

Diagnóstico e Prognóstico da Ocupação e da Impermeabilização Urbanas

Andréa Regina Martins Fontes

UNIFran - PPGEU UFSCar - a.fontes@terra.com.br

Ademir Paceli Barbassa

Programa de Pós-Graduação em Eng. Urbana - Universidade Federal de São Carlos - Rod. Washington Luis, km 232
13560-970 São Carlos, SP - Tel. (16) 260-8262 - barbassa@power.ufscar.br

Recebido: 10/01 - revisão: 01/03 - aceito: 06/03

RESUMO

Nesta pesquisa levantaram-se e avaliaram-se parâmetros de urbanização intimamente relacionados ao sistema de drenagem para o controle de enchentes. O objeto de estudo foi São Carlos, SP, cidade de médio porte, com aproximadamente 170.000 hab. Acessaram-se mapas aerofotogramétricos de 1970, 1978, 1988 e 1998, realizaram-se visitas de campo, foram obtidos dados do IBGE e da Prefeitura de São Carlos. Tais informações foram introduzidas em bancos de dados e analisadas por meio de SIG e estatística descritiva, o que possibilitou a caracterização da superfície urbana. Para isto usaram-se os parâmetros: taxa de ocupação (TO), taxa de ocupação e impermeabilização (TOI), este introduzido para atender às necessidades de caracterização principalmente hidrológica, coeficiente de aproveitamento (CA), densidade populacional, uso do solo e área permeável. A metodologia e sua aplicação permitem a confecção do diagnóstico e prognóstico do desenvolvimento urbano visando os planejamentos urbano e de drenagem, por meio de alguns dos parâmetros citados. Especificamente, trata-se neste artigo, da ocupação das áreas livres dos lotes, da relação entre TOI e densidade populacional, da TOI e TO e de outras análises. Verificou-se que a impermeabilização, numa cidade de médio porte, pode apresentar altos valores mesmo para baixas densidades populacionais. A impermeabilização pode elevar-se em mais de 60% devido à "cimentação" de áreas não construídas do lote.

Palavras-chave: urbanização; sistema de drenagem; enchentes.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O processo de urbanização traz profundas modificações no uso do solo, que por sua vez causam marcas permanentes nas respostas hidrológicas das áreas urbanizadas, apresentando os efeitos mais notáveis no aumento do escoamento superficial e na diminuição da infiltração.

O planejamento urbano teve várias ênfases ao longo do tempo. A revolução industrial levou grandes contingentes populacionais às cidades e exigiu a regulamentação da ocupação, o ordenamento da malha urbana e a preocupação com a salubridade. No final do século XIX, a ênfase foi para a higienização, graças à engenharia sanitária, que instituiu técnicas de saneamento, água potável e coleta de lixo. Segundo Birkholz (1983), essa fase do planejamento ficou conhecida por sua finalidade de ordenar, embelezar e sanear as cidades. Em 1933, a Carta de Atenas, documento resultante do 4º Congresso Internacional de Arquitetura Moderna, difundiu o conceito de cidade funcional, forte hierarquia viária, modelos estáticos, formalismo, rigidez, apud Ferrari (1988). Em 1952, segundo a Carta de La Tourette, o planejamento devia considerar as regiões de influência de cada cidade, apud Ferrari (1988).

Segundo Rolnik (1997), até meados de 1970, os Planos Diretores de Desenvolvimento Integrado, no Brasil, ti-

nham controle estatal, produção em série com a cidade organizada por funções como trabalhar, circular, recrear, etc.

Após esta fase modernista, segundo Del Rio (1987), o planejamento recupera e reinterpreta os símbolos tradicionais ignorados pelo Modernismo, tornando-se a partir de 1970, mais transparente e permeável às reivindicações.

A partir da Constituição Federal de 1988, retomou-se o Plano Diretor, obrigatório para cidades com mais de 20000 habitantes, estabelecendo que as cidades deveriam fixar diretrizes municipais.

Santos e Pires (1996) afirmam que o planejamento deve ter uma gestão democrática buscando atingir sua função social. De acordo com essa tendência mais atual, segundo Rolnik (1997), o planejamento deve ser atemporal, conjuntural, estratégico, participativo, flexível, mais probabilístico e propor novas formas de produção.

Vê-se, nessa síntese da evolução do planejamento urbano, uma preocupação com a organização da cidade, ora visando a salubridade, ora setorizando por funções, ora fazendo intervenções autoritárias e, finalmente, tratando o problema de forma mais participativa.

A essa nova compreensão do planejamento, pode-se associar o tratamento multidisciplinar e o uso de novas tecnologias para diagnosticar e prognosticar o comportamento urbano.

Saturnino de Brito (1864-1929), apud Andrade (1992), ainda no início do século XX, coloca que os problemas das cidades devem ser controlados para que a vida urbana não se torne insustentável e que “deve-se evitar os erros provenientes de deixar o crescimento urbano suceder ao acaso”. Alegava ainda, ao defender a organização e previsão das cidades, que a expansão urbana não deve depender do acaso, dos caprichos dos proprietários ou das administrações locais. Suas intervenções urbanísticas entendem a cidade na sua totalidade, conciliando o passado, ao redesenhar a cidade existente, com o futuro, planejando o crescimento urbano.

Assim problemas relacionados a enchentes urbanas podem ser minorados ou até mesmo evitados se os planejadores observarem mais atentamente como a drenagem se processa numa área urbana, incorporando esses conhecimentos desde as atividades preliminares do processo de planejamento urbano, sobretudo em termos de uso e ocupação do solo.

A bacia urbana possui parcela considerável de sua superfície impermeabilizada pelas edificações, vias e pisos. Essas superfícies produzem aceleração no escoamento, através da canalização e da drenagem superficial.

As inundações, as quais assistem-se periodicamente, são provocadas pelo uso inadequado dos recursos hídricos, do solo, descaso com os resíduos sólidos, entre outros. Nessa lógica têm-se alguns pontos principais a serem abordados:

- elaborar um planejamento integrado entre áreas do conhecimento, prevendo uma maior compreensão da complexidade da cidade;
- educar a população, participando-a dos problemas e consequentemente fazendo-a ter consciência de sua interferência sobre o meio ambiente;
- elaborar e fazer cumprir as devidas leis, por meio do poder público.

O desenvolvimento da cidade deve ser previsto e conduzido, nunca autoritariamente, a situações aceitáveis. Para isso deve haver, simultaneamente, a ajuda da comunidade e o cumprimento das leis.

