

ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO PADRÃO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DO LAGO PARANOÁ - DF

Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes¹

Henrique Llacer Roig²

Tati de Almedia³

Gervasio Barbosa Soares Neto⁴

Fábio Bakker Isaias⁵

Resumo: Mudanças nos padrões de uso e ocupação do solo 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 e transporte de sedimentos. 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 na bacia hidrográfica do Lago Paranoá, por meio de uma análise multi-temporal dos padrões de uso e ocupação do solo.

Palavras-Chave: Uso e ocupação do solo; Análise Multitemporal; Ação Antrópica.

ANALYSIS OF THE EVOLUTION OF LAND USE AND OCCUPANCY PATTERNS IN LAGO PARANOÁ'S TRIBUTARY WATER BASIN (DF)

Abstract: Changes in the patterns of land use and occupancy can cause a series of consequences on the hydrological cycle of a drainage basin. Within the hydrological cycle, one of the phases that is most affected by these changes is the superficial runoff. Increasing of runoff, in turn, provokes higher occurrences of erosion processes and transport of sediments. A result of these phenomena may be the aggradation of reservoirs. Under this scenario, the study of Lago Paranoá water basin is particularly interesting, since its geographical and urban conditions put it in a vulnerable position in terms of the quality and quantity of its waters, due to the

¹ Doutorando do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília IG/UnB, phjunker@hotmail.com

² Professor do Instituto de Geociências IG/UnB, Roig@unb.br

³ Professora do Instituto de Geociências IG/UnB, tati_almeida@yahoo.com.br

⁴ Doutorando do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília IG/UnB, legeographer@gmail.com

⁵ Mestre da Companhia de Saneamento Ambiental do DF – CAESB, fabiobakker@yahoo.com.br

intense occupation of its margins and its tributary basins. The purpose of this study is to assess the influence of anthropic activity in Lago Paranoá basin, using a multi-temporal analysis of land use and occupancy patterns.

Keywords: land use and occupancy; multi-temporal analysis; anthropic activity.

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, 215p. ; Echeverria, 2007, 132p.).

O crescimento populacional conduz ao aumento da demanda por água, o que, somado a fatores ambientais pode levar a uma situação de escassez. 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 (Setti et al., 2001, 328p.; Tucci, 2007, p. 391-442; Heller & Pádua, 2006, 859 p).

Dentro do ciclo hidrológico, uma das fases que é mais afetada por 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, 104p.). Como consequência destes fenômenos pode ocorrer enchentes e/ou assoreamento dos reservatórios (Bicalho, 2006, 123p.; e Carvalho *et al*, 2000, 132p.).

Em 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 freqüentemente observada como consequência da redução do volume disponível para acumulação de água. (Carvalho 2008, 599p.; Carvalho *et al*, 2000, 132p.)

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, em um futuro próximo, de manancial de abastecimento humano.

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

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, p. 213-272)

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, 135p.).

O crescimento acelerado levou a realização de vários trabalhos sobre o padrão de mudança de uso e ocupação do Solo (UNESCO 2002, 80p.; Felizola *et al.*, 2001, p. 1593-1600; UNESCO, 2000, 74p.). Entretanto, as análises destes 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 desse trabalho 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. 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.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

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, 289p.).

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.

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, 425 p).

No fim 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, 187p).

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, 289p.). Estão também sediadas as instâncias mais elevadas dos três poderes da República, as embaixadas, e sua população tem o maior Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do país.

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. 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. 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.

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 de precipitação 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.

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%.

METODOLOGIA

Trabalhos recentes abordam o uso de técnicas de processamento digital de imagens e integração de dados para fim de avaliar os impactos das mudanças no uso e cobertura da terra, no ciclo hidrológico e no processo erosivo em bacias hidrográficas (Shi *et. al.*, 2007, p.31 – 35; Maeda, 2008, 104p., Kucukmehmetoglu & Geymen 2008, p. 569-579)

Para se atingir os objetivos deste trabalho foi necessário cumprir as etapas de trabalho abaixo descritas e apresentadas no fluxograma da figura 1:

1. Aquisição dos dados vetoriais de uso e ocupação existentes (UNESCO 2002, 80p.);
2. Aquisição das imagens e fotos aéreas para validação dos dados vetoriais (INPE/IG-UnB);
3. Pré-processamento das imagens;
4. Definição da legenda a ser utilizadas
5. Validação da base de dados. Ratificação ou retificação dos mapas do período entre 1964 e 1998;
6. Construção do mapa do ano de 2009;
7. Identificação do(s) período(s) de maior alteração/ crescimento urbano;
8. Identificação da unidade hidrográfica com maior porcentagem de urbanização;
9. Análise da dinâmica de uso e ocupação para o período de maior alteração.

