimento das áreas de uso agrícola e do solo exposto. A partir dessa data, a bacia passa a sofrer, com a transição entre as classes de uso que geram escoamento superficial. Fato que explica a diminuição das áreas, sem escoamento prévio.

No período entre 1984 e 1998, a bacia sofre o maior crescimento das áreas urbanas, conforme apresentado, no capítulo 2, surge um aumento das classes com escoamento superficial maior do que 75% da precipitação. A partir de 1998, a urbanização não cresce, significativamente, na bacia, com isso as taxas de escoamento superficial não aumentam, em grande proporção (figura 45), o que explica o aumento das classes que define as regiões, onde o escoamento superficial se manteve constante (tabela 23). Porém, nas regiões do entorno de Brasília (Plano Piloto) observa-se um constante aumento das áreas que passam a ter escoamento superficial e, principalmente, na taxa de escoamento, como por exemplo, entre 50 e 75%. Isso reflete o adensamento e consolidação das áreas urbanas periféricas ao Plano Piloto enquanto que esse permanece, sem um acréscimo no escoamento devido, principalmente ao tombamento de Brasília.

Analisando as duas datas extremas da análise, 1954 e 2009 por meio do gráfico da tabela 24 e da figura 47, é possível observar a predominância da classe que define regiões sem escoamento prévio. Essa classe se distribui entre as duas macrozonas de preservação ambiental da bacia. Somente nessas regiões não ocorre escoamento superficial dentro da bacia do lago. Cerca de 381 quilômetros quadrados (38% da bacia), estão marcados com a ocorrência de escoamento superficial, em regiões onde na data de 1954 100% da água, infiltrava no solo

Tabela 24: Porcentagem de área das classes de dES da Bacia do Lago Paranoá para as datas extremas da análise.

Classes de porcentagem da variação do Escoamento Superficial (dES)	1954 - 2009
Regiões sem Escoamento Superficial (100% de Infiltração)	40
Regiões com diminuição do Escoamento Superficial	1
Regiões onde Escoamento Superficial de manteve constante	6
Regiões com aumento de até 25% dos valores de Escoamento Superficial	0
Regiões com aumento de 25 a 50% dos valores de Escoamento Superficial	8
Regiões com aumento de 50 a 75% dos valores de Escoamento Superficial	3
Regiões com aumento de >75% dos valores de Escoamento Superficial	0
Regiões sem Escoamento Superficial prévio (perda de 100% de Infiltração)	38

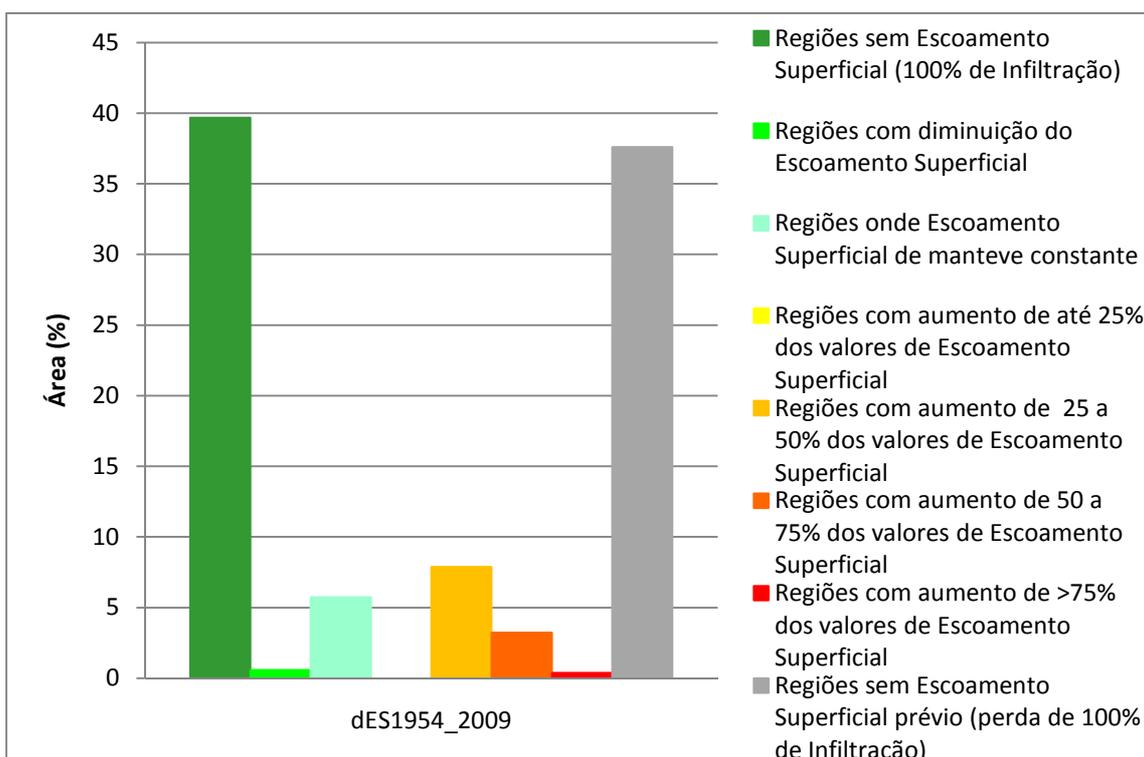


Figura 47: Evolução da porcentagem de área das taxas de dES da Bacia do Lago Paraná para as datas extremas da análise.

Ocorre, ainda, na bacia, uma região de 170 quilômetros quadrados que representam as classes, com aumento acima de 25% dos valores de escoamento superficial e das áreas, onde o escoamento superficial se manteve constante. Portanto, atualmente, cerca de 551 quilômetros quadrados (55% da bacia) são áreas onde ocorrem escoamento superficial, na bacia do lago, para o evento de precipitação simulado neste trabalho (50 mm).

Uma simples análise visual, dos mapas da figura 45 permite concluir que a unidade hidrográfica que sofreu mais alterações, e das mais diversas, dos valores de escoamento superficial foi a do Riacho Fundo. O Mapa que mostra a análise de variação da porcentagem de escoamento para as datas extremas, 1954 e 2009, mostra que a classe

que define regiões, sem escoamento prévio, cobre quase que toda área da unidade hidrográfica do Riacho Fundo. A tabela 25 e o gráfico da figura 48, a seguir, mostram a quantificação dessas alterações para a unidade hidrográfica do Riacho Fundo.

Tabela 25: Porcentagem de área das classes de dES da unidade hidrográfica do Riacho Fundo para os pares de datas analisados

Classes de porcentagem da variação do Escoamento Superficial (dES)	54 -64	64 - 84	84 - 98	98 - 09
Regiões sem Escoamento Superficial (100% de Infiltração)	77	54	22	18
Regiões com diminuição do Escoamento Superficial	0	2	10	4
Regiões onde Escoamento Superficial de manteve constante	15	12	12	45
Regiões com aumento de até 25% dos valores de Escoamento Superficial	0	0	1	1
Regiões com aumento de 25 a 50% dos valores de Escoamento Superficial	0	2	8	10
Regiões com aumento de 50 a 75% dos valores de Escoamento Superficial	0	4	5	1
Regiões com aumento de >75% dos valores de Escoamento Superficial	0	1	7	11
Regiões sem Escoamento Superficial prévio (perda de 100% de Infiltração)	7	25	35	12

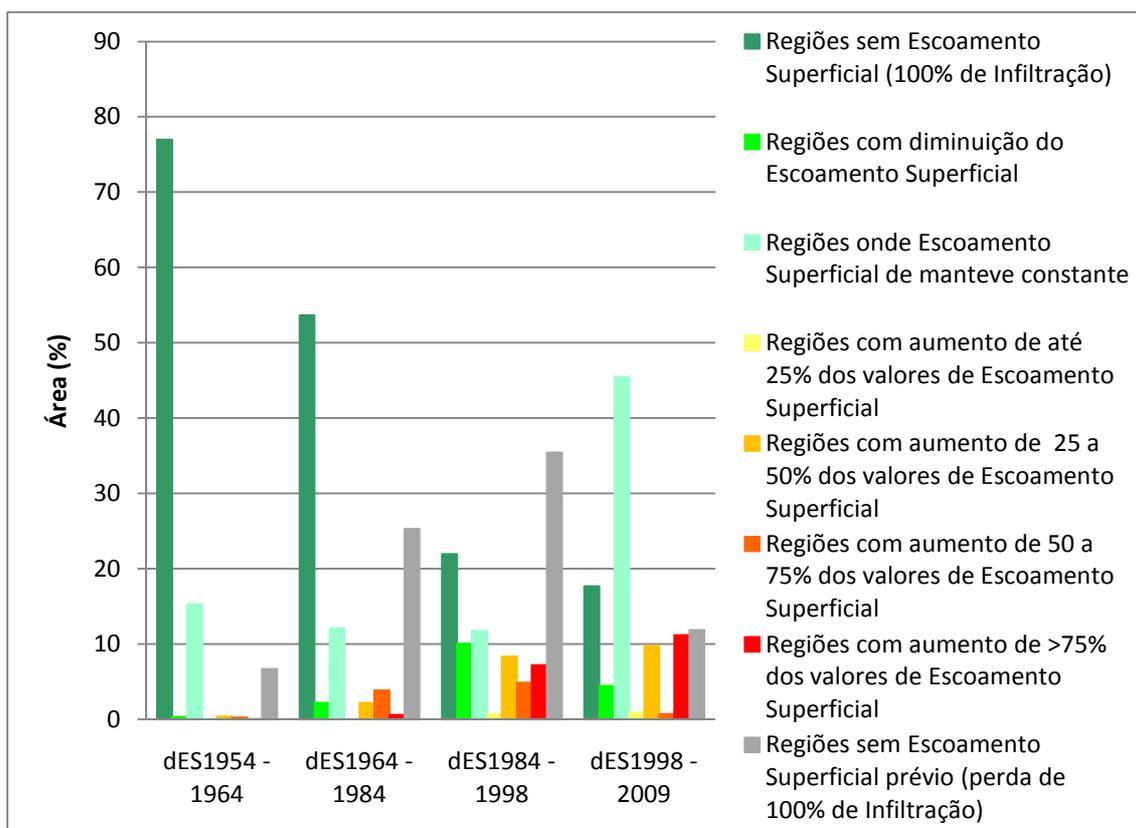


Figura 48: Evolução da porcentagem de área das taxas de dES Unidade Hidrográfica do Riacho Fundo para os pares de datas analisados.

O gráfico da figura 48 mostra que, na unidade hidrográfica do Riacho Fundo, as regiões onde não ocorre escoamento superficial, diminuíram acentuadamente, nessa unidade hidrográfica, 128 quilômetros quadrados, o que equivale, aproximadamente, 60% da unidade hidrográfica.

A classe que representa as áreas, sem escoamento prévio (perda de 100% da infiltração) crescem até o ano de 1998, em 28%, cerca de 61 quilômetros quadrados. Nesse período a unidade hidrográfica do Riacho Fundo já apresenta 48 % de sua área urbanizada. Esse aumento é mais acentuado no período entre 1964 e 1984, no qual, conforme apresentado no capítulo 2, a unidade hidrográfica apresenta um crescimento da área urbana de 14%.

A partir de 1984, a unidade hidrográfica do Riacho fundo começa a apresentar um aumento das classes que representam aumento dos valores de escoamento superficial. De 1998 em diante, observa-se um aumento intenso da classe com valores de escoamento maiores do que 75%, fato explicado pela relação de crescimento da classe urbana 3 (>70% de áreas impermeáveis) nesse mesmo período, apresentado no item 3.4.1 deste capítulo. Em 2009, a unidade hidrográfica do Riacho Fundo apresenta, aproximadamente, 80% da sua área, com ocorrência de escoamento superficial.