A interdependência entre urbanismo e hidrologia neste trabalho é pertinente, pois a superfície é o foco da pesquisa. Ela é um dos principais elementos da drenagem urbana, onde o urbanista intervém de todas as formas, desde o traçado urbano até a regulamentação das edificações, o uso do solo, etc.

Diversos parâmetros e informações urbanísticas são importantes guias para adoção de parâmetros de modelos de previsão de enchentes, sejam eles sofisticados ou simplificados como o método Racional.

Caracterizando as superfícies de bacias urbanas, Campana e Tucci (1994) utilizaram imagens digitais de satélites de sensoriamento remoto para estimativa de área impermeável de macro-bacias urbanas. A estimativa foi feita

por algoritmo desenvolvido por Campana, Haertel e Tucci (1992) e verificada “com base em dados de bacias urbanas de Porto Alegre. Esse algoritmo foi utilizado para estimar áreas impermeáveis das áreas metropolitanas de São Paulo, Curitiba e Porto Alegre”. Na avaliação do modelo os autores compararam os resultados modelados com aqueles obtidos a partir de ortofotos em escala 1:5000, “considerados como valores verdadeiros”. As bacias usadas para testes variaram entre 0,81 e 4,41 km². Concluíram que bacias com área abaixo de 2 km² apresentam erros dentro da faixa de 25%, na faixa de 15% para bacias maiores e 10% para bacias acima de 4 km². Segundo os autores “a variação dos erros em função das áreas impermeáveis é uniforme até cerca de 70%”. “Acima os resultados podem ser tendenciosos”.

O objetivo deste trabalho foi avaliar parâmetros do desenvolvimento urbano, a partir da quadra, por meio de método de coletas de dados de campo, de diferentes mapas digitais ou impressos, de banco de dados cadastrais da Prefeitura de São Carlos. A avaliação e coletas foram embasadas estatisticamente e associadas a SIG (Sistema de Informação Geográfica). Objetivou-se ainda cruzar os parâmetros entre si e com variáveis populacionais e de drenagem das águas pluviais. Tornaram-se assim possíveis o diagnóstico e o prognóstico de parâmetros urbanísticos de drenagem, espacial e temporalmente, para uma cidade de porte médio.

O presente trabalho apresenta metodologia e sua aplicação experimental baseadas na dissertação de mestrado de Fontes (2000). Não se teve a pretensão de esgotar os estudos dos processos de urbanização e nem mesmo dos hidrológicos superficiais, mas pesquisar os parâmetros citados.

Nos itens seguintes descrevem-se as coletas realizadas, a técnica estatística de amostragem para as coletas, análises e conclusões.

MATERIAIS E MÉTODOS

A cidade de São Carlos - SP foi escolhida como objeto dos estudos aqui reportados por ser uma cidade de médio porte e pela facilidade da coleta de dados. São Carlos é uma cidade de tradição industrial, localizada numa posição geograficamente estratégica: a 244°km de São Paulo, a 153°km de Campinas, a 116°km de Ribeirão Preto e a 315°km do Porto de Santos. É cortada pelo córrego do Monjolinho e pelo córrego do Gregório. As áreas das bacias somadas representam aproximadamente 78 km².

As avaliações dos parâmetros a partir de elementos morfológicos, a seguir definidos, basearam-se em levantamentos de campo, em mapas aerofotogramétricos cobrindo um período de 28 anos, em informações cadastrais da Prefeitura Municipal, em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e na Lei de Uso e Ocupação do Solo.

Todas as coletas foram fundamentadas estatisticamente e têm o procedimento descrito no item planejamento amostral.

Os elementos morfológicos utilizados como base, conforme Lamas (1992), foram: traçado urbano, quadras, lotes e edificações.

As características destes elementos como áreas, quantidades, usos e distribuição no espaço, foram relacionadas entre si e com dados populacionais, produzindo os seguintes parâmetros:

- Área das construções em projeção: corresponde às áreas edificadas nos lotes em projeção horizontal (m^2).
- Número de construções: quantidade de construções de um lote (unid.).
- Área livre: correspondente à área do lote sem edificações (permeável e impermeabilizada).
- Área permeável: área livre do lote não impermeabilizada (m^2).
- Área impermeabilizada: área livre do lote que foi impermeabilizada (m^2).
- Densidade populacional: número de habitante por unidade de área (hab/ha).
- Taxa de ocupação (TO): relação entre a área construída em projeção horizontal e a área do lote (percentagem).
- Taxa de ocupação e impermeabilização (TOI): relação entre a área construída em projeção horizontal acrescida da área impermeabilizada e a área do lote (percentagem).
- Coeficiente de aproveitamento (CA): relação entre a área construída total e a área do lote.

A seguir descrevem-se as coletas realizadas. Seu embasamento estatístico é tratado no item de planejamento amostral.

Coleta de dados aerofotogramétricos

Foram utilizados levantamentos aerofotogramétricos da cidade de São Carlos extraídos de vôos aéreos datados de 1970, 1978, 1988 e 1998. Esse material possibilitou a avaliação da evolução das áreas construídas ao longo do tempo.

Os mapas e as imagens foram digitalizados, e suas informações foram armazenadas na forma vetorial. Esta coleta digital e sua análise foram realizadas usando um SIG. Os seguintes parâmetros foram avaliados:

- Total de área de projeção da construção de uma quadra para os anos de 1970, 1978, 1988 e 1998;
- Número de construções (ou edificações) na quadra para os anos de 1970, 1978, 1988 e 1998.

Coleta de dados cadastrais da Prefeitura Municipal de São Carlos

Foram colhidas as informações no cadastro da Prefeitura do ano de 1998. Por tratar-se de cadastro em uso para o recolhimento de IPTU, era o mais atualizado.

Os parâmetros colhidos neste levantamento foram:

- Total de área construída de uma quadra;
- Número de domicílios.

Coleta através de visitas de campo

Em 1998, foram realizadas entrevistas com os moradores para verificação da existência ou não de área permeável (ou área livre não "cimentada") em seu lote. Em caso afirmativo, era feita a medição.

Os parâmetros colhidos foram:

- Área permeável;
- Uso do solo.

Coleta de informações populacionais do IBGE

Neste levantamento foi avaliada a distribuição dos setores censitários no mapa da cidade e entendido o comportamento da densidade. O mapa do IBGE utilizado foi o do ano de 1991, portanto foram feitas estimativas populacionais para as mesmas datas das coletas de dados aerofotogramétricos. Usou-se o método da taxa média geométrica (IBGE). Para cada setor censitário obtiveram-se, por meio do SIG, área, população, densidade e proporção em relação à área total.