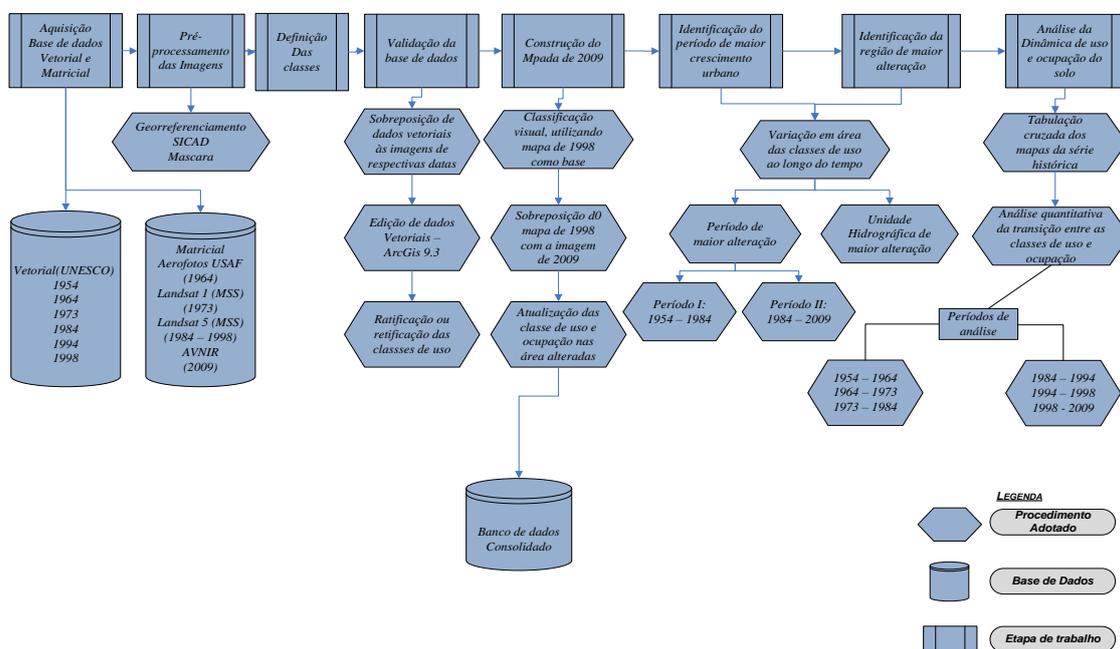


Figura 1: Fluxograma das etapas de trabalho para análise de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Lago Paranoá.

O fluxograma da figura 1 pode ser dividido em duas fases. A primeira fase é formada pelas etapas de 1 a 6, que consistem na fase de preparação da base de dados. Nessa fase são explicados todos os procedimentos para se padronizar a base de dados e gerar os mapas de uso e ocupação do solo da série histórica analisada.

A primeira etapa do fluxograma descreve a base de dados utilizada e os procedimentos para gerar os mapas de uso e ocupação do solo final.

A base de dados vetorial utilizada nesse trabalho foi gerada no estudo da UNESCO, 2002 "Vegetação no DF, Tempo e espaço". Fazem parte destes dados os vetores gerados por meio do método XX de classificação de imagens de satélite. Como são dados secundários e os métodos automatizados de classificação de imagem podem gerar muita inconsistência no resultados, esses dados passaram por

um processo de validação com técnicas de edição, interpretação das imagens e correções topológicas dos dados.

A base de dados de Sensoriamento Remoto necessária para a validação dos Mapas de Uso e Cobertura é constituída pelas fotografias áreas da década de 1960, levantamento executado pela USAF (*United 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, 1984, 1994 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 adquirida 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”.

Todas as imagens citadas foram georreferenciadas para o Sistema Cartográfico Oficial do Distrito Federal, O SICAD e aplicada uma máscara de análise para o limite da bacia de estudo. A imagem de 1998 foi georreferenciada utilizando-se a base cartográfica da CODEPLAM na escala de 1:10.000 no sistema de projeção SICAD, 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 (1973,1984 e 1994) foram registradas utilizando-se com referência a imagem de 1998, com uma superposição que não ultrapasse 2 pixels, condição necessária para um adequado estudo multitemporal.

De posse desses dados o passo seguinte foi definir uma legenda mínima passível de 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 com escala de mapeamento de 1:100.000.