Analisando o gráfico da figura 49 e a tabela 26, com a evolução da porcentagem de escoamento para as datas extremas, pode-se perceber que, a região da unidade hidrográfica do Riacho Fundo apresenta uma área pequena, aproximadamente 20% da bacia, sem escoamento superficial na mesma. Em aproximadamente 70% dessa bacia não ocorria escoamento superficial e, atualmente, ocorre.

Tabela 26: Porcentagem de área das classes de dES da unidade hidrográfica do Riacho Fundo para as datas extremas da análise.

Classes de porcentagem da variação do Escoamento Superficial (dES)	1954 - 2009
Regiões sem Escoamento Superficial (100% de Infiltração)	18
Regiões com diminuição do Escoamento Superficial	0
Regiões onde Escoamento Superficial de manteve constante	3
Regiões com aumento de até 25% dos valores de Escoamento Superficial	0
Regiões com aumento de 25 a 50% dos valores de Escoamento Superficial	5
Regiões com aumento de 50 a 75% dos valores de Escoamento Superficial	7
Regiões com aumento de >75% dos valores de Escoamento Superficial	1
Regiões sem Escoamento Superficial prévio (perda de 100% de Infiltração)	68

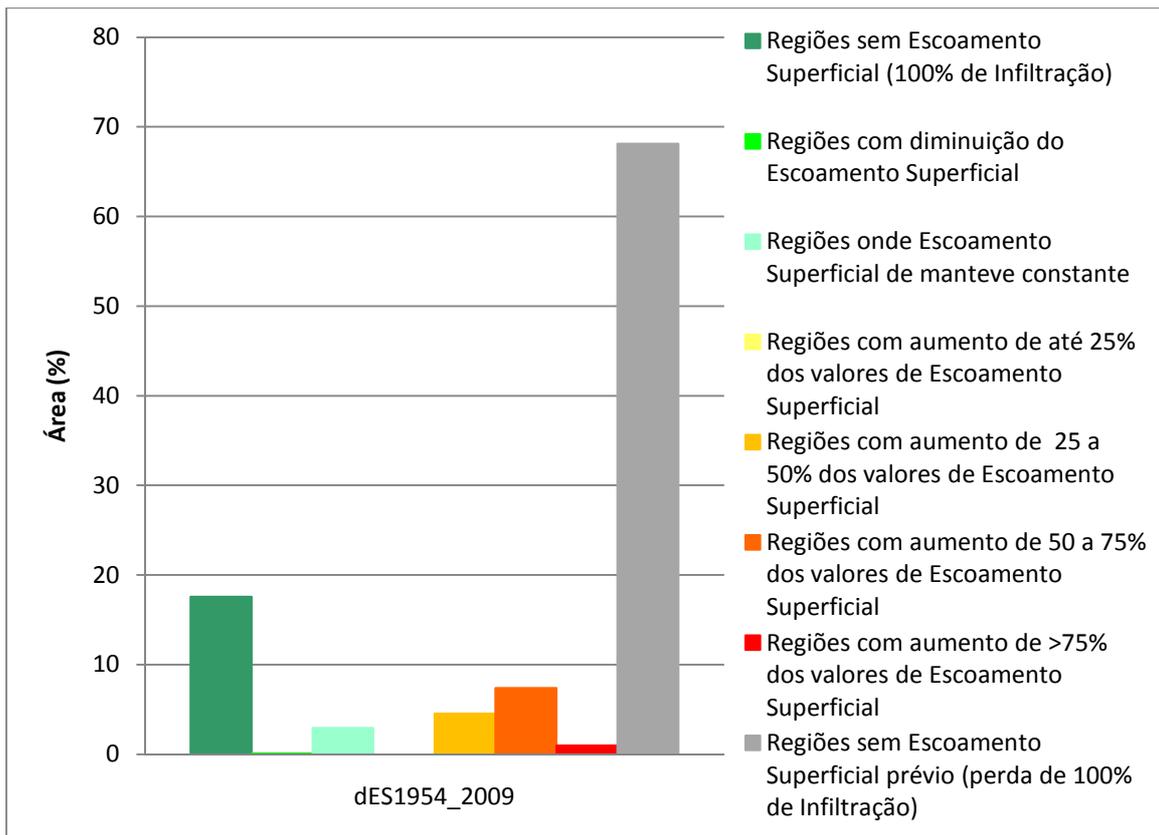


Figura 49: Evolução da porcentagem de área das taxas de dES Unidade Hidrográfica d Riacho Fundo para os pares de datas extremas da análise.

A conclusão deste capítulo leva-se a identificar que a região do Lago Paranoá, com maior risco de assoreamento, devido aos processos de urbanização e crescimento do escoamento superficial, na bacia, é o braço onde deságua a bacia do Riacho fundo, extremo sul do lago Paranoá.

Essa unidade hidrográfica apresenta os maiores valores de escoamento superficial, em regiões próximas às redes de drenagem, fazendo com que todo sedimento gerado por processos erosivos na bacia, ou por áreas urbanas, certamente, atinjam o lago Paranoá, por meio dos seus tributários.

A unidade hidrográfica do Riacho Fundo já está em um estágio caótico nos termos de impermeabilização e uso intenso do solo.

Vale ressaltar que, para maior detalhamento dessa situação, é necessária a instalação de redes de monitoramento hidrossedimentométricos, a fim de se calibrar o modelo utilizado e poder simular com maior acurácia o fenômeno da produção de sedimentos, ao longo da bacia.

4.1 Introdução

De acordo com as conclusões dos capítulos 2 e 3, a atividade antrópica na bacia do Lago Paranoá vem exercendo uma forte pressão sobre o ciclo hidrológico e consequentemente sobre esse corpo hídrico, no aspecto da “qualidade e quantidade de água” disponíveis.

Esse impacto é consequência de uso intenso do solo, por áreas agrícolas, mas principalmente, pela expansão e alteração no estágio de densidade e consolidação das áreas urbanas. Este fato tem ocasionado o aumento do escoamento superficial, ao longo da série histórica analisada.

A combinação dos objetos de estudo dos capítulos 2 e 3, urbanização acelerada e altos índices de escoamento superficial, são um dos fatores que influenciam na entrada de sedimentos em cursos d’água.

Naturalmente, os cursos d’água apresentam capacidade de transporte de material. Mas quando é construída uma barragem, tal capacidade se altera a partir da área do remanso do reservatório. Segundo Carvalho (2008), após a construção da barragem e formação de um reservatório, haverá uma modificação no regime de vazão, transformação morfológica na zona do reservatório e a jusante, bem como, significativas mudanças das condições de transporte de sedimentos.

O fluxo de material particulado perde a capacidade de transporte, ao encontrar águas com menor velocidade, e passa a depositar sua carga, assoreando lagos e reservatórios (Shen & Julien, 1993; Julien, 1998; Carvalho *et al.*, 2000a; Carvalho 2008). À medida que a deposição de sedimentos aumenta, a capacidade de armazenamento do reservatório diminui, com a perda de volume e área do reservatório (Silva, 2007; Carvalho, 2000).

O processo de assoreamento de reservatórios, segundo Macêdo (2009), está intimamente relacionado com os processos erosivos que ocorrem na sua bacia de contribuição, uma vez que são estes que fornecem os materiais, que ao serem transportados e depositados, dão origem ao assoreamento. A ocorrência de processos erosivos é acelerada pela interferência das atividades antrópicas na bacia (Heller & Pádua, 2006; Tucci, 2005; Roig, 2005; Setti *et al.*, 2001).

Considerando que o assoreamento passa a ser um problema ambiental, social e econômico, surge a necessidade de avaliação do processo de assoreamento e da

distribuição de sedimentos, com tempo, ao longo do reservatório (Carvalho *et al*, 2000b).

Para avaliar esse tipo de degradação, as medidas corretivas e preventivas de assoreamento requerem estudos específicos considerando-se a dinâmica sedimentar, desde a área fonte, até as áreas de deposição. As pesquisas devem ainda incluir estudos no reservatório como, por exemplo, amostragem de sedimentos e levantamento geofísicos no reservatório (Macêdo, 2009; Julien, 1998; Shen & Julien, 1993).

Como foi dito no início deste capítulo o Lago Paranoá sofreu ao longo dos anos com a pressão devido a atividade antrópica. Entre as unidades hidrográficas que constituem a bacia do Lago Paranoá, a unidade do Riacho Fundo foi a que apresentou maior área impactada pela expansão urbana e conseqüente elevação dos valores de escoamento superficial.

Dentro deste contexto, o objetivo deste capítulo é realizar análise que complemente os resultados que constataram o impacto ambiental, nas unidades hidrográficas que constituem a bacia do lago. A conseqüência desses impactos pode ser claramente observada na variação de área que o lago apresenta, ao longo dos anos. Essa variação acarreta também na perda de volume de água, ambas em conseqüência do depósito de sedimentos que causa o assoreamento do lago.

Para se obter uma avaliação consistente sobre a resposta dos impactos que cada unidade hidrográfica exerceu sobre o Lago Paranoá é necessário fazer um estudo sobre a dinâmica hidrossedimentológica. Porém, estudos neste sentido exigem uma gama de informações de redes hidrossedimentométrias e dados hidrológicos, os quais, não são disponíveis para essa região.

Desta forma, para alcançar os objetivos deste capítulo foram propostas duas técnicas para a análise da evolução do assoreamento do reservatório. A primeira diz respeito à perda de área do espelho d'água do Lago e a segunda à determinação da variação do volume de assoreamento do lago, pela comparação de dados batimétricos de diferentes datas, tomando-se como base de referência o levantamento da topografia da região do lago, antes do seu preenchimento. No entanto, embora tenhamos concluído a batimetria de 2009, o cálculo da perda de volume não foi concluído, neste trabalho, devido a problemas de georreferenciamento das bases, ficando o referido cálculo para posteriores pesquisas, nesta área. O principal problema foi que a cartografia planialtimétrica na escala 1:25.000 construída da década de cinquenta, foi elaborada sobre um conjunto de marcos topográficos diferentes da rede estabelecida pelo SICAD, onde

os parâmetros de transformação não podem ser calculados para toda a área, devido a primeira ser uma rede topografia local, onde muitas vezes não existem marcos na carta em estudo, como foi o caso das folhas do Riacho Fundo e Bananal.

A situação atual sobre o volume de água do reservatório do Lago Paranoá foi adquirida com dados do levantamento batimétrico de 2009, apresentado neste trabalho pelo projeto de pesquisa “Caracterização morfológica e estratigráfica do Lago Paranoá”, do Instituto de Geociências da UnB

Toda a superfície do Lago foi levantada neste trabalho (figura 50) com uso do ecobatímetro multifeixe Reson Seabat 8101, nas regiões mais profundas, e nas áreas mais rasas do Lago, utilizando ecobatímetro hidrográfico portátil Odom Echotrak CVM. Estes dados estão em fase final de processamento.



Figura 50: Fotos do trabalho de levantamento batimétrico de 2009.

4.2 Revisão Teórica

Segundo Carvalho *et al.* (2000b), os métodos de previsão da avaliação do assoreamento de um reservatório variam de acordo com os objetivos a ser atendidos. Na fase de inventário o principal objetivo é estimar o tempo de assoreamento total e a vida útil do aproveitamento. Na fase de operação procura-se acompanhar o assoreamento

através de levantamentos sistemáticos, monitoramento sedimentométrico, acompanhamento das transformações na bacia e outros estudos, sempre visando a prevenção ou o controle corretivo mais adequado.