A partir deste levantamento, estimaram-se os seguintes parâmetros:

- População para os anos de 1998, 1988, 1978 e 1970;
- Densidade para cada setor censitário nos anos de 1998, 1988, 1978 e 1970.

Planejamento amostral

Para a análise dos parâmetros urbanos foi aplicado um procedimento estatístico de amostragem, que requereu a definição do elemento morfológico a ser amostrado, estudo preliminar ou piloto, para estimativas de parâmetros usados na última fase, ou amostragem definitiva.

Para efeito da análise amostral, a cidade foi dividida em zonas homogêneas, indicadas Figura 1. Entende-se por zonas homogêneas aquelas que têm os elementos morfoló-

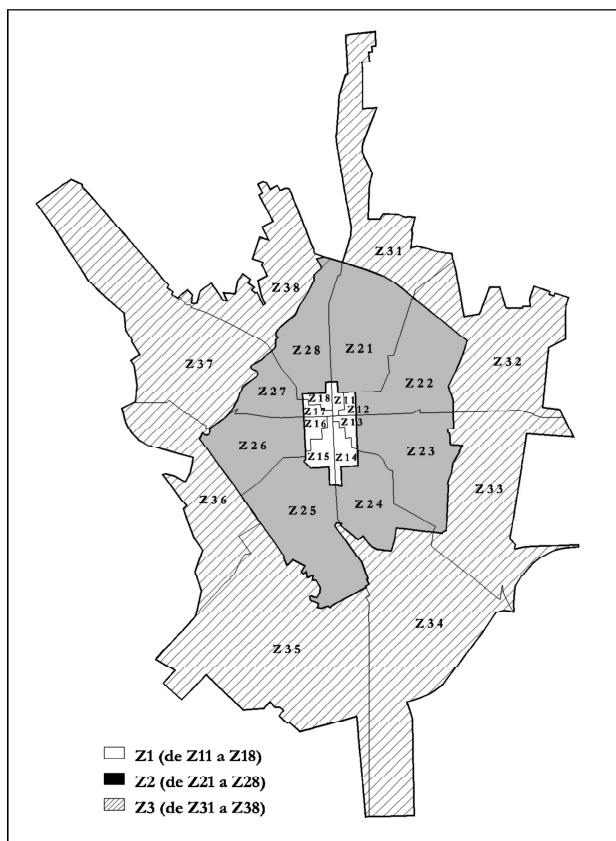


Figura 1. Distribuição espacial das zonas e subzonas pelo planejamento amostral.

gicos, a serem analisados, distribuídos de forma semelhante. Cada zona teve um sorteio separado para garantir a amostragem aleatória estratificada proporcional.

A cidade de São Carlos, de forma geral, tem uma estrutura configuracional “espalhada”, concentrando na região central os serviços especializados e a verticalização. Num raio um pouco maior concentra-se grande densidade populacional, mas com muitos vazios urbanos e na periferia a densidade é baixa e a ocupação rarefeita. Observando-se este comportamento, optou-se por agregar ao presente trabalho a Lei de Zoneamento que determina a divisão da cidade nas chamadas “zonas de expansão”. As zonas de expansão foram então usadas para amostragem e denominadas por Z1, Z2 e Z3, correspondendo ao centro, aos bairros intermediários e à periferia. Fez-se outra divisão que setorizou cada zona, tornando possível entender a distribuição dos parâmetros urbanísticos estudados na cidade.

Esta subdivisão foi feita a partir de grandes corredores viários, obedecendo a uma lógica cardeal de direção. Cada zona foi dividida em oito partes, somando ao todo 24 subzonas. Na Figura 1 pode-se ver a divisão do perímetro urbano em zonas de expansão denominadas de 1, 2 e 3 e nas 24 subzonas, nomeadas Z11 a Z18, Z21 a Z28 e Z31 a Z38, respectivamente.

Para o levantamento dos parâmetros já citados, foi necessário estipular uma unidade espacial de trabalho. Para facilidade das análises, essa unidade deveria estar presente em toda a cidade e ainda deveria proporcionar o maior número de cruzamentos de dados por meio de um SIG. A unidade espacial que melhor preencheu essas exigências foi a “quadra”. A partir da unidade espacial selecionada, foram numeradas todas as quadras da cidade, contabilizando o total de 2621.

Tomando-se como referência o ano de 1998, pois é a mais recente das 4 datas que a pesquisa abrange, adotou-se um procedimento de amostragem aleatória estratificada pelas zonas 1, 2 e 3, que por sua vez, foram subdivididas em oito partes, conforme mostrado na Figura 1. A variável TO foi considerada como principal pela sua importância no estudo das áreas livres e construídas do lote. Para determinar o tamanho da amostra aleatória estratificada proporcional (n), ou seja, o número de quadras a serem sorteadas, foi utilizada a Equação (1):

$$n = \frac{N \hat{\sigma}^2}{\hat{\sigma}^2 + (N-1) \left(\frac{E}{Z} \right)^2} \quad (1)$$

onde $\hat{\sigma}^2$ é a variância da variável principal (TO); N o tamanho da população (número total de quadras); E o erro máximo admitido na estimativa da média; e z o quantil da distribuição normal correspondente a 95% de confiabilidade na estimativa da média.

A Equação (1) é válida para amostra aleatória simples e estimativa da média populacional da variável principal, “fornecendo um tamanho amostral maior do que o requerido”, Benze e Tomazella (1999).

Fez-se o cálculo de tamanho de amostra n_n para cada subzona com a Equação (2):

$$n_n = \frac{N_1}{N} n \quad (2)$$

onde N_1 é igual ao tamanho amostral para a subzona (número de quadras da subzona); N a população (numero total de quadras); e n o número amostral, determinado pela Equação (1).

Estudo piloto

O tamanho da amostra aleatória estratificada proporcional (n), depende da estimativa da variância populacional da TO. Isto pode ser feito com base na variância ($\hat{\sigma}$) da TO de outra cidade, porém não se encontrou este dado, então optou-se por um estudo preliminar. Para tanto se avaliou a TO na cidade, obtida pelo cruza-

mento da área construída projetada com a área da quadra, para o ano de 1998.

Adotaram-se 16, 24 e 40 quadras para as zonas 1, 2 e 3 respectivamente, as quais foram sorteadas entre as quadras das zonas para garantir a aleatoriedade. Esses números amostrados foram escolhidos de modo a proporcionar um trabalho de curto prazo e resultados que satisfizessem o entendimento da dinâmica de cada zona, norteando a construção de uma amostragem mais segura. A diferenciação da quantidade de quadras levantadas em cada zona deveu-se também ao grau de uniformidade de cada uma delas.