A Validação dos dados foi realizada por interpretação visual por meio de sobreposição dos mapas vetoriais com as imagens das respectivas datas. Este processo permitiu a ratificação ou retificação das classes de cobertura vegetal e agricultura e delimitação das demais classes. A edição topológica dos dados vetoriais foi feita no software Arcgis 9.3.

O mapa do período de 1954 não passou por esse procedimento, pois não se obteve o dado referente ao levantamento que originou o mapeamento deste ano. Segundo UNESCO (2002, 80p.), a base utilizada para este levantamento foram as cartas específicas de uso da terra, geradas na escala de 1:50.000 obtidas por interpretação de fotografias aéreas da época.

O mapa referente ao período de 1964 foi obtido por meio de técnicas de fotointerpretação, com base no aerolevanteamento realizado pela USAF escala 1:60.000, posteriormente digitalizado. A validação deste dado foi feita utilizando as mesmas cenas deste levantamento.

Para a validação dos dados gerados (1973 – 1998), foram utilizadas as mesmas imagens, ou seja, as mesmas imagens Landsat MSS e TM, adquiridas no mesmo dia das imagens utilizadas para a construção dos mapas da UNESCO.

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 CODEPLAM 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.

A segunda fase do fluxograma, formada pelas etapas de 7 a 9, descreve os métodos de análise utilizados para alcançar os objetivos propostos neste trabalho.

Após a preparação da base iniciou-se a segunda fase, a análise multitemporal do padrão de uso e cobertura da terra. Essa análise consiste na identificação de padrões de comportamento da expansão urbana, quantificação do crescimento e identificação de zonas críticas dentro da bacia. 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, para todos os anos da série histórica analisada.

Os resultados dessas análises foram gerados na forma de mapas, gráficos e tabelas. Com isso foi identificado o período de maior crescimento urbano e os padrões gerais de mudança de uso do solo na bacia do Lago Paranoá e nas unidades hidrográficas.

Além disso, foi feita uma análise de tabulação cruzada para entender os padrões de mudança do tipo de uso do solo ocorrido na bacia.

Segundo Godoy (2004, p. 286-304), uma das maneiras mais simples de determinar o padrão de mudança dos elementos ou estados de uma paisagem e suas possíveis transições é baseado na análise das matrizes de transição geradas sobre representação espacial matricial. O resultado destas 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 que não é possível determinar o padrão de distribuição destas mudanças. A melhor forma de determinar tanto a taxa de mudança como a sua distribuição espacial é associar a estas matrizes de transição mapas de mudanças gerados pela simples união vetorial de um par de datas (Valentin, 2008, 149p.).

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.

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 e 1964; 1964 e 1973; 1973 e 1984; 1984 e 1994; 1994 e 1998; 1998 e 2009.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 2 mostra os mapas de uso e ocupação respectivamente para os anos de 1954, 1964, 1973, 1984, 1994, 1998 e 2009. Uma simples análise visual dos mapas permite identificar algumas tendências na expansão urbana concentrada na região central até o período de 1973 e uma tendência de adensamento urbano na direção sul da bacia, no período seguinte.

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, caracterizado com grandes vazios demográficos fora da Bacia, evidenciado principalmente pelas regiões do Varjão e Taquari.

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, p. 213-272).

Análise da evolução do padrão de uso e ocupação do solo...