A medição do assoreamento de um reservatório, conforme Macêdo (2009) pode ser feita por meio de análise de levantamentos geofísicos, e da interpretação e processamento de imagens de satélite de alta resolução e de foto aéreas, com o emprego de técnicas de geoprocessamento.

Neste capítulo foram utilizadas técnicas de processamento de fotos aéreas para avaliar o avanço das linhas de borda do Lago Paranoá.

4.2.1 Ortorectificação de Fotos Aéreas

Um dos métodos utilizados neste capítulo para avaliar as frentes de assoreamento no lago Paranoá foi a análise da variação da área efetiva do espelho d'água, por meio de vetorização do limite do lago, em fotos aéreas, em 3 datas 1966, 1982, 1994 e em imagem multiespectral de alta resolução espacial, para o ano de 2009.

Para utilizar os dados provenientes de fotos aéreas com precisão é necessário entender as distorções inerentes ao processo de levantamento aéreo, para aquisição das fotos e a técnica para minimizar esses efeitos.

Segundo Meneses (2007), as fotografias são geradas a partir de uma projeção cônica central, diferentemente das cartas topográficas que apresentam uma perspectiva ortogonal. Tal característica acarreta distorções que afetam a qualidade métrica da fotografia, a tal ponto de inviabilizar seu uso na elaboração de bases cartográficas. As distorções ocasionadas pelo sistema de projeção das câmaras fotográficas são radioconcêntricas, de modo que, quanto mais distante os objetos estejam do centro das fotografias, maiores serão as distorções (Meneses, 2007).

Segundo Jensen (2009), em imagens não retificada medições podem ser feitas apenas de maneira aproximada, por causa do deslocamento do relevo e da mudança de escala causadas pela variação topográfica e da visada cônica.

Assim, para a utilização das fotografias com finalidades cartográficas de precisão, torna-se necessário a realização de alguns procedimentos voltados à atenuação de tais variações. A principal técnica utilizada neste processo é a ortorectificação das fotografias, através da qual se realiza a conversão do sistema de projeção cônica das fotografias, para uma projeção plana ortogonal (Meneses 2007).

A ortorretificação além de eliminar as distorções relativas à movimentação da aeronave, também elimina as distorções provocadas pela variação do relevo da área imageada, realizando-se a transformação da perspectiva cônica para a ortogonal. O resultado é uma ortofoto corrigida planimetricamente (Jensen 2009; Meneses 2007).

Esta precisão planimétrica permite o uso de ortoimagens para elaboração de mapas onde se deseja realizar medições de localização geográfica, distância, ângulos e área.

4.3 Etapas e Métodos

Como foi discutido na introdução deste capítulo, a análise do assoreamento foi feita com base na delimitação do deslocamento da linha de borda do lago nos braços do Riacho Fundo e do Ribeirão Bananal, por meio de processamento de fotos aéreas e de Imagem Multiespectral de alta resolução espacial. O fluxograma da figura 51 apresenta as etapas executadas e descritas a seguir:

1. Aquisição das Fotos Aéreas para extração da borda de limite do Lago Paranoá para os anos de 1966, 1982 e 1994;
2. Aquisição da Imagem Multiespectral de Alta resolução espacial, para extrair a borda de limite do Lago em 2009. Arquivo extraído do Google Earth;
3. Ortorretificação das Fotos Aéreas e imagens de satélite com base no Modelo Digital de Elevação e Base cartográfica na escala 1:2.000 do SICAD;
4. Vetorização das Bordas do Limite do Lago Paranoá nas regiões que deságuam as unidades hidrográficas do Riacho Fundo e do Ribeirão do Bananal;
5. Cálculo de área dos braços do Lago Vetorizados.
6. Cálculo da perda de área.

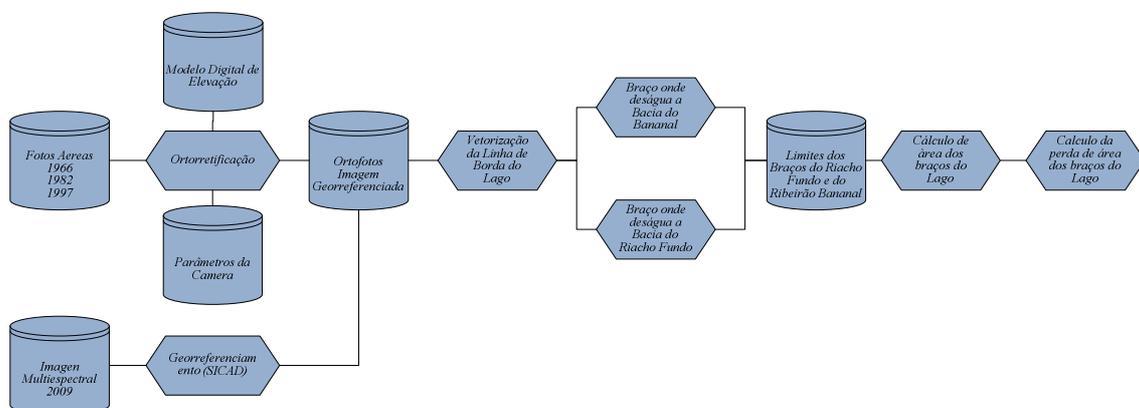


Figura 51: Fluxograma de trabalho para análise da variação do limite da borda do Lago nas regiões de deságüe do riacho Fundo e do Ribeirão Bananal

As etapas um e dois consistem na aquisição da base de dados para extrair as informações referentes à variação da área do espelho d'água nas regiões de deságuas das unidades hidrográficas do Riacho Fundo e do Ribeirão Bananal.

De posse dos dados o passo seguinte foi processar a ortorretificação das fotos aéreas, a fim de minimizar as distorções geradas pelo processo de imageamento em aerolevantamentos.

Para operar esta etapa foi necessário integrar informações de altimetria (Z) e de posicionamento geográfico (X, Y). As informações altimétricas são extraídas do modelo digital de elevação, já as informações de localização (X, Y) são obtidas baseadas na base cartográfica SICAD, para ajuste do posicionamento geográfico.

O ortorretificação foi executada no Software ErMapper 7.0 (disponível no IG/UnB) e os erros obtidos estiveram sempre abaixo, na precisão exigida para a cartografia na escala 1:10.000. Os parâmetros dos levantamentos fotogramétricos necessários para a ortorretificação foram obtidos junto a 5ª DL, diretoria do exército Brasileiro responsável pelo acervo.

Com os dados georreferenciados, o próximo passo foi a vetorização da linha de borda do lago Paranoá para as datas utilizadas neste capítulo (1966, 1982, 1994 e 2009).

A vetorização do Braço do Lago Paranoá onde deságua a unidade hidrográfica do Ribeirão do Bananal foi feita até a região por onde passa a ponte do Bragueto, para todas as datas. Na região do Riacho Fundo, a vetorização se deu até a região da primeira ponte.

4.4 Resultados

A figura 52 apresenta os dados preliminares do levantamento batimétrico de 2009, feito com o ecobatímetro multifeixe Reason Seabat 8101

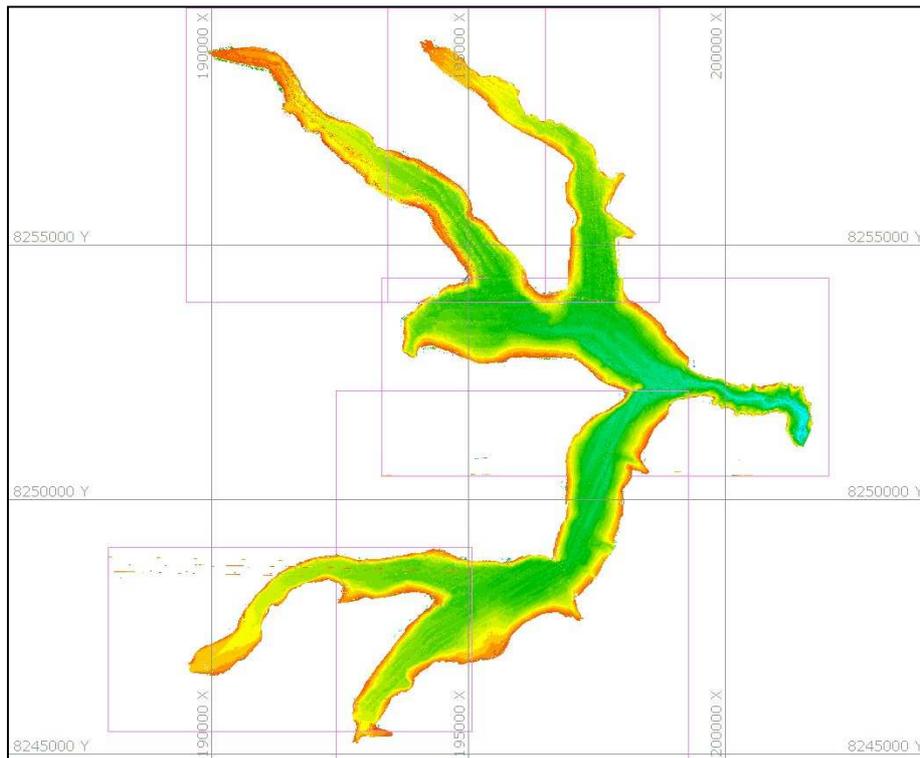


Figura 52: Área levantada com ecobatímetro multifeixe Reason Seabat 8101 em 2009.

Os dados deste levantamento estão em fase final de processamento e geração do modelo digital do fundo do lago Paranoá, com resolução de 1 (um) metro, para, com isso determinar o volume atual de água armazenado no reservatório.

As figuras 53 e 54 a mostram o resultado da vetorização para as regiões do Riacho Fundo e do Ribeirão do Bananal, respectivamente, em todas as datas analisadas. Estas regiões foram escolhidas por se apresentarem como ambientes extremos em termos de atividade antrópica dentro da bacia, sendo fortemente pressionada (Riacho Fundo) e a outra com grande parcela de área preservada (Ribeirão Bannal). Porém, como podem ser observado nas figuras 53 e 54, ambas as regiões sofrem com o processo de assoreamento.

A tabela 27 e o gráfico da figura 55 apresentam a quantificação da variação da área em quilômetros quadrados, nas regiões analisadas.