Obteve-se do estudo piloto a variância da TO ($\hat{\sigma}^2 = (15,21)^2$).

O tamanho da amostra aleatória estratificada proporcional (n) baseou-se nesta variância, no número total de quadras 2621, nos erros máximos (E) admitidos e na variável Z adotada como 95%. Admitindo erro máximo de 2%, obteve-se n igual a 208 quadras. A seguir calculou-se pela Equação (2) o número amostral (n_z) para cada subzona, e sortearam-se aleatoriamente as n_z quadras para cada subzona. A Figura 2 se refere à distribuição espacial da amostragem de quadras com base nessa sistemática.

As coletas de dados aerofotogramétricos foram realizadas nas 208 quadras (Erro = 2%) em cada uma das quatro datas históricas.

Os parâmetros populacionais foram também levantados para as 208 quadras.

A mesma amostra de 208 quadras foi aplicada para a coleta de dados cadastrais na Prefeitura. Entretanto coletaram-se dados de 146 quadras, por não terem sido encontradas as demais nos registros da Prefeitura. Isto fez com que o erro fosse maior que 2%, porém menor que o erro de 5% adotado usualmente.

A amostragem para a coleta de dados de campo foi limitada a 50 quadras, para viabilizar o volume de trabalho. O erro calculado ficou em 4,17%. Ressalta-se que as 50 quadras amostradas fazem parte da amostragem de 208 quadras.

Este conjunto de dados foi analisado graficamente, espacialmente através de mapas, temporalmente por equações e usando estatística descritiva, como se segue.

RESULTADOS E ANÁLISES

Apresenta-se neste item a avaliação do desenvolvimento urbano, principalmente, por meio da taxa de ocupação, TO, e suas variações no tempo, da taxa de ocupação e impermeabilização, TOI, as relações entre si e com a densidade populacional. Os resultados são apresentados principalmente por zonas, sendo os dados das subzonas interessantes para entender o comportamento das variáveis intrazonalmente.

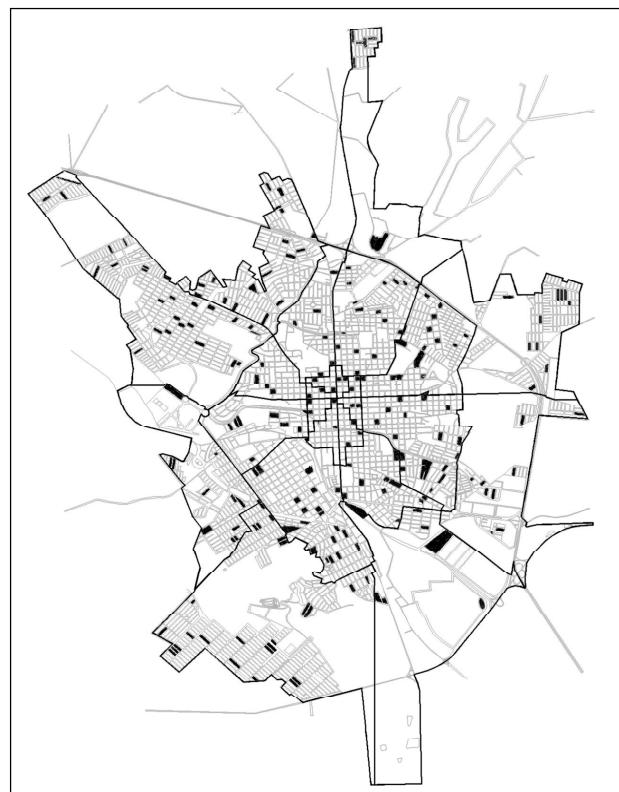


Figura 2. Distribuição espacial das unidades amostrais representadas pelas quadras (208).

Taxa de Ocupação (TO) e sua transformação média anual

A TO foi avaliada, historicamente, através de planta aerofotogramétrica, passando-se para vetores as informações de 208 quadras para cada um dos 4 anos estudados. Têm-se, portanto, 832 quadras avaliadas lote a lote, com às vezes, mais de uma edificação por lote.

Os valores médios da TO para as quatro datas são mostrados na coluna 2 da Tabela 1. Esses pontos obtidos foram representados por equações de retas. Os coeficientes de determinação, R^2 , são mostrados na coluna 6 para zonas e subzonas. Os coeficientes angulares das retas, aqui denominados de “variação da TO ajustada anual”, são mostrados na coluna 7 da Tabela 1, e representam os acréscimos médios anuais das TOs.

Observa-se na Tabela 1 que os ajustes dos dados das zonas 2 e 3 às retas foram excelentes. Para a zona 1 o coeficiente de determinação foi 0,75, entretanto a variação da TO nesta zona central foi de apenas 5% em média. Essas equações de retas para zonas são usadas para prognosticar a TO para 2008 e 2018.

Para as zonas 2 e 3 a TO é, em média, bastante semelhante, porém a predominância de variação de TO na Z2 está entre 16,8 e 32,4% e na Z3 entre 14,9 e 34,9%, confor-

Tabela 1. Valores médios da TO em 4 datas, suas variações anuais e no período pesquisado, por subzona e zona.