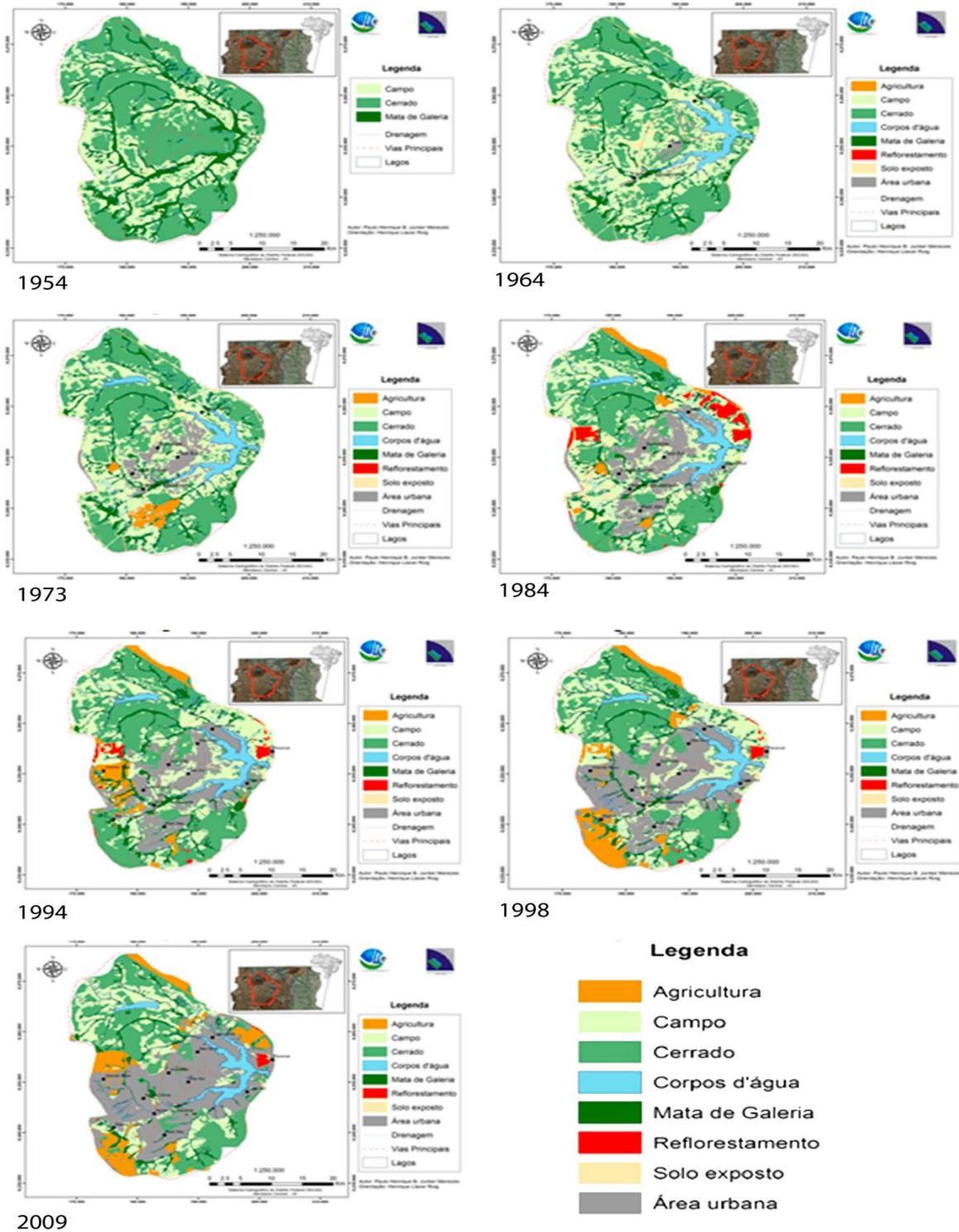


Figura 2. Fluxograma das etapas de trabalho para análise de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Lago Paranoá.

Porém, analisando-se a situação atual, ano de 2009, 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 (14 km²), o Jardim Botânico (40 km²) e a Faz. Água Limpa da UnB

Estudos Geográficos, Rio Claro, 8(1): 88-106, jan./jun., 2010 (ISSN 1678—698X)
<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo>

(45 km²). Estas áreas de preservação encontram-se fortemente pressionadas pela expansão urbana.

As tabelas 1 e 2 apresentam a área total em quilometro quadrado e a porcentagem, respectivamente, ocupada por cada classe de uso para cada período analisado na série histórica que é de 55 anos.

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

Classe	1953	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

Classe	1953	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

Partindo-se para uma análise da evolução do padrão de uso e cobertura da terra percebe-se imediatamente um crescimento, aproximadamente constante, da supressão da cobertura vegetal, claramente evidenciada pela curva do cerrado na figura 3.