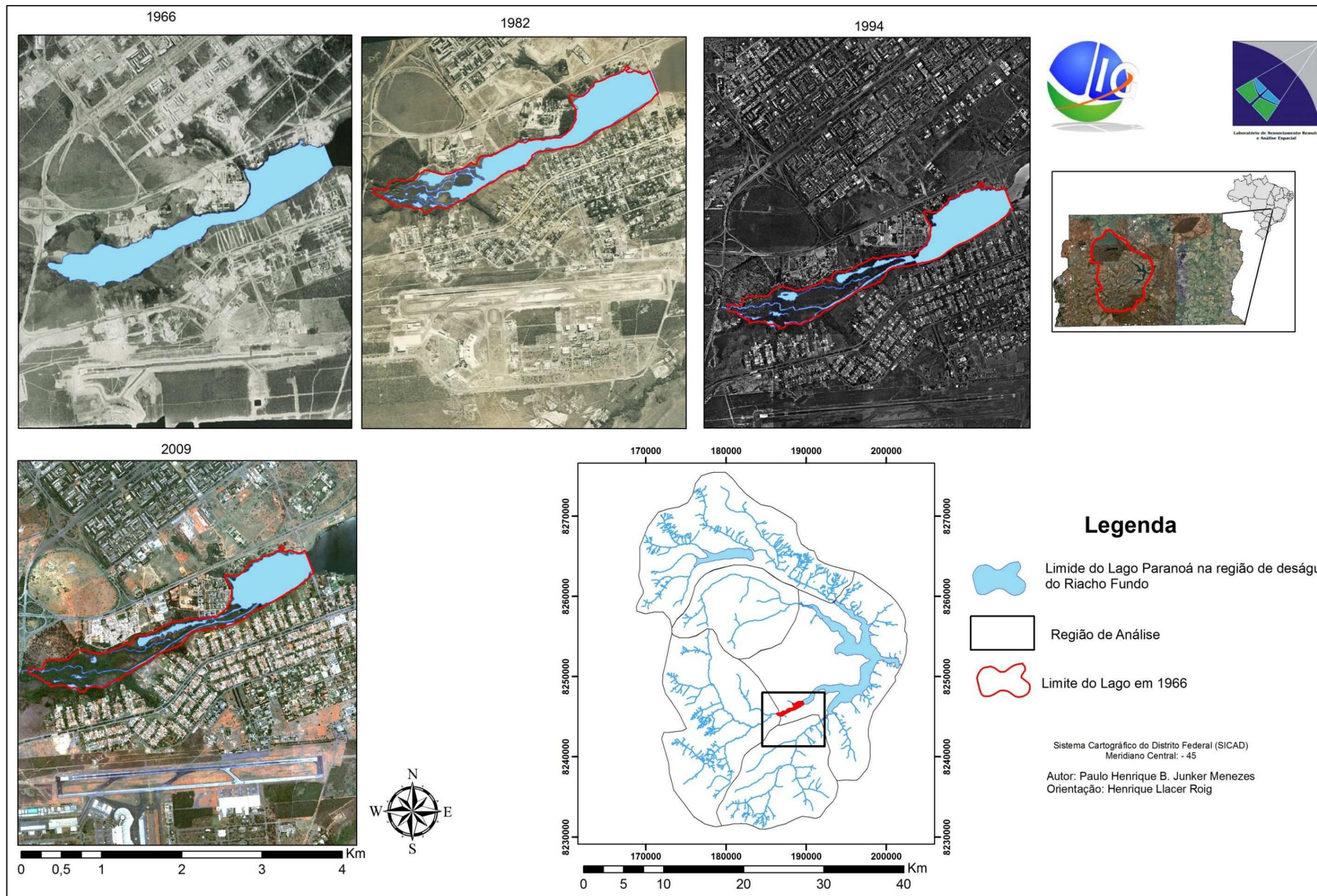


Figura 53: Mapas da variação da borda limite do espelho d'água do Lago Paranoá no Braço do Riacho Fundo entre 1966 e 2009.

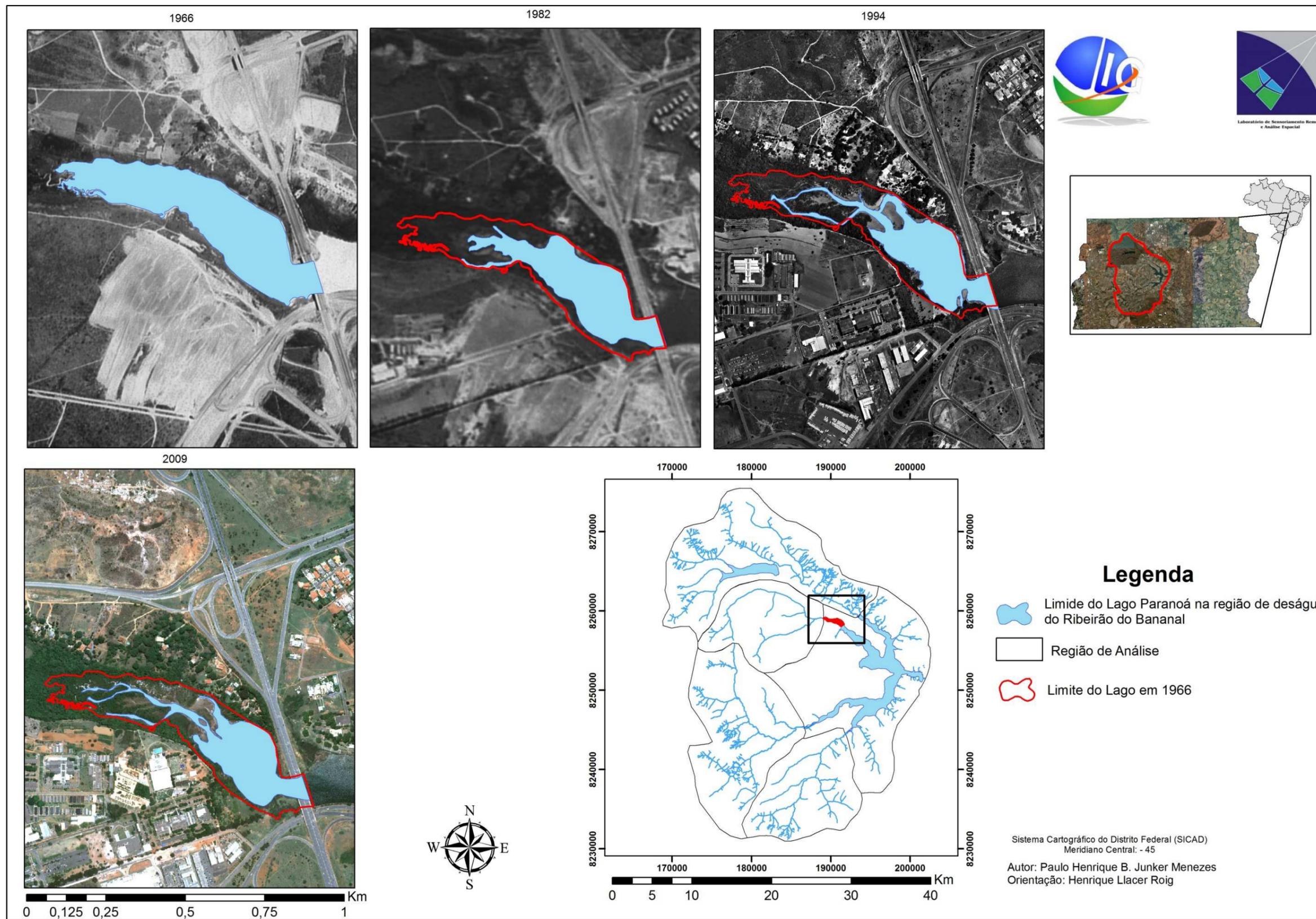


Figura 54: Mapas da variação da borda limite do espelho d'água do Lago Paranoá no Braço do Ribeirão Bananal entre 1966 e 2009

Tabela 27: Valores da área do Lago nas regiões dos Braços do Riacho Fundo e do Ribeirão do Bananal entre 1966 e 2009

	1966	1982	1994	2009
Ribeirão Bananal	0,13	0,08	0,06	0,06
Riacho Fundo	1,31	0,98	0,68	0,56

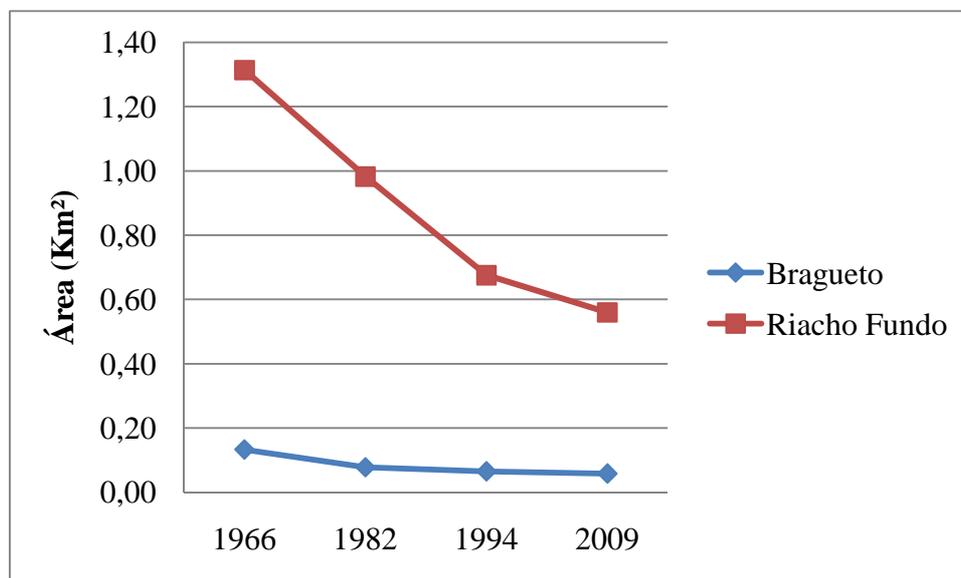


Figura 55: Gráfico da Evolução da perda de Área nas regiões do Riacho Fundo e do Ribeirão do Bananal entre 1966 e 2009.

Analisando a tabela 27 e o gráfico da figura 55 pode-se perceber que ambas as regiões sofrem com a perda de área consequente do assoreamento do Lago Paranoá. Porém, no braço onde deságua a unidade hidrográfica do Riacho Fundo, essa perda de área ocorre com maior intensidade, o que fica evidente pela curva do gráfico. Nessa região a perda de área do espelho d'água do Lago chega a atingir 0,75 km² de 1966 até o ano de 2009, o que equivale a aproximadamente 2% da área que ocupa o Lago Paranoá.

No braço onde deságua a unidade hidrográfica do Ribeirão Bananal, a perda de área da superfície do Lago atinge 0,07Km². Nessa região a perda de área ocorre até o ano de 1994, onde, a partir daí, a área ocupada pelo lago nessa região se estabiliza. Essa perda de área representa aproximadamente 0,2% da área que ocupa o Lago Paranoá.

Fica evidenciado nesta última análise que a unidade hidrográfica do Riacho Fundo é a região que mais exerce pressão ambiental sobre o Lago Paranoá, fato que foi apresentado nas análises dos capítulos 2 e 3 deste trabalho.

Um estudo apresentado pela CAESB (2003) avaliou a situação de perda de volume nas regiões do Lago Paranoá até o ano de 2003. Nesta análise, nos estudos realizados para a CAESB foram utilizados os levantamentos topográficos e topobatimétricos para as datas de 1958, 1983 e 2003. No entanto, neste trabalho não é

feito menção de como as bases foram ajustadas, visto que nem a CODEPALN nem a Terracap, utilizam estas bases, devido à falta de referência. O resultado deste trabalho apresenta a espessura assoreada para os braços do Lago Paranoá (tabela 28).

Tabela 28: valores da espessura assoreada nos braços do Lago Paranoá

<i>Setor</i>	<i>Volume (m³/m²) → Espessura(m)</i>
Braço do Riacho Fundo	2,8
Braço do Ribeirão do Gama	2,0
Braço do Ribeirão do Torto	2,0
Braço do Ribeirão Bananal	2,4

Fonte: adaptado de CAESB, 2003.

Deste modo, as duas regiões analisadas neste capítulo, em termos de perda foram as que apresentaram a maior camada assoreada até o ano de 2003.

No entanto, observações realizadas durante o levantamento batimétrico, com a amostragem de um perfil de sedimentos, na foz do Riacho Fundo, em frente à ETE Sul, determinaram, pelo menos, 3 m de espessura de sedimentos inconsolidados, evidenciando que a cunha de sedimentos, nesta região, tenha no mínimo, esta espessura. Além deste fato, a análise de datação deste perfil pelo método Pb₂₁₀ revelam a idade da base do perfil de, pelo menos, 40 anos.