Zona e sub-zona	Taxa de ocupação medida - TO (%) 1998	Taxa de ocupação medida - TO (%) 1988	Taxa de ocupação medida - TO (%) 1978	Taxa de ocupação medida - TO (%) 1970	R ²	Variação da TO anual 28 anos	TO ajustada 28 anos	Variação da TO medida 28 anos
z11	50,2	50,2	50,2	42,7	0,549	0,23	6,4	7,5
z12	42,7	42,6	42,4	35,1	0,581	0,24	6,7	7,6
z13	41,1	41,1	38,8	38,8	0,815	0,10	2,8	2,2
z14	44,9	44,8	44,1	42,9	0,833	0,07	1,9	2,0
z15	57,8	56,7	54,9	51,1	0,895	0,23	6,4	6,7
z16	51,0	51,0	51,0	51,0	*	0,00	0,0	0,0
z17	45,0	45,0	41,2	30,8	0,755	0,48	13,4	14,2
z18	44,4	44,4	44,4	44,4	*	0,00	0,0	0,0
Z1	42,1	45,9	47,0	47,1	0,750	0,168	4,7	5,0
z21	37,8	26,6	18,5	15,2	0,968	0,82	22,9	22,7
z22	34,8	27,3	10,9	7,69	0,959	1,05	29,4	27,2
z23	35,1	29,2	20,9	18,4	0,981	0,63	17,6	16,8
z24	36,1	22,9	19,1	13,5	0,937	0,77	21,6	22,6
z25	43,4	39,6	27,5	18,8	0,958	0,91	25,5	24,6
z26	39,5	22,5	20,4	19,1	0,766	0,69	19,3	20,4
z27	39,9	34,5	19,3	9,98	0,967	1,11	31,1	29,9
z28	44,9	24,2	19,8	12,6	0,906	1,09	30,5	32,4
Z2	14,4	19,5	28,3	39,0	0,990	0,882	24,7	24,6
z31	15,6	2,04	1,8	0,60	0,708	0,49	13,7	14,9
z32	24,5	0,00	0,00	0,00	0,633	0,80	22,4	24,5
z33	34,7	24,2	2,25	0,00	0,944	1,35	37,8	34,7
z34	28,0	18,9	7,63	0,00	0,998	1,01	28,3	28,0
z35	27,4	10,9	6,83	2,00	0,901	0,86	24,1	25,5
z36	32,9	18,9	14,2	6,26	0,961	0,90	25,2	26,7
z37	28,5	11,2	1,9	0,97	0,892	0,99	27,7	27,6
z38	26,9	9,11	3,97	0,14	0,891	0,92	25,8	26,8
Z3	1,2	4,8	11,9	27,3	0,932	0,917	25,7	26,1

me a Tabela 1. Nota-se também que a maior variação encontrada localiza-se na subzona Z33. A zona central, ou Z1, apresentou variação da TO entre 0 e 7,6%, com exceção da subzona Z17 cuja TO é 14,2%. Isto reflete pouco acréscimo da área construída projetada na zona central, embora tenha havido verticalização nesta área.

Conforme se observa, ainda da Tabela 1, a variação da TO é inverso ao valor da TO: quanto maior a TO menor sua variação, por falta de espaço entre outras razões. Na área central, pode-se ver TOs altas e ao mesmo tempo pouca variação, indicando uma estabilização da ocupação urbana.

As áreas com maior potencial de crescimento de TO são as zonas 2 e 3, pois ambas ainda possuem muitos vazios urbanos. A zona 2 oferece mais atrativos por estar mais próxima do centro que a zona 3, ela também pode ser mais ocupada e adensada que a zona periférica, fatores que podem motivar a especulação imobiliária. A zona 3 vai continuar com grande aumento de TO, já que tem muitos espaços livres e disposição de construções ainda rarefeitas. Apenas a zona central, conforme mostrado nas análises, tende a estabilizar a TO e partir para o adensamento populacional promovido pela verticalização.

O prognóstico da TO é feito em item específico na seqüência.

Distribuição de áreas permeável e impermeável em áreas livres

A quantificação da área permeável, conforme visto na metodologia, é fruto de visitas de campo através de uma amostra de 50 quadras, as quais foram inspecionadas lote a lote em 1998.

A Figura 3 mostra o cruzamento dos dados da taxa de ocupação (que levantou a área livre de cada quadra estudada) e a área permeável colhida *in loco* resultando na obtenção da porcentagem de área impermeável de cada quadra das zonas 1, 2 e 3, respectivamente.

O método de amostragem determinou o total de 5 quadras para a zona central, ou Z1, distribuídas uma para cada das subzonas: Z11, Z12, Z14, Z16 e Z17. A Figura 3 mostra a pequena porcentagem de área permeável dentro da zona central da cidade. Exceto por uma quadra da subzona Z16, que por ter uso exclusivamente institucional, proporcionou uma ocupação privilegiada para a permeabilidade do

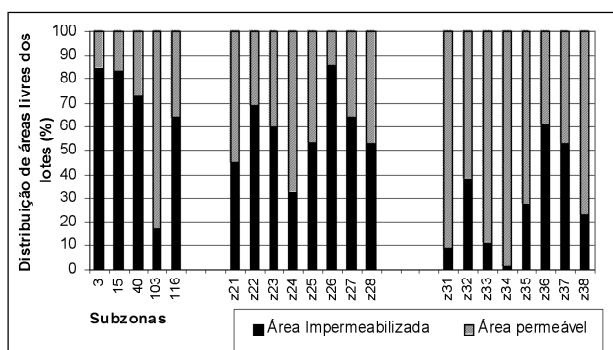


Figura 3. Distribuição percentual das áreas livres dos lotes, por subzona, em permeável e impermeabilizada.

solo. Ressalta-se que a zona central teve uma quadra por subzona, porém ela é menor em relação às demais, como se observa na Figura 1 e mais homogeneamente ocupada, por ser uma área consolidada da cidade, ser o núcleo inicial de sua formação e ter saturação de crescimento horizontal.

Foram analisadas 20 quadras da zona 2, distribuídas em 3, 3, 3, 3, 4, 1, 1, e 2 respectivamente para cada uma das 8 subzonas, conforme mostrado na Figura 3. Nota-se nesse gráfico que na zona 2 houve o aumento de área permeável em relação à zona central, mas que as áreas impermeáveis são ainda maioria. No geral, os moradores das casas visitadas “cimentaram” suas frentes e quintais alegando uma maior praticidade no dia a dia.

Na zona 3 foram analisadas 25 quadras, distribuída sem 1, 3, 2, 1, 5, 3, 5, 5 respectivamente para cada uma das 8 subzonas. A Figura 3 mostra de forma evidente na zona 3 o aumento da área permeável em relação às outras zonas da cidade. Muito desse aumento é devido à existência de terrenos baldios e/ou áreas livres totalmente permeáveis.

A Figura 4 mostra os valores médios para as três zonas. O aumento da impermeabilização deve-se à utilização do solo pela especulação imobiliária e pela crescente substituição de uso do solo nas áreas centrais. Na zona 3, as áreas livres dos assentamentos, geralmente de baixa renda, são de terra batida e ou mato descuidado.

Relações resultantes entre TOI e densidade populacional

Este cruzamento proporcionou traçar um perfil direto da porcentagem de área de cada quadra que interfere diretamente no escoamento superficial direto, possibilitando diagnosticar e prognosticar seu comportamento.

Para chegar à TOI de cada quadra, foi somada à área edificada projetada no terreno, a área impermeável de sua área livre, sendo esse valor dividido pela área total do terreno. Esta avaliação baseou-se nos dados de campo e mapas aerofotogramétricos e refere-se a 1998.