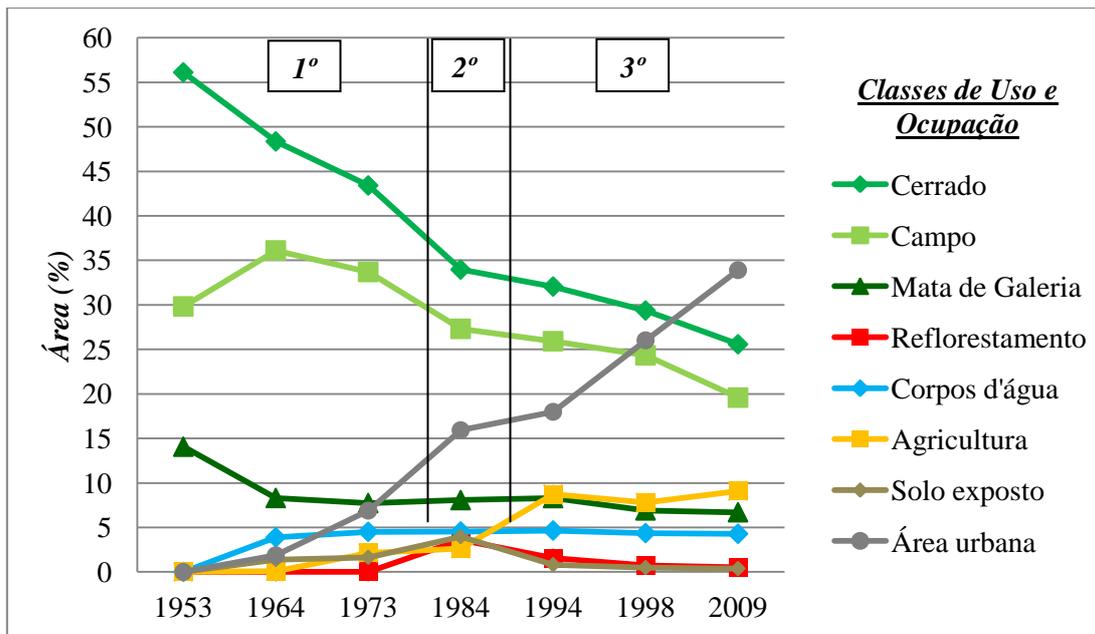


Figura 3. Análise temporal da variação em porcentagem de área das classes de uso e ocupação do solo na Bacia do Lago Paranoá – DF.

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.

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 3.

O primeiro estágio, entre 1953 e 1984, observa-se uma supressão da vegetação e uma substituição direta por áreas urbanas, com taxa de evolução oposta mais 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.

O segundo estágio (1984 – 1994) é caracterizado por um baixo crescimento urbano (aproximadamente 2,1%) muito inferior a 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, aproximadamente, 6%. Uma das possíveis explicações para esta diminuição do crescimento foi a crise econômica e o período de mudança política.

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. Este período também é marcado por uma diminuição da área de atividade agrícola que foi substituída por parcelamentos urbanos.

Para entender os padrões de troca das classes de uso do solo na bacia, foram utilizadas técnicas que permitem identificar se há uma tendência no processo de urbanização e desenvolvimento da cidade de Brasília.

O Mapa da figura 4 representa espacialmente a dinâmica da troca das classes de uso na bacia para os pares de data analisados.