O volume assoreado até a data atual não pode ser levantado em virtude da qualidade dos dados batimétricos, dos períodos anteriores disponibilizados para esta pesquisa. Embora para este momento esta comparação não possa ser concluída, os estudos continuam em desenvolvimento com vista, em um futuro próximo, poder-se avaliar, com maior precisão, a taxa de assoreamento do lago Paranoá.

4.5 Conclusão

Os resultados obtidos neste capítulo reforçam a relação entre os fenômenos de expansão urbana desordenada, na bacia hidrográfica do Lago Paranoá, com os problemas de assoreamento do Lago.

Os resultados dos capítulos 2 e 3 apontam a unidade hidrográfica do Riacho Fundo como a mais impactada pelos processos de expansão urbana (impermeabilização do solos) e aumento das taxas de escoamento superficial para o evento de precipitação simulado (50 mm).

Esse fato se confirma nos resultados deste capítulo, visto que a região do Lago Paranoá que mais sofreu com o assoreamento foi a região abastecida por essa unidade hidrográfica. Embora os resultados apresentados não mostrem a quantidade em volume assoreada, a análise do avanço das bordas limites do lago, e a perda de área, nesta região levantam a hipótese de que esta mesma região, também pode ser a que mais perdeu em volume. Isso pode ser estimado para a data de 2009, com base nos dados apresentados pela CAESB em 2003, no Plano de gestão do Lago Paranoá, onde apresenta essa unidade como a que mais sofreu perda de volume, tabela 28.

A dinâmica deste fenômeno pode ser mais bem entendida com a comparação dos dados batimétricos e amostragem de perfis para estudos de datação (Pb^{210}), com maior densidade de pontos amostrados.

Capítulo 5 – Considerações Finais

De acordo com o objetivo proposto nesta dissertação de mestrado, as considerações finais podem ser feitas com relação à adequação dos métodos de análise, utilizados em cada etapa do trabalho, e os resultados alcançados.

Quanto às análises de expansão urbana apresentadas no capítulo 2, o método utilizado permitiu identificar como evoluiu a ocupação urbana, dentro da bacia, quais foram os períodos em que essa expansão ocorreu de maneira mais intensa, e quais as regiões mais afetadas pelo crescimento urbano desordenado. Para analisar a característica da expansão urbana, o nível de detalhamento dos mapas atendeu aos objetivos propostos neste capítulo.

A bacia hidrográfica do Lago Paranoá passou por um intenso processo de expansão urbana, desde o início da construção de Brasília. A situação seria mais caótica se não fosse a presença das unidades de proteção ambiental localizadas na bacia.

Os resultados deste capítulo levam a crer que a expansão urbana pode resultar no colapso da unidade hidrográfica do Riacho Fundo, com respeito aos diversos impactos ambientais, resultantes da falta de planejamento da expansão urbana.

A última tendência de evolução desta bacia é a completa substituição das áreas de agricultura, localizada nas bordas da bacia por núcleos urbanos, isso se não houver modificações no status das unidades de conservação.

Os estudos da dinâmica do uso da bacia estão em andamento e deverão ser apresentados em trabalhos de pesquisa posteriores, a fim de determinar como foi o comportamento da expansão urbana, na bacia, e iniciar estudos de projeção (modelos preditivos) da expansão urbana.

Quanto às análises de comportamento do escoamento superficial, pode-se concluir que há forte relação, com o crescimento urbano. As regiões com maior quantidade de área urbana são, também, as regiões com maiores valores de escoamento superficial, como já era esperado.

Os resultados sobre a dinâmica de escoamento superficial podem ser melhorados em função dos planos de informação integrados no modelo utilizado, uso e ocupação do solo, classe de solos hidrológicos e os complexos hidrológicos.

As conclusões com relação à elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo, com o objetivo de se trabalhar com geração de escoamento superficial, em eventos de

precipitação simulados, podem ser feitas com base no nível de detalhamento na definição das classes de uso.

Como a bacia do Lago Paranoá é caracterizada por uma vasta heterogeneidade, no seu padrão de uso e ocupação, e nas transições dos tipos de uso do solo, ao longo da série histórica de análise; estudos neste sentido devem ser realizados em uma escala de detalhe, que permita delimitar e distinguir melhor algumas classes de uso e ocupação do solo.

As classes que exigem uma análise mais detalhada são as áreas urbanas, e de agriculturas. Na região da Bacia do Lago Paranoá, as classes de áreas urbanas são marcadas por uma grande diferença, em termos de quantidade de áreas verdes presentes.

Esta característica faz com que o escoamento superficial nestas regiões tenha um comportamento muito variado.

A classe denominada como agricultura neste trabalho, pode ser melhor detalhada em função do tipo de cultivo e de manejo do solo. Estas duas características são determinantes na quantidade de água que pode vir a escoar em áreas de cultivo.

Para tanto, um trabalho de mapeamento de uso e ocupação realizado com base em fotografias aéreas e imagens de sensores com alta resolução espacial seria indicado para este objeto de análise. Brasília possui um grande acervo de levantamentos aerofotogramétricos que podem ser utilizados. Estes dados estão sendo levantados junto aos órgãos de gestão territorial do DF e serão processados para melhorar os resultados dos projetos de pesquisa, apresentados no capítulo 1.

Quanto ao mapa de classificação dos solos em grupos hidrológicos cabe ressaltar a necessidade de uma pesquisa integrando informações que controlem o comportamento da infiltração da água no solo.

Sugere-se ainda a realização de testes de infiltração de água nos diferentes tipos de solos e também nas áreas verdes, que circundam as áreas urbanas. A justificativa para os testes de infiltração nas áreas verdes, dentro das zonas urbanas se baseia no fato de que as áreas urbanizadas, geralmente, passam por um processo de terraplanagem que compacta o solo, alterando sua estrutura natural dificultando, assim, a infiltração da água no solo. Portanto as áreas verdes que circundam as zonas urbanas podem ter um comportamento do escoamento superficial muito diferente de áreas com cobertura vegetal natural.

Esses testes podem auxiliar na determinação da classe hidrológica que os tipos de solo da bacia se enquadram, e também, na definição dos valores de CN para os complexos hidrológicos identificados na bacia.

O comportamento do escoamento superficial pode ser melhor simulado, com a instalação de uma rede de estações hidrológicas que permitam trabalhar com eventos de chuva registrados, e com as alterações provocadas por esse evento na vazão das redes de drenagem, que compõem a bacia. Com isso pode se identificar o valor efetivo do escoamento superficial, se comparar os dados de vazão em eventos de precipitação com dados de vazão dos dias em que não ocorre chuva na bacia.

A integração dos dados de vazão, de infiltração e de precipitação podem auxiliar na determinação das características de perdas iniciais (Ia) da bacia.

Para uma análise da variação do escoamento superficial pelo método de ponderação dos valores de escoamento superficial sugere-se a delimitação de sub-bacias, dentro das unidades hidrográficas, a fim de minimizar a heterogeneidade dos complexos hidrológicos, nas áreas de comparação.

Quanto ao assoreamento do Lago Paranoá, as considerações podem ser feitas sobre duas óticas. A primeira com relação à perda de área do espelho d'água. Nesta etapa recomenda-se a utilização de fotos aéreas do mesmo período, ou o mais próximo possível dos dados de uso e ocupação levantados no trabalho. A segunda, com relação a quantificação do assoreamento, que pode ser feita a partir da comparação de dados batimétricos de diferentes datas.

Para se obter um entendimento mais quantitativo sobre as características da bacia que levam a ocorrência do depósito de sedimentos e assoreamento do Lago Paranoá, sugere-se a instalação de uma rede de monitoramento hidrossedimentológico. Com isso pode-se trabalhar com modelos de erosão, geração, transporte e deposição de sedimentos dentro da bacia.

Outra informação que pode contribuir para o entendimento da dinâmica de produção de sedimentos que aportam ao Lago Paranoá é a amostragem de perfis de sedimentos, nas regiões assoreadas e dentro da superfície do lago. Métodos de datação dos perfis podem determinar a idade da camada depositada, e assim identificar o período de maior geração de sedimentos na bacia. Análises laboratoriais com os sedimentos podem, também, identificar a origem e assim mapear as áreas fontes desses sedimentos.

Por fim, recomenda-se a utilização de modelos matemáticos de simulação integrando dados observados em campo, a fim de calibrar um modelo que possa representar mais fielmente a realidade da dinâmica ambiental verificada na Bacia do Lago Paranoá, auxiliando, dessa forma, a gestão e tomada de decisão – por parte do poder público – para a manutenção da qualidade e quantidade de água disponibilizada para usos múltiplos, atendendo, assim, os objetivos da criação do Lago Paranoá.

Capítulo 6 Referências Bibliográficas

- Abers, R.. Projeto Marca d'água: A Bacia do Rio Paranoá, Brasília - Distrito Federal. Núcleo de Pesquisa em Políticas Públicas, Universidade de Brasília, 2002.
- Andrade, F.T.B., Silva, J.F.R, Coelho, L.S. (2001). "Produção de sedimentos nas bacias dos rios Pindaré, Mearim, Grajaú e Itepecuru – MA". Anais do XIV Simposio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju, SE.
- Anjos, R. S. A. Dos; Albuquerque, R. N.; Soares, A. F.. Mapeamento de Uso da Terra no Distrito Federal - 1964. Espaço & Geografia, Brasília, v. 5, n. 1, p.233-247, 15 mar. 2002.
- Anjos, R. S. A. Dos. Dinâmica Territorial: Cartografia - monitoramento - modelagem. Brasília: Mapas Editora & Consultoria, 2008. 124 p.
- Aquino, D. do N. et al. Estimativa do escoamento superficial em microbacia do semi-árido brasileiro pelo emprego do SIG. Revista Tecnologia, Fortaleza, v. 29, n. 1, p.37-45, jun. 2008. Disponível em: <<http://www.unifor.br/notitia/file/2203.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2009.
- Araújo, C.C., Marques, J.A.V.; Neto, A.R.S.; Dourado, J.C.; Machado, R.N.S. (2003). "Estudo da produção de sedimentos da sub-bacia do ribeirão Taquaruçu Grande (TO)." Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, PR.
- Araujo Filho, M. da C.; Meneses, P. R.; Sano, E. E. Sistema de classificação de uso e cobertura da terra com base na análise de imagens de satélite. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v. 02, n. 59, p.171-179, ago. 2007
- ASSEL & CLDF. A força do entorno elaborado pela Assessoria Legislativa (ASSEL) da Câmara Legislativa do Distrito Federal (CLDF),1999
- Banzhaf E.; Hofer, R. Monitoring urban structure types as spatial indicators with CIR aerial photographs for a more effective urban environmental management. Ieee Journal Of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing, v. 2, n. 1, p.129-138, June 2008.
- BertolaniI, F. C.; Vieria, S. R.. Variabilidade Espacial da Taxa de Infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um argissolo vermelho-amarelo, sob diferentes usos. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa - Mg, n. 25, p.987-995, 2001.
- Bertoni, J. C.; Tucci, C.E.M.. Precipitação. In: Tucci, C.E.M.. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2007. Cap. 5, p. 177-241.
- Beskow, S. et al. Estimativa do Escoamento Superficial em uma Bacia Hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa - Mg, v. 33, n. 1, p.169-178, jan – fev. 2009.