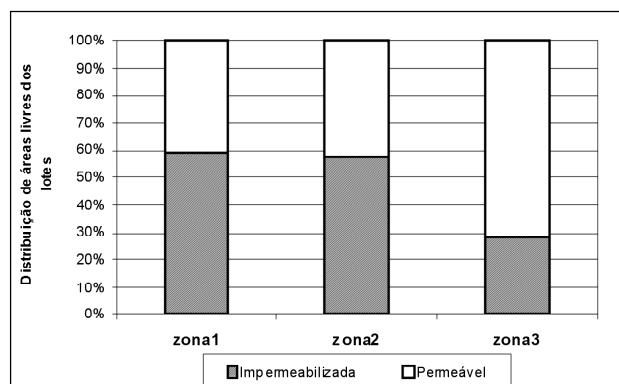


Figura 4. Distribuição de áreas livres dos lotes, por zona, em permeável e impermeabilizada.

A TOI foi relacionada com a densidade populacional para as quadras coincidentes e seu resultado mostra um dado comparativo entre a impermeabilização do solo e densidade populacional.

A Figura 5 relaciona a TOI com a densidade populacional nas 3 zonas da cidade, apresentando sua tendência geral.

A tendência geral da Figura 5 indica a possibilidade de estabilização da TOI enquanto cresce a densidade. Nota-se maior espalhamento dos pontos para baixas densidades, pois existem vários pontos com alta TOI e baixa densidade, mas todos os pontos com alta densidade têm TOIs relativamente altas.

Dados da Tabela 2 possibilitam notar que a zona 1 é a mais impermeabilizada e, ao mesmo tempo, tem maior densidade. A zona 2 mostra uma impermeabilização menor que a da zona 1, e uma densidade um pouco menor também. A zona 3 possui um perfil bem diferente das zonas 1 e 2, com densidade e impermeabilização bem baixas.

O comportamento da TOI para as zonas da cidade talvez seja explicado pela ocupação e renda de cada região avaliada, pois impermeabilizar implica em custos, além dos aspectos legais.

Pode-se ver que a zona 3, ou periférica, mantém ainda grande área permeável, primeiro por existirem muitos terrenos baldios, segundo pela baixa renda de sua população, que não tem condição financeira para cimentar suas áreas livres. A zona intermediária tem permeabilidade semelhante à da zona central, seus lotes têm alta impermeabilização, mostrando que a TOI está bastante ligada à densidade populacional, aliada à falta de uma legislação que regule este índice e por que não dizer, a projetos educacionais que enfoquem as vantagens ambientais que cada cidadão pode oferecer mantendo áreas permeáveis de seus lotes.

Comparam-se os resultados conseguidos àqueles obtidos por Campana e Tucci (1994), por ser ele um dos poucos existentes no Brasil a avaliar a impermeabilização urbana. A metodologia deles para determinação da impermeabilização está embasada em fotos de satélite, ana-

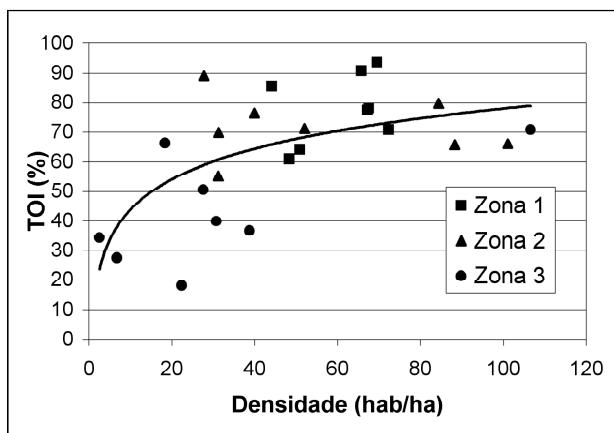


Figura 5. Tendência geral da relação entre taxa de ocupação e impermeabilização (TOI) e densidade populacional.

Tabela 2. Densidade e comparação de TO e TOI para 1998.

Zonas	Densidade (hab/ha)	TOI (%)	TO (%)	Crescimento da TO para atingir TOI (%)
Z1	60,7	77,6	47,1	64,74
Z2	57,0	71,7	38,9	83,93
Z3	31,8	43,0	27,3	57,43

lisando áreas da ordem de 2 km² e está aplicada a regiões metropolitanas, enquanto neste trabalho a área é a quadra e a cidade de porte médio. Observa-se também que os índices de impermeabilização são diferentes. É muito interessante, entretanto, verificar os efeitos destas diferenças. A tendência geral deste trabalho e a curva daqueles autores são mostradas na Figura 6. As duas curvas revelam diferenças consideráveis para baixas densidades populacionais, mas tendem para valores em torno de 70% de impermeabilização. Observe-se que aquela tecnologia nem poderia ser aplicada às zonas central e intermediária da cidade de São Carlos, para as quais se detectaram TOI superiores a 70%, indicando que ela produziria dados tendenciosos, segundo avaliação de Campana e Tucci (1994).

Relações resultantes entre TO e TOI

A Figura 7 mostra a relação entre a TOI e a TO. Pode-se ver que para a zona central, as TOIs e TOs são elevadas e TOI variou mais que TO. Para a zona 2 a TOI é mais baixa que na zona 1, mas é na TO que essa diferença é bem maior. Para a zona periférica TOI e TO são baixas e variaram bastante em relação às outras zonas.

Esta Figura 7 pode ser uma auxiliadora do planejador, fornecendo-lhe uma estimativa quantitativa da impermeabilização com o conhecimento da TO, extraída de

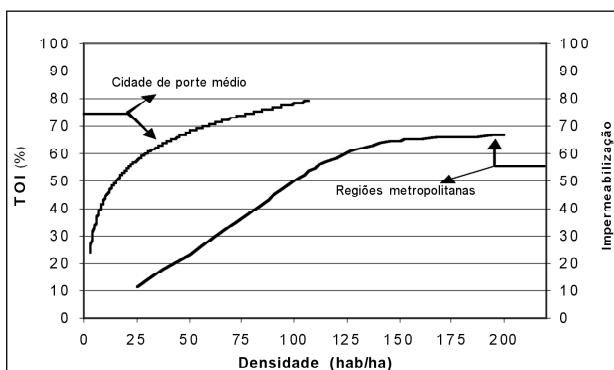


Figura 6. Tendências gerais para cidade de porte médio, desse trabalho, e para regiões metropolitanas de Campana e Tucci (1994).