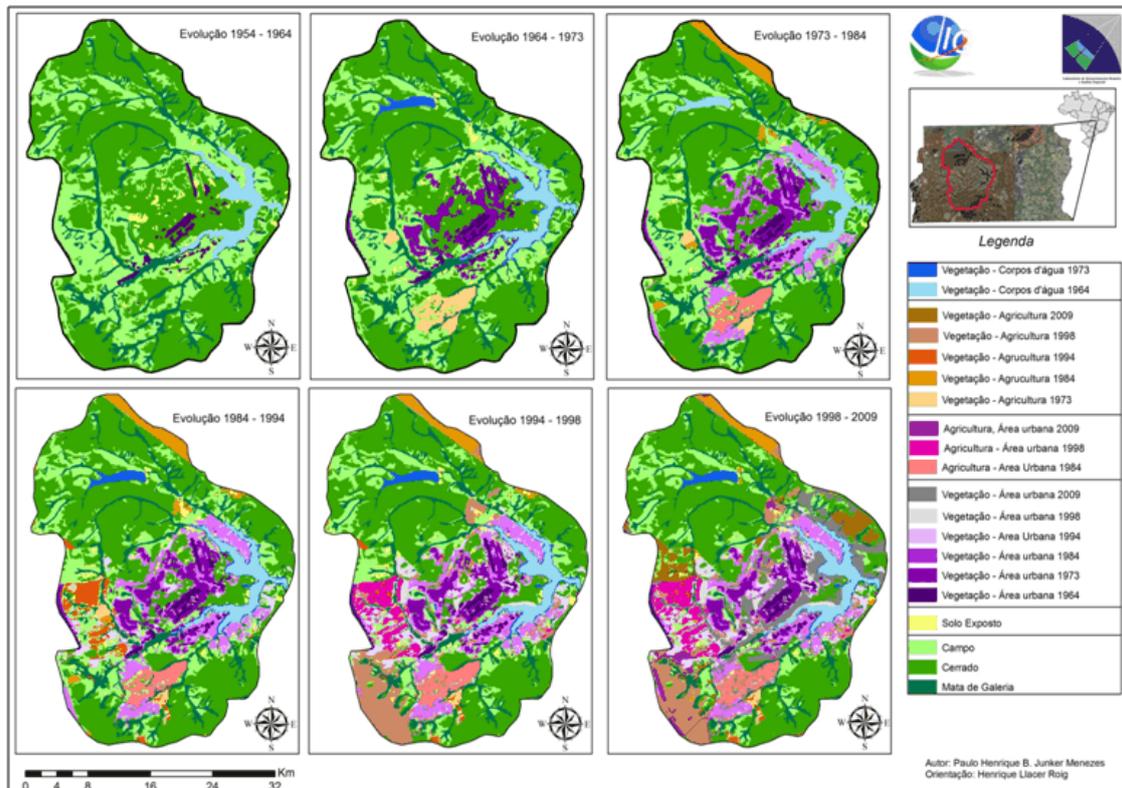


Figura 4: Análise global da transição entre as classes de uso e ocupação da bacia do Lago Paranoá.

Analisando os pares de datas do mapa da figura 4 podemos identificar 2 tendências ao longo do tempo. Em um primeiro momento, que vai até o ano de 1973, os padrões de mudança de uso do solo são áreas com cobertura vegetal (campo ou cerrado) passando a ser áreas urbanas. Aparece também a alteração de área de cobertura vegetal para corpos d'água, devido ao represamento que criou o Lago Paranoá inundando grande parte de cerrado preservado.

A partir do ano de 1973 passa a surgir o padrão que predomina até o fim da série histórica analisada. Este padrão se caracteriza pelas mudanças de áreas de cobertura vegetal tanto para áreas urbanas, como também para áreas agrícolas. Além das alterações de áreas agrícolas em áreas urbanas.

Essas alterações no uso do solo causadas pelo processo de urbanização geram um aumento da impermeabilização do solo assim como a taxa de erosão e conseqüentemente o aumento da sedimentação com o transporte de sedimentos para o fundo do lago. O manejo do solo para o preparo, tanto para a construção de edificações quanto para a criação de áreas de agricultura (areamento ou arejamento do solo), leva a uma exposição do solo não natural e isso também leva ao aumento do carreamento de sedimentos pelo escoamento superficial do solo.

Segundo Fontes & Barbassa, (2003, p.137-147), uma das principais conseqüências 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 que atinge rios e reservatórios.

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

A conservação dos mananciais hídricos das bacias do Lago Paranoá esta 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.

Uma simples análise da distribuição temporal das porcentagens em área das classes de uso e cobertura da terra 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.

A figura 5 mostra a localização das unidades hidrográficas que compõem a bacia do Lago Paranoá. No Distrito Federal, as unidades hidrográficas são consideradas como as menores unidades de planejamento em termos de recursos hídricos.