- Bicalho, C. C. (2006). Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Descoberto. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 123p.
- CAESB. Plano de Gestão e Preservação do Lago Paranoá: Produto 1- Levantamento, Caracterização e Situação Atual. Brasília - DF, 2003.
- Campos, S.P.; Simões, L.B.; Ribeiro, L.F.; Zimback, C.R.L. 1998. Krigagem ordinária na avaliação da suscetibilidade de solos à erosão. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 6, Presidente Prudente, Resumo, p. 107.
- Campagnoli, F. 2002. A aplicação do assoreamento na definição de geoindicadores ambientais em áreas urbanas: exemplo na bacia do Alto Tietê, SP. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 195 p.
- Campos J.E. G. & Freitas-Silva F.H. 1998. Geologia do Distrito Federal. In: IEMA/SEMATEC/UnB. Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal, parte I, 86 pp.
- Carvalho, N. O. Hidrossedimentologia Prática. 2. ed. Rio de Janeiro - Rj: Interciência, 2008. 599 p.
- Carvalho, J.C.; Sales, M.M.; Souza, N.M.; Melo, M. T. S. 2006. Processos Erosivos no Centro- Oeste Brasileiro. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC.
- Carvalho N. O. Filizola N. P., Santos P.M.C. dos, Lima J.E.F.W. 2000. Guia de Avaliação de assoreamento de reservatórios. ANEEL, Brasília, 132p.
- CODEPLAN. Atlas do Distrito Federal, 1984
- CODEPLAN. Anuário Estatístico do Distrito Federal. Governo do Distrito Federal, 1996.
- CODEPLAN - Síntese de Informações Socioeconômicas, 2008 / Companhia de Planejamento do Distrito Federal; Brasília: Codeplan, 2008. 89 p.
- Condé, R. C. C., 1998. Vegetação do Distrito Federal. In: IEMA/SEMATEC/UnB. Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal, parte I, p. 165 – 183.
- Diniz, N.C. 1998. Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para a avaliação ambiental. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Epusp, Tese de Doutorado, 2 v. 297 p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Levantamento e Reconhecimento de Solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro, EMBRAPA/Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Boletim Técnico, 53), 1978.

- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412 p.
- Echeverria, R. M., Avaliação de Impactos Ambientais nos Tributários do Lago Paranoá, Brasília– DF. Dissertação (Mestrado) 2007 - Departamento de Instituto de Geociencias, Universidade de Brasilia, Brasilia – DF
- Fangmeier, D. D.; Elliot, W. J.; Workman, S. R.; Huffman, R. L.; Schwab, G. O. Soil and water conservation engineering. 5. ed. Thomson Delmar Learning, 2005. 501p. ISBN 1-4018-9749-5.
- Faria, A. Mapas geológicos do Distrito Federal. Brasília, DNP/ UnB, 1997.
- Fragoso Jr., C. R.; Ferreira, T. F.; Marques, D. da M.. Modelagem Ecológica em Ecossistemas Aquáticos. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 304 p.
- Felizola, E.r.; Lago, F. P. de L. S.; Galvão, W. S.. Avaliação da dinâmica da paisagem no Distrito Federal. Projeto da Reserva da Biosferado Cerrado - Fase I. In: Anais do X Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguacu: INPE, 2001. p. 1593 - 1600.
- Ferrante J.E.T., Rancan L., Netto P.B. 2001. Meio Físico In: Fonseca, F. O. Olhares sobre o Lago Paranoá, Brasília – DF: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, SEMARH 2001, 1ª edição Cap. 3p. 45-79.
- Ferreira, D. S. et al. Estimativa do escoamento superficial na bacia do Córrego João Pedro através de técnicas de geoprocessamento. In: Anais do I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: O Eucalipto e o ciclo hidrológico, Taubaté, IPABHi, 2007. p. 163 - 169. Disponível em: <<http://www.agro.unitau.br/serhidro/doc/pdfs/163-169.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2009.
- Fonseca, F. O. Olhares sobre o Lago Paranoá. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH, Brasília-DF. (2001). 425 p.
- Fontes, A. R. M.; Barbassa, A. P.; Diagnóstico e Prognóstico da Ocupação e da Impermeabilização Urbanas. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p.137-147, jun. 2003.
- Fortes, P. de T. F. de O.; Barroso, E. W. de S.; Guedes, C. E. de O. . Regularização fundiária em imóveis da União no Distrito Federal: Parte 1: demarcação de imóveis. In: Anais do XIII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis; INPE, 2007. p. 5233 - 5240

- Garcia, A.R.; Machado, C.C.; Silva, E.; Souza, A.P.; Pereira, R.S. Volume de enxurrada e perda de solo em estradas florestais em condições de chuva natural. *Revista Árvore*, v.27, n.4, p.535-542, 2003. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01007622003000400014. Acessado em 25 de novembro de 2009.
- Grecchi, R.C. & Pejon O.J.. Estudos geoambientais da região de Piracicaba - SP, focalizando o problema de erosão linear, com auxílio do sistema de informação geográfica. In: *Simpósio Nacional de Controle de Erosão*, 6, Presidente Prudente, Resumo, 1998 p. 105.
- Giustina, C. C. D., Avaliação do potencial de poluição de recursos hídricos a partir de águas pluviais: o caso da bacia do Paranoá - DF. 2006. 80 f. Dissertação de Mestrado - Curso de Geologia, Departamento de Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- Godoy, M. M. G.; Soares Filho, B. S.. Modelagem da Dinâmica Intra-urbana no Bairro Savassi, Belo Horizonte. In: Almeida, C. M. de; Câmara, G.; Monteiro, A. M. V.. *Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. Cap. 13, p. 286-304.
- Gonçalves, T. D.; Geoprocessamento como ferramenta de apoio à gestão dos recursos hídricos subterrâneos no Distrito Federal. 2007. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Departamento de Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Cap. 3.
- Heller, L.; Pádua, W. L. de. *Abastecimento de Água para Consumo Humano*. Belo Horizonte: UFMG, 2006. 859 p.
- Ito, A. Simulated impacts of climate and land-cover change on soil erosion and implication for the carbon cycle, 1901 to 2100. *Geophysical Research Letters*, v. 34, n.9, 2007.
- Jensen, J. R.; *Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. 2. ed. São José Dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.
- Julien P.Y. (Eds.) 1998. *Erosion and Sedimentation*. Cambridge University Press. Cambridge. 277p
- Kucukmehmetoglu, M.; Geymen, A. Urban sprawl factors in the surface water resource basins of Istanbul. *Land Use Policy*, Istanbul, p. 569-579. Julho de 2008. Disponível em: www.elsevier.com/locate/landusepol Acesso em: 13 abr. 2009.
- Kutner, A. S.; Conte, A. E.; Nitta, T. Análise Geológica e Caracterização dos Solos para avaliação do coeficiente de escoamento superficial na bacia do Alto Tietê. In: *XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Aracajú-SE, 25 - 29/11/2001, ABRH.

- Lima, J. D. C. V. Análise da ferramenta ArcCN RUnoff na simulação de infiltração e do escoamento superficial de água na microbacia hidrográfica do córrego capetinga, Distrito Federal. 2009. 50 f. Monografia de Especialização Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- Lombardi Neto, F.; Bellinazzi Júnior, R.; Galeti, P. A.; Bertolini, D.; Lepsch, I. F.; Oliveira, J. B. Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços. Simpósio sobre terraceamento agrícola. Campinas, 1989. Fundação Cargill. p. 99-124.
- Macêdo, Í. L.. Aplicação do balanço de sedimento em ambiente de geoprocessamento na avaliação do impacto do assoreamento em reservatório: o caso da bacia do rio Indaiá - UHE Três Marias, MG. 2009. 312 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- Machado, R. E.. Simulação de Escoamento e Produção de Sedimentos em uma Microbacia Hidrográfica utilizando técnica de Modelagem e Geoprocessamento. 2002. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Departamento de Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. Cap. 2
- Maeda, E. E., Influência das mudanças do uso e cobertura da terra no escoamento superficial e produção de sedimentos na Região da Bacia do Alto Rio Xingu. São José dos Campos: INPE, 2008. 104p.
- Maia, P. D.. Estudo Gequímico de Metais Pesados em Sedimentos do Lago Paranoá - DF. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Departamento de Instituto de Geociências, Iuniversidade de Brasília, Brasília, 2003. 112 p.
- Marini, O. J.; Fuck, R. A.; Danini, J. C. M.; Dardenne, M. A.; Logueiro, S. O. C.; Ramalho, R. 1984. As Faixas de Dobramento Brasília, Uruaçu e Paraguai – Araguaia e Maciço Meridiano de Goiás. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D. A.; Derze, G. R.; Asmus, H. E. (org) Geologia do Brasil. Brasília., p. 252 – 303.
- Mendes, C. A. B.; Cirilo, J. A. (2001). Geoprocessamento em Recursos Hídricos Princípios: Integração e Aplicação. ABRH, Porto Alegre-RS, 536p.
- Mendes Filho, W. M.; Vendrame, I. F.; Carvalho, R. G. de. Utilização de sistema de informações geográficas para o mapeamento do potencial de retenção de águas pluviais no município de São José dos Campos – SP. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. Inpe, 2007. p. 3452 - 3460.
- Meneses, L. F. de.; Ortorretificação de fotografias aéreas de pequeno formatol. 2007. 77 CEFET - Pb, João Pessoa, 2007

- Moreira, R. C. A., Referência Geoquímica Regional para a Interpretação das Concentrações de Elementos Químicos em Sedimentos na Bacia do Lago Paranoá - DF. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Departamento de Instituto de Geociências, Iuniversidade de Brasília, Brasília, 2002. 112 p.
- Moreira R. C.A & Boaventura, G.R. 2003. Referência Geoquímica Regional para a Interpretação das Concentrações de Elementos Químicos nos Sedimentos da Bacia do Lago Paranoá – DF. Revista Química. Nova, Vol. 26, No. 6, 812-820, 2003
- Mullem, J. A.V.et al. Runoff Curve Number Method: Beyond the Handbook. 2003. Disponível em: <<http://www.bossintl.com/download/Runoff-Curve-Number-Method-Beyond-The-Handbook.doc>>. Acesso em: 05 jan. 2010
- Novaes Pinto, M. & Carneiro, P. J. R. Análise preliminar das feições geomorfológicas do Distrito Federal. In: Anais do IV Congresso Brasileiro de Geógrafos, São Paulo, livro II, v. 2, p. 190-213, 1984.
- Novaes Pinto, M. Unidades geomorfológicas do Distrito Federal. Geografia. Marília, SP, 11(21): 97-109, 1986.
- Novaes Pinto, M. Aplainamento nos trópicos – uma revisão de conceitos. Geografia, Marília, SP, 13(26): 119-129, 1988.
- Oliva, A. Q.; Cavalcante, C. V.; Fonseca, F. O.; Netto, P. B.; Ogliari, T. C.. Uso e Ocupação do Solo. In: Fonseca, F. O.. **Olhares sobre o Lago Paranoá**. Brasília - Df: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, SEMARH, 2001.1ª edição Cap. 10 , p. 213-272
- Pereira, L.P. Avaliação Econômica do Uso do Lago Paranoá para Atividades Recreacionais. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/ UnB/ Brasília, 2006
- Pickbrenner K.; Pedrollo, K.M.C.; Risso A.2005. Determinação do CN utilizando geoprocessamento: simulação hidrológica na bacia do rio criciúma. CPRM. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/pa/Determinacao%20do%20CN%20utilizando%20geoprocessamento.pdf>, acesso em 19 de novembro de 2009.
- Pimentel, M. M.; Dardenne, M. A.; Fuck, R. A.; Viana, M. G.; Junges, S. L.; Seer, H. J.; Fischel, D. P., 2001. Nd Isotopes and the provenance of sediments of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil. Journal of South American Earth Sciences, 14: 571 – 585.
- Pinto, S.A.F. 1998. Geoprocessamento aplicado à caracterização de indicador da erosão do solo: Exemplo da bacia hidrográfica do Ribeirão Claro - SP. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 6, Presidente Prudente, Resumo, p. 106.