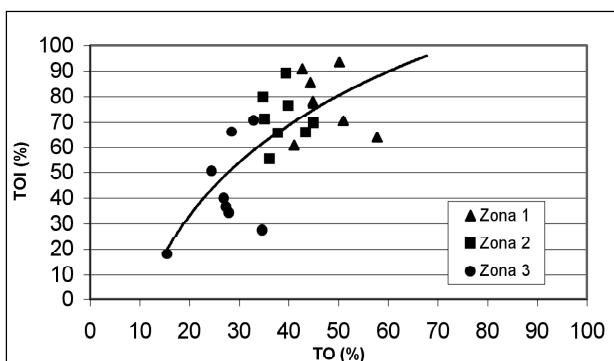


Figura 7. Tendência geral da relação entre as taxas de ocupação e impermeabilização (TOI) e de ocupação (TO).

dados das Prefeituras. Ressalta-se que a pesquisa se refere à cidade de São Carlos, por isso as generalizações devem ficar restritas a cidades de porte semelhante. Se comparadas às médias de TO e TOI por zona, constantes da Tabela 2, pode-se ver o quanto a TO foi acrescida para atingir TOI. Vê-se que a Zona 2 teve o maior crescimento, de 83,93%, seguida pelas zonas 1 e 3. Tais valores são significativos pois além de quantificar possibilitam entender um pouco a origem da impermeabilização, dando subsídios a todos os profissionais que interferem na superfície urbana.

Relações resultantes entre TO e CA

A comparação entre a TO, extraída de aerolevantamentos, e coeficiente de aproveitamento (CA), relação entre a área construída obtida da PMSC e a área da quadra, permitiu duas análises diretas: a primeira foi verificar o erro incorporado aos dados cadastrais da prefeitura e a segunda foi entender a distribuição da verticalização na cidade.

A diferença de 39,13% na zona Z1 indica maior verticalização devido ao maior número de edifícios. Na

Tabela 3. Distribuição de uso do solo.

Res.	Usos do solo em (%) por zona				
	Com.	Ind.	Serv.	Inst.	Outros
Zona1	57,0	36,1	0	3,6	3,6
Zona2	85,3	9,7	0,7	2,5	1,0
Zona3	85,7	12,3	0,0	0,4	0,6
					0,9

zona Z2 tem-se a diferença de 2,91% e Z3 -4,18%, a presença de edifícios é reduzida e o valor negativo pode ser devido à desatualização de dados cadastrais da PMSC. Em ambas, entretanto, vê-se coerência entre os dados das duas fontes.

Uso do solo - avaliação

Os dados de uso do solo foram levantados a partir das visitas de campo.

Na Tabela 3 nota-se que a porcentagem de moradias da área central é inferior às duas outras zonas, por outro lado, o comércio é maior nesta zona. Entre as zonas 2 e 3, existe um equilíbrio entre quantidade de residências e comércio.

A Tabela 3 evidencia a concentração de atividades no centro e de moradias nos bairros de periferia, havendo consequentemente, a necessidade de deslocamento para tais serviços.

Diagnóstico e prognóstico da TO

A Figura 8 mostra os valores médios da TO por zona, avaliada para 1970, 1978, 1988, 1998 e já apresentados nas linhas em negrito da Tabela 1.

Os prognósticos foram feitos considerando a "variação da TO ajustada anual" por zona, constante da coluna 3 da mesma tabela, a partir de 1998.

Verifica-se, na Figura 8, a estabilização da TO para a zona 1. A zona 2 apresenta crescimento contínuo da TO, sem manifestar ainda tendência a estabilização, tanto que, em 2018, ultrapassa em pouco a TO da zona 1. A TO da zona 3 mostra evolução semelhante à zona 2, porém partindo de patamares mais baixos. O valor máximo não ultrapassa 58%, mesmo para o ano de 2018.

Diagnóstico e prognóstico da TOI

A TOI foi prevista, para as três zonas, em 2008 e 2018 em função da TO. A tendência geral mostrada na Figura 7 foi usada nessa previsão. Os resultados deste prognóstico são ilustrados na Figura 9, onde se evidencia a quase estabili-

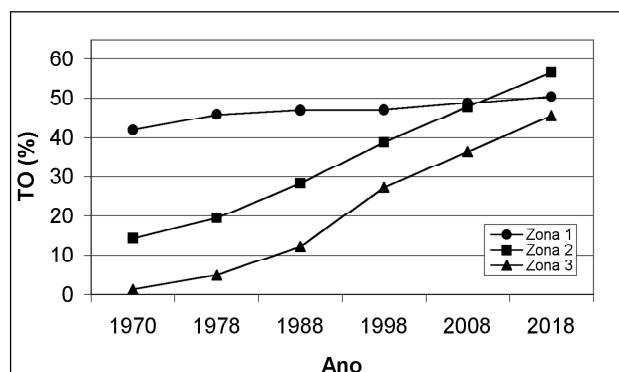


Figura 8. Avaliações da TO e prognósticos para 2008 e 2018.

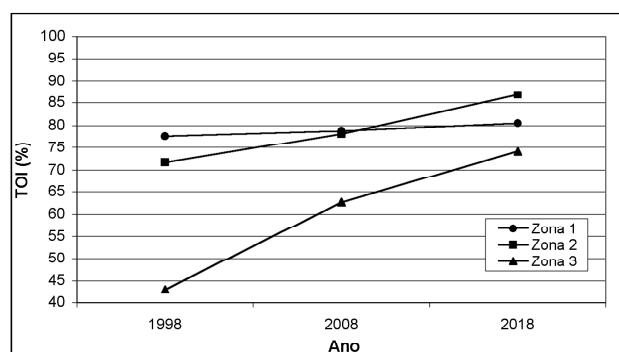


Figura 9. Prognósticos da TOI (%) para 2008 e 2018 a partir da TO (%).

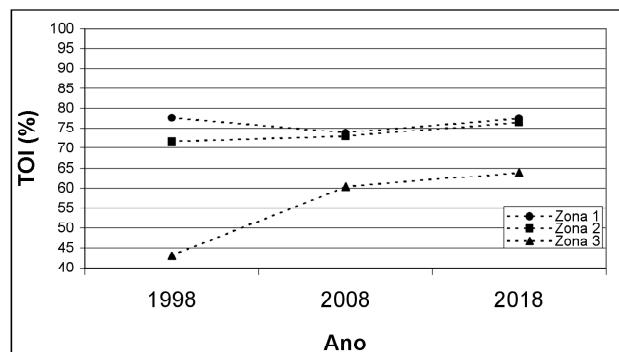


Figura 10. Prognósticos da TOI para 2008 e 2018 a partir da densidade populacional.

lização da TOI para a zona 1 e crescimento para as TOIs das zonas 2 e 3.