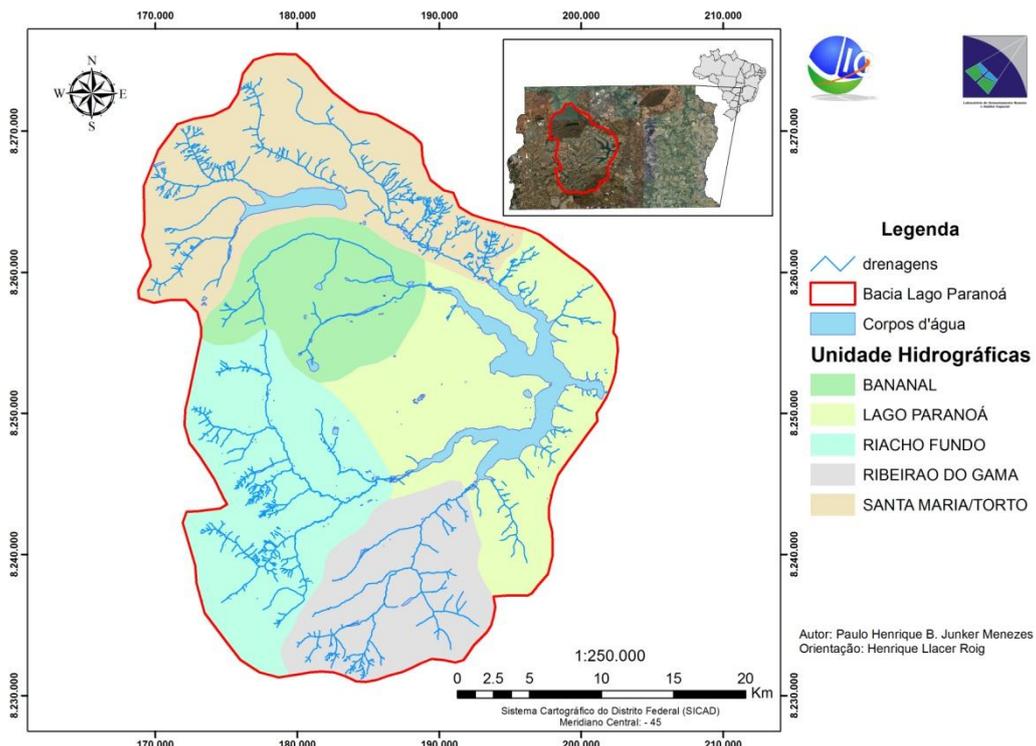


Figura 5: Unidades Hidrográficas da Bacia do Paranoá

A tabela 03 mostra a variação em porcentagem de área urbana nas unidades hidrográficas ao longo da série histórica

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

Unidades Hidrográficas	1953	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

Porém, 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, conforme no gráfico da figura 6.

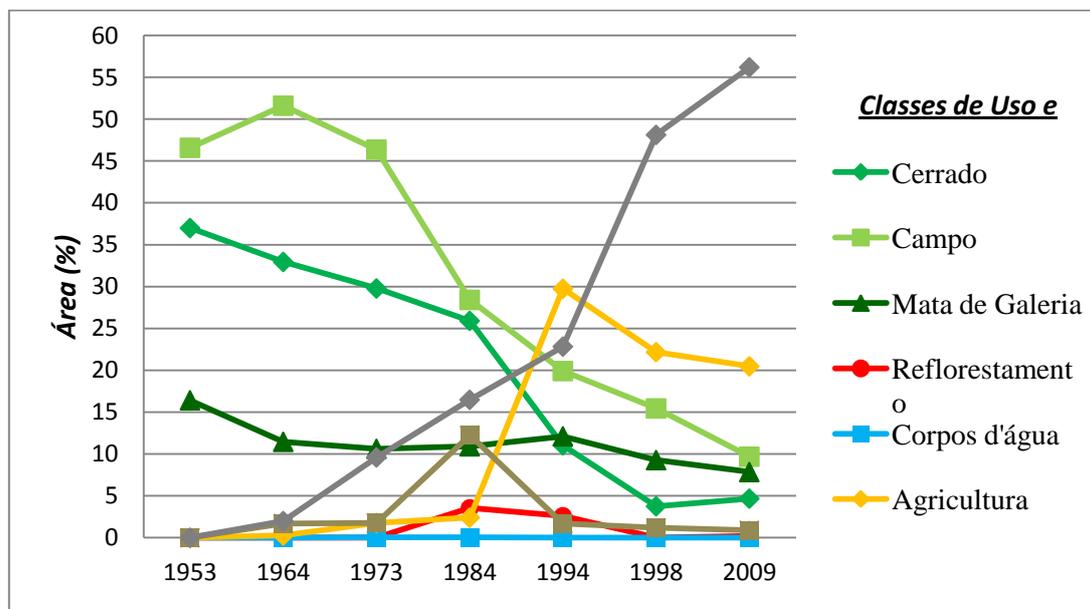


Figura 6: Variação da taxa de urbanização nas unidades hidrográficas da bacia do Lago Paranoá.

Portanto, aproximadamente 87 % dessa unidade hidrográfica esta sendo ocupada com uso intenso do solo, seja por áreas urbanas já consolidadas, seja por uso agrícola. As tabelas 4 e 5 mostram a área em quilometro quadrado e a porcentagem que cada classe de uso ocupava dentro da unidade hidrográfica do Riacho Fundo ao longo da série histórica.

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	1953	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	1953	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

A história evolutiva do padrão de uso e cobertura da terra da unidade hidrográfica do Riacho Fundo tem alterado o balanço hidrológico, principalmente pela modificação das características hidrológicas do terreno causado pela urbanização e atividades agrícolas, o que tem elevado às 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 consequentemente o assoreamento do Lago Paranoá.

É interessante observar no gráfico da figura 7 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. A unidade Hidrográfica do Lago Paranoá também apresenta valores altos de taxa de urbanização.