- Pott, A. C. Determinação da velocidade de infiltração básica de água no solo por meio de infiltrômetros de aspersão, de pressão e de tensão, em três solos do Estado de São Paulo. Campinas, 2001. 65p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Agrônômico
- Pruski, F. F.; Brandão, V. Dos S.; da Silva, D. D. escoamento Superficial. Viçosa - Mg: UFV, 2003. 88 p
- Pruski, F.F.; Rodrigues, L.N.; Silva, D.D. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.2, p.301-307, 2001.
- Queiroz, E. P. de. A formação histórica da região do Distrito Federal e entorno: dos municípios-gênese à presente configuração territorial. 2007. 135 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Departamento de Geografia, Instituto de Ciências Humanas. Brasília, 2007
- Rauhofer, J.; Jarret, A.R.; Shannon, R.D. Effectiveness of sedimentation basins that do not totally impound a runoff event. Transactions of the ASAE, v.44, n.4, p.813-818, 2001.
- Ridente Jr., J.L.; Cerri, L.E.S.; Canil, K.; Iwasa, O.Y.; Augusto Filho, O. 1998. Risco potencial de erosão da área urbana e periurbana de São José do Rio Preto - SP, visando à prevenção. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 6, Presidente Prudente, Resumo, p. 125.
- Roig, H.L. 2005. Modelagem e Integração de processos erosivos e do transporte de sedimentos – O caso da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Tese de Doutorado. IG-UnB. 215p
- Ruhoff, Anderson Luis. Modelagem dinâmica de escoamento superficial na Bacia do Arroio Grande, RS. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis; INPE, p. 3529 - 3531
- Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Oliveira, J. B.; Coelho, M. R.; Lumbresas, J. F.; Cunha, T. J. F. 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SBCS. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos. 306p.
- Sartori, A. 2004. Avaliação da classificação hidrológica do solo para determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos. Universidade de Campinas, Campinas – SP, dissertação de Mestrado, 159p.
- Sartori a, A.; Lombardi Neto, F.; Genovez, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 2: Aplicação. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 4, n. 10, p.19-29, dez. 2005.

- Sartori b, A.; Lombardi Neto, F.; Genovez, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 4, n. 10, p.05-18, dez. 2005.
- SEINFRA-DF – 2005 - Secretaria De Infra-estrutura e Obras - (Org.). Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal: Caderno Distrital de Recursos Hídricos. Brasília, 2005. 101 p.
- Setti, A.A.; Werneck Lima, J. E. F.; Miranda Chaves, A. G.; Castro Pereira, I. C. Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Agência Nacional de Águas (ANA). Brasília, DF, 2001. 328 p.
- Setzer, J; Porto, R. L. L. Tentativa de avaliação do escoamento superficial de acordo com o solo e seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo. São Paulo, 1979. Boletim Técnico DAEE. v.2, n.2, p. 81-104.
- Shen H.W. & Julien P.Y. 1992. Erosion and Sediment transport. In: Handbook of Hydrology. D.R. Maidment (eds.) McGraw-Hill., New York, 452-472.
- Shi, P. J.; Yuan, Y.; Zheng, J.; Wang, J. A.; Ge, Y.; Qiu G. Y. The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region, China. Catena, v. 69, n.1, p.31 – 35, 2007
- Silva, S. A. da. Avaliação do Assoreamento do Lago Bonsucesso, Jataí - GO. 2007. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade do Paraná, Curitiba, 2007.
- Silva, J. M. A. et al. Modelo para a obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas. 2. Avaliação. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v. 4, n. 2, p.192-197, jun. 2009. Disponível em: <<http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=viewFile&path%5B%5D=218&path%5B%5D=316>>. Acesso em: 02 jan. 2010.
- Silva, J.R.C. & Degloria, S.D. & Philipson N, W.R. & Mcneil, R.J. 1993. Estudo da mudança de uso da terra através de um sistema de análise georreferenciada. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 7. P. 451-457
- Soares, F. S.; Alves, F. Análise multitemporal do desenvolvimento urbano do Distrito Federal. In: XIV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP., 2004, Caxambú- Mg. 2004
- Soares-Filho, B.S., Cerqueira, G.C., Araújo, W.L., Voll, E. 2004. Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. In: Ferramentas para modelagem da distribuição de espécies em ambientes tropicais. Albernaz A.L., Silva J.M.C. da, Valeriano,D.(editores) Editora Museu Paraense Emílio Goeldi.

- Tucci C. E. M.. Modelos Hidrológicos. Porto Alegre: UFRGS/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998.
- Tucci, C. E. M.. escoamento Superficial. In: Tucci, C.E.M.. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2007. Cap. 11, p. 391-442.
- UNESCO. Vegetação no Distrito Federal – Tempo e Espaço. 1ª Ed, Brasília – DF: 2000. 74p.
- UNESCO. Vegetação do Distrito Federal. Tempo e Espaço: Uma avaliação multitemporal da perda de cobertura vegetal no DF e da diversidade florística. 2. ed. Brasília - Df:2002. 80 p
- Valentin, E. F. D. Modelagem Dinâmica de Perdas de Solo: o Caso do Alto Curso da Bacia Hidrográfica doRio Descoberto-DF/GO. 2008. 149 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2008. Cap. 5.
- Wilson Jr., G. 1998. Variações morfológicas na bacia hidrográfica do rio Iguaçu - RJ, devido às ações antrópicas. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 6, Presidente Prudente, Resumo, p. 95.
- Zhan, X. & Huang, M.L. 2004. ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. Environmental Modelling & Software 19 (10) 875-879.

ANEXO 1

***TABELAS E GRÁFICOS DA EVOLUÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NAS
UNIDADES HIDROGRÁFICAS QUE CONSTITUEM A BACIA HIDROGRÁFICA
DO LAGO PARANOÁ – DF.***

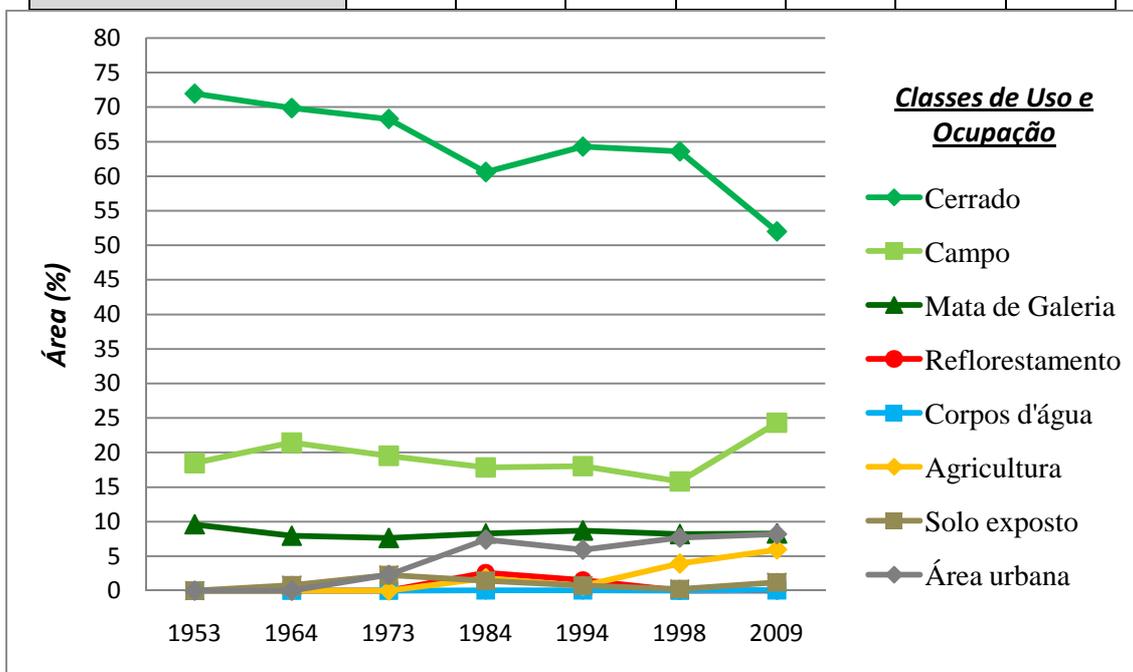
UNIDADE HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO BANANAL

Área em quilometro quadrado (km²) das classes de uso e ocupação do solo ao longo da série histórica para a unidade hidrográfica do Ribeirão Bananal

Classe	1953	1964	1973	1984	1994	1998	2009
Cerrado	88,8	86,2	84,2	74,8	79,3	78,5	64,2
Campo	22,8	26,4	24,1	22,0	22,3	19,5	30,0
Mata de Galeria	11,8	9,8	9,4	10,2	10,7	10,1	10,2
Corpos d'água	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1
Agricultura	0,0	0,0	0,0	2,2	0,8	4,8	7,3
Solo exposto	0,0	1,0	2,8	1,8	0,9	0,3	1,5
Reflorestamento	0,0	0,0	0,0	3,2	1,9	0,0	0,0
Área urbana	0,0	0,0	2,8	9,1	7,3	9,5	10,1

Área em porcentagem das classes de uso e ocupação do solo ao longo da série histórica para a unidade hidrográfica do Ribeirão Bananal

Classe	1953	1964	1973	1984	1994	1998	2009
Cerrado	71,9	69,9	68,3	60,6	64,3	63,6	52,0
Campo	18,5	21,4	19,5	17,8	18,0	15,8	24,3
Mata de Galeria	9,6	7,9	7,6	8,3	8,7	8,2	8,3
Corpos d'água	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1
Agricultura	0,0	0,0	0,0	1,8	0,7	3,9	5,9
Solo exposto	0,0	0,8	2,3	1,4	0,7	0,2	1,2
Reflorestamento	0,0	0,0	0,0	2,6	1,5	0,0	0,0
Área urbana	0,0	0,0	2,3	7,4	5,9	7,7	8,2



Análise temporal da variação em porcentagem de área das classes de uso e ocupação do solo para a unidade hidrográfica do Ribeirão Bananal

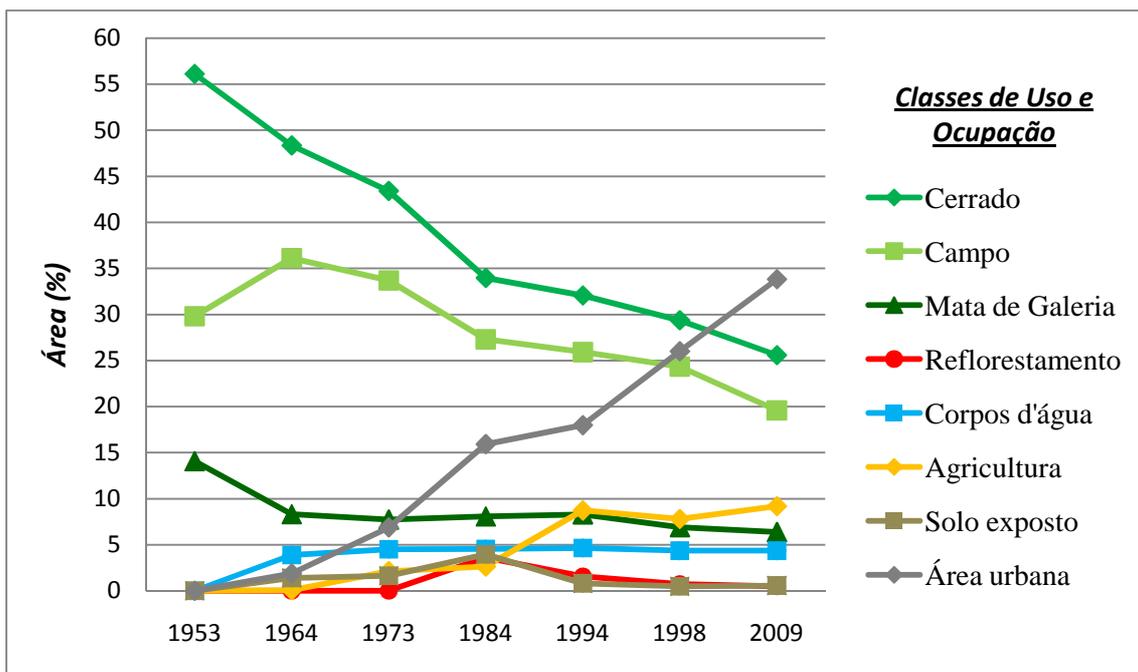
UNIDADE HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO GAMA