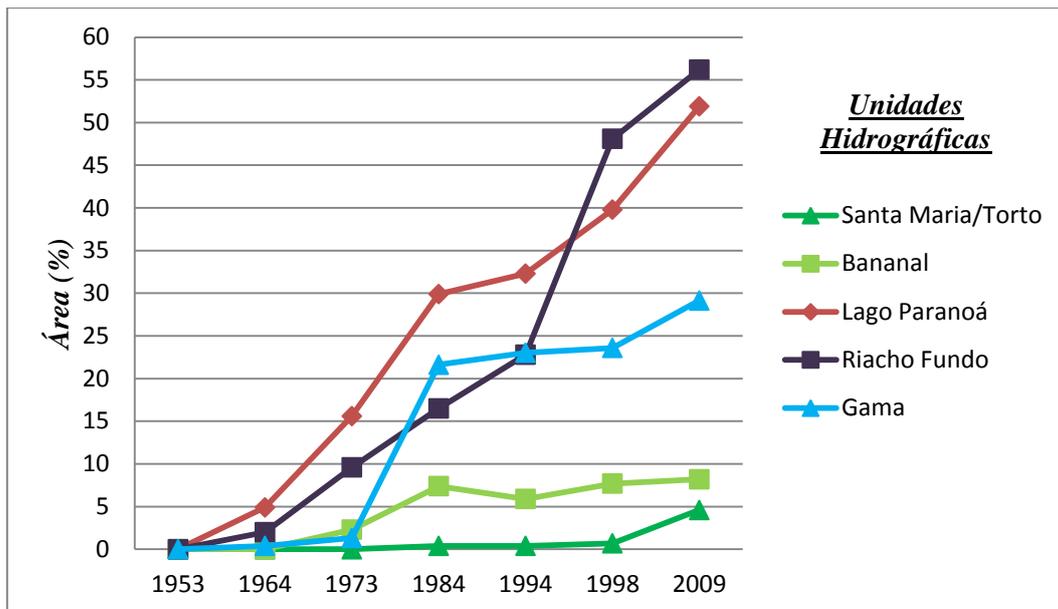


Figura 7: Variação da taxa de urbanização nas unidades hidrográficas da bacia do Lago Paranoá.

CONCLUSÃO

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 trabalho 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.

Em uma primeira aproximação, podemos 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, a unidade hidrográfica do Paranoá a dispersão do excesso de chuva e dos sedimentos é difusa ou concentrada na rede pluvial, com é o caso da região do late 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 serem erodidos. Destaca-se que, mesmo hoje em dia, praticamente nenhuma providencia tem sido tomada para mitigar os impactos dos processos erosivos durante a fase de implantação de sistemas urbanos.

Assim, a bacia de contribuição do Lago Paranoá encontra-se próximo do seu estágio máximo de ocupação, onde praticamente somente algumas das 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.

Como síntese pode-se concluir que a bacia de contribuição do Lago Paranoá encontra-se próxima 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, de acordo com as análises 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.

REFERÊNCIAS

BICALHO, C. C. **Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Descoberto**. 2006. 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. 289p. , 2003

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2. ed. Rio de Janeiro - RJ: Interciência, 2008. 599 p.

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 - **Síntese de Informações Socioeconômicas, 2008 / Companhia de Planejamento do Distrito Federal**; Brasília: Codeplan, 2008. 89 p.

ECHEVERRIA, R. M., **Avaliação de Impactos Ambientais nos Tributários do Lago Paranoá, Brasília– DF**. Dissertação (Mestrado) 2007 - Departamento de Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília – DF. 132p.

FELIZOLA, E. R.; Lago, F. P. de L. S.; Galvão, W. S.. **Avaliação da dinâmica da paisagem no Distrito Federal**. Projeto da Reserva da Biosfera do Cerrado - Fase I. In: Anais do X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 1593 - 1600.

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.

GODOY, M. M. G.; SOARES FILHO, B. S. **Modelagem da Dinâmica Intra-urbana no Bairro Savassi, Belo Horizonte**. In: ALMEIDA, C. M.; 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.

HELLER, L.; PÁDUA, W. L. de. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006. 859 p.

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.

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.

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**.187p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/ UnB/ Brasília, 2006.

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

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.

SETTI, A.A.; WERNECK LIMA, J. E. F.; MIRAMDA 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.

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.

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 do Rio Descoberto-DF/GO**. 2008. 149 p. Tese (Doutorado) - Departamento de Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2008. Cap. 5.

Agradecimentos

Os autores agradecem o patrocínio da Fundação de Apoio a Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF) e à ESRI pela disponibilização do Pacote de ferramentas que compõem a Família ArcGis 10 por intermédio do contrato N° 2011 MLK 8733 e a IMAGEM pelo apoio e viabilidade da concretização do termo de uso entre o IG-UnB e a ESRI e pelo suporte aos softwares.

Artigo submetido em: 15/08/2012

Aceito para publicação em: 24/08/2012

Publicado em: 24/08/2012