Área em quilometro quadrado (km²) das classes de uso e ocupação do solo ao longo da série histórica para a unidade hidrográfica do Ribeirão do Gama

Area(km ²)	1953	1964	1973	1984	1994	1998	2009
Cerrado	76,8	74,1	69,2	57,7	57,0	53,7	50,1
Campo	40,5	47,0	37,1	36,3	30,2	37,3	30,1
Mata de Galeria	23,9	19,1	13,8	12,7	12,4	10,0	11,1
Corpos d'água	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,2
Agricultura	0,0	0,0	17,6	0,0	6,7	5,6	8,1
Solo exposto	0,0	0,5	1,5	3,5	1,2	0,0	0,4
Reflorestamento	0,0	0,0	0,0	0,4	1,1	1,2	0,0
Área urbana	0,0	0,6	1,9	30,5	32,5	33,3	41,1

Área em porcentagem das classes de uso e ocupação do solo ao longo da série histórica para a unidade hidrográfica do Ribeirão do Gama

	1953	1964	1973	1984	1994	1998	2009
Cerrado	54,4	52,5	49,0	40,9	40,4	38,0	35,5
Campo	28,7	33,3	26,3	25,7	21,4	26,4	21,3
Mata de Galeria	16,9	13,5	9,8	9,0	8,8	7,1	7,9
Corpos d'água	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Agricultura	0,0	0,0	12,4	0,0	4,7	4,0	5,8
Solo exposto	0,0	0,3	1,1	2,5	0,9	0,0	0,3
Reflorestamento	0,0	0,0	0,0	0,3	0,8	0,9	0,0
Área urbana	0,0	0,4	1,3	21,6	23,0	23,6	29,1



Análise temporal da variação em porcentagem de área das classes de uso e ocupação do solo para a unidade hidrográfica do Ribeirão do Gama

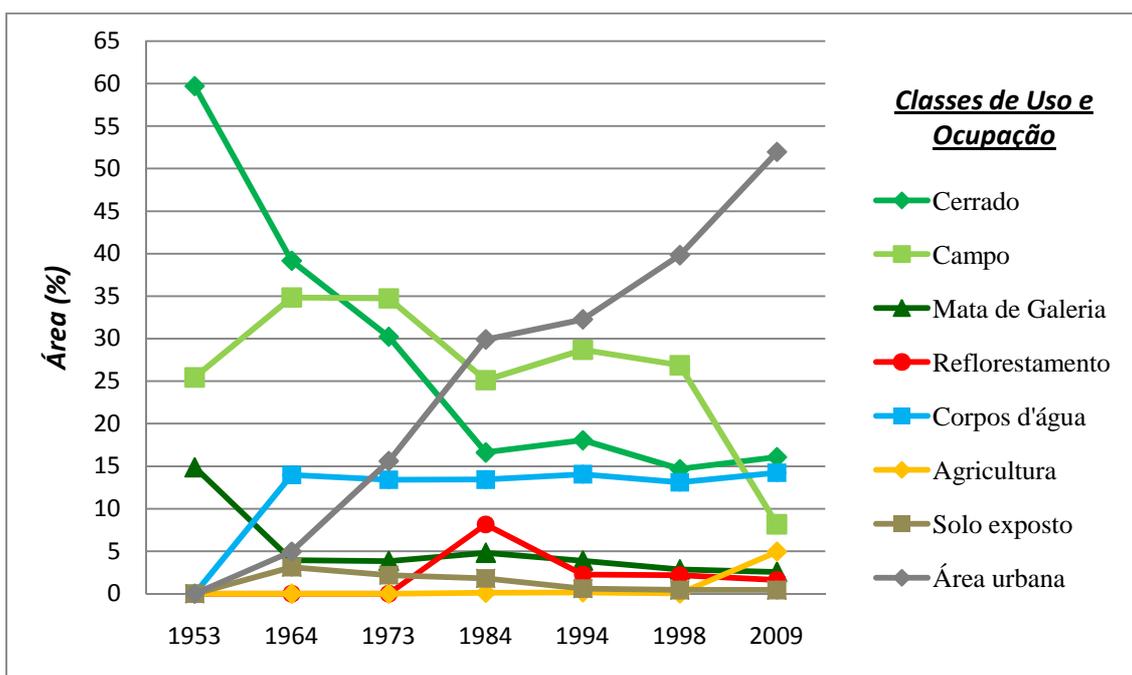
UNIDADE HIDROGRÁFICA DO LAGO PARANOÁ

Área em quilometro quadrado (km²) das classes de uso e ocupação do solo ao longo da série histórica para a unidade hidrográfica do Lago Paranoá

Area(km ²)	1953	1964	1973	1984	1994	1998	2009
Cerrado	166,6	109,3	84,4	46,4	50,4	41,0	44,9
Campo	71,0	97,3	97,0	70,2	80,1	75,0	22,8
Mata de Galeria	41,5	11,0	10,7	13,5	10,8	8,0	7,1
Corpos d'água	0,0	39,0	37,4	37,5	39,3	36,6	39,8
Agricultura	0,0	0,0	0,0	0,3	0,5	0,1	13,8
Solo exposto	0,0	8,7	6,1	5,1	1,7	1,2	1,2
Reflorestamento	0,0	0,0	0,0	22,8	6,3	6,1	4,5
Área urbana	0,0	13,8	43,5	83,5	90,1	111,2	145,0

Área em porcentagem das classes de uso e ocupação do solo ao longo da série histórica para a unidade hidrográfica do Lago Paranoá

	1953	1964	1973	1984	1994	1998	2009
Cerrado	59,7	39,2	30,2	16,6	18,1	14,7	16,1
Campo	25,4	34,9	34,7	25,1	28,7	26,9	8,2
Mata de Galeria	14,9	3,9	3,8	4,8	3,9	2,9	2,5
Corpos d'água	0,0	14,0	13,4	13,4	14,1	13,1	14,2
Agricultura	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	4,9
Solo exposto	0,0	3,1	2,2	1,8	0,6	0,4	0,4
Reflorestamento	0,0	0,0	0,0	8,2	2,2	2,2	1,6
Área urbana	0,0	4,9	15,6	29,9	32,3	39,8	51,9



Análise temporal da variação em porcentagem de área das classes de uso e ocupação do solo para a unidade hidrográfica do Lago Paranoá

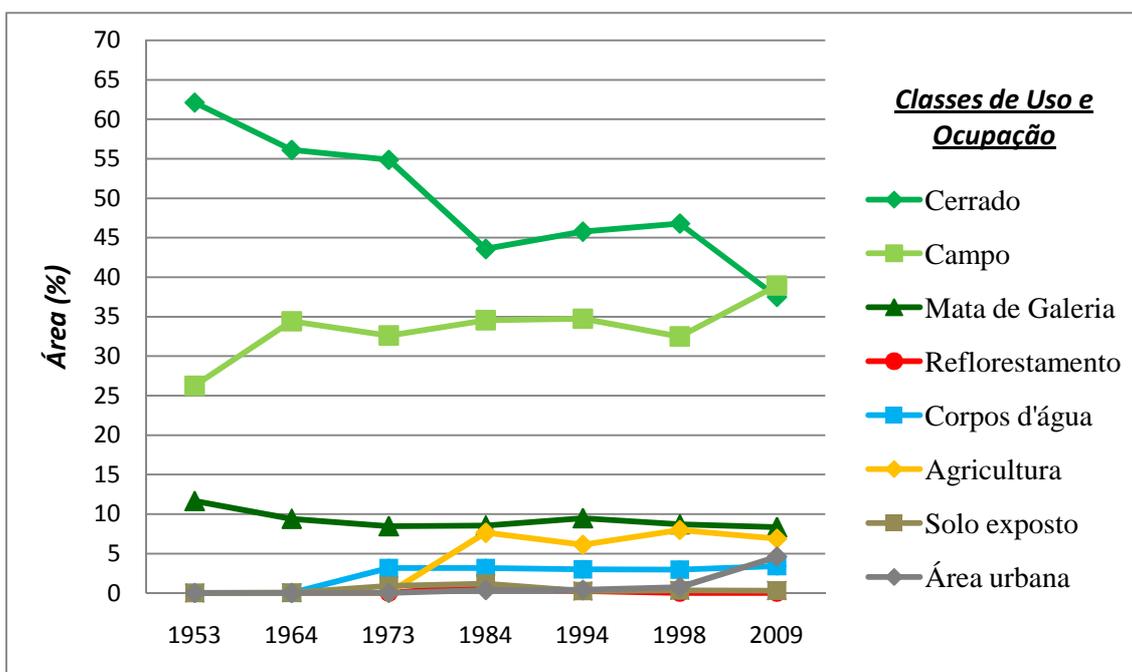
UNIDADE HIDROGRÁFICA DO SANTA MARIA/TORTO

Área em quilometro quadrado (km²) das classes de uso e ocupação do solo ao longo da série histórica para a unidade hidrográfica do Santa Maria/Torto

Classe	1953	1964	1973	1984	1994	1998	2009
Cerrado	151,0	136,4	133,4	105,9	111,3	113,7	91,2
Campo	63,8	83,6	79,3	84,0	84,4	79,0	94,6
Mata de Galeria	28,3	22,9	20,6	20,8	23,0	21,1	20,3
Corpos d'água	0,0	0,0	7,7	7,7	7,3	7,2	8,3
Agricultura	0,0	0,0	0,0	18,6	14,9	19,4	16,8
Solo exposto	0,0	0,1	2,2	2,9	0,6	0,8	0,7
Reflorestamento	0,0	0,0	0,0	2,3	0,6	0,0	0,0
Área urbana	0,0	0,0	0,0	0,9	1,0	1,8	11,2

Área em porcentagem das classes de uso e ocupação do solo ao longo da série histórica para a unidade hidrográfica do Santa Maria/Torto

Classe	1953	1964	1973	1984	1994	1998	2009
Cerrado	62,1	56,1	54,9	43,6	45,8	46,8	37,5
Campo	26,2	34,4	32,6	34,6	34,7	32,5	38,9
Mata de Galeria	11,6	9,4	8,5	8,6	9,5	8,7	8,3
Corpos d'água	0,0	0,0	3,2	3,2	3,0	3,0	3,4
Agricultura	0,0	0,0	0,0	7,6	6,1	8,0	6,9
Solo exposto	0,0	0,0	0,9	1,2	0,3	0,3	0,3
Reflorestamento	0,0	0,0	0,0	0,9	0,3	0,0	0,0
Área urbana	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,7	4,6



Análise temporal da variação em porcentagem de área das classes de uso e ocupação do solo para a unidade hidrográfica do Santa Maria/Torto