A Figura 10 apresenta os valores da TOI para 2008 e 2018 calculados em função da densidade populacional. A Figura 5 ilustra a tendência geral entre as duas variáveis. A evolução da TOI é semelhante àquela apresentada pela TOI em função da TO, porém os valores da TOI em função da densidade são de 6 a 7,6% menores para 2008, e 4 a 19% menores para 2018.

O uso de uma ou outra tendência geral dessas relações dependerá da qualidade e disponibilidade de dados locais.

CONCLUSÕES

Avaliou-se neste trabalho de pesquisa parâmetros urbanísticos históricos e atuais para auxiliar na elaboração do planejamento do sistema de drenagem e urbanístico, nos estudos hidrológicos, na avaliação da legislação de uso e ocupação do solo, e na conscientização e educação da população sobre sua atuação na transformação do meio urbano.

O trabalho experimental baseou-se em diferentes tipos de dados obtidos a partir da quadra e do lote: levantamento a partir da digitalização de dados históricos, dados da prefeitura, visitas de campo, dados populacionais, proporcionando várias possibilidades de relacionamento entre eles.

Procedimento estatístico e uso do SIG

A opção pelo planejamento amostral mostrou-se viável e coerente para avaliar os aspectos enfocados. Dados de diferentes fontes indicaram que as estimativas que foram feitas estão em concordância com a realidade.

Através da amostragem estratificada aleatória proporcional foi possível analisar toda a cidade. As amostras foram distribuídas cuidadosamente pelas 24 subzonas da cidade, segundo a metodologia detalhada anteriormente. Foram amostradas 208 quadras para coleta de dados aerofotogramétricos e levantamento de dados populacionais relativos aos anos de 1998, 1988, 1978 e 1970, levantadas 146 quadras junto aos cadastros da Prefeitura Municipal e 50 quadras para as visitas de campo.

A adoção do SIG permitiu o cruzamento de informações dos bancos de dados, possibilitando as análises propostas neste trabalho.

Qualidade dos dados

Os dados obtidos de levantamento de campo ou medidos *in loco* foram usados para quantificar a área “cimentada” ou impermeabilizada. Por terem sido avaliados diretamente e em escala real, admite-se que sejam resultados altamente confiáveis.

As áreas construídas projetadas foram avaliadas a partir dos mapas aerofotogramétricos, sendo bastante confiáveis por estarem definidas na escala trabalhada. Os dados de 1998 puderam ser conferidos, sendo comparados aos dados de coeficiente de aproveitamento (CA) da PMSC. Na zona 2, a diferença foi de 2,91% e na zona 3, a diferença encontrada foi de -4,18%. Este valor negativo, embora baixo, pode refletir desatualização dos dados da PMSC. Eles indicam, entretanto, coerência entre as duas fontes, já que o CA deve aproximar-se da TO por serem poucos os prédios nas zonas intermediária e periférica.

Distribuição de áreas livres dos lotes

A quantificação das áreas permeáveis e impermeáveis é fruto das visitas de campo. Esta medição permitiu entender e relacionar as áreas permeáveis do solo nas áreas privadas da cidade. Registrando-se, em média, área permeável de 22,39% para a zona central, 28,34% para a zona intermediária e 56,99% para a zona periférica. As Figuras 4 e 5 ilustram a distribuição das áreas livres das quadras por subzona.

Como mostra a Tabela 2, a TOI é superior à TO em 64,74%, 83,93% e 57,43%, respectivamente nas zonas 1, 2 e 3. Este acréscimo é devido à “cimentação” das áreas livres. Qualifica-se, desta forma, a natureza das áreas impermeáveis, além de quantificá-las.

Constatou-se um importante acréscimo da impermeabilização sem, na maioria das vezes, uma justificativa plausível dessa atitude. Isto pode ser dito, ao considerar que há diversas maneiras de conseguir um recobrimento do solo sem, necessariamente, produzir uma impermeabilização completa.

Prognósticos da TO

A Figura 8 mostra um crescimento acentuado da TO até 1998 para as zonas 2 e 3, ou seja, zonas intermediária e periférica. A partir de 98 há uma leve redução da taxa de crescimento da TO (inclinação dos segmentos de reta) das zonas 2 e 3, entretanto estas continuarão crescendo de forma acentuada. Os efeitos sobre as enchentes tendem a se agravar, pois as zonas 2 e 3 são parte significativa da cidade em termos de área. A zona 1 mostra que tem a TO quase estabilizada. Este prognóstico é confirmado pelas projeções da TOI.

Prognósticos da TOI como funções da densidade populacional e da TO

A avaliação da TOI para o ano de 1998 e suas extrapolações para 2008 e 2018, conforme mostradas nas Figuras 9 e 10 são fundamentais para se entender como o solo é impermeabilizado atualmente, e, mantidos os mesmos fatores influentes atuais, como será neste tempo futuro. O crescimento da TOI é especialmente importante, principalmente na zona periférica, por ser esta a maior de todas em área. As duas metodologias têm resultados próximos e partem de dados confiáveis.

Verticalização urbana

A diferença entre CA e TO são indicadores da verticalização. Na zona 1 essa diferença é grande, de 39,13%, na zona 2 de 2,91% e na zona 3 de -4,18%. Estes dados

evidenciam a presença de edifícios de mais de um pavimento na zona central, o que pode ser confirmado pela simples inspeção dessa zona. Nas duas outras zonas a diferença é baixa e denota rara presença de prédios altos.

Considerações finais

Observa-se, finalmente, que as metodologias de coletas e análises propostas são exequíveis, com base nesta experiência de pesquisa, em termos de tempo, de volume de trabalho e de dados, pois muitas cidades contam com os levantamentos aqui trabalhados.

As áreas livres dos lotes representam um percentual significativo dos mesmos, podendo e devendo ser usadas sem que venham a produzir elevado escoamento superficial. Isso é, certamente possível, elaborando-se uma legislação preocupada em aumentar a detenção e retenção das águas pluviais, assim como programas educacionais para a população mostrando os efeitos da impermeabilização do solo sobre as enchentes. O poder público pode oferecer também alternativas técnicas para revestimento de áreas livres que diminuam a “cimentação” pura e simples do solo e outras formas de controle das inundações no lote.

Espera-se que os métodos, análises e resultados venham contribuir para um planejamento consistente.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo apoio financeiro à pesquisa, à Prefeitura Municipal e SAEE de São Carlos pelo fornecimento de dados, aos cidadãos de São Carlos, que abriram suas casas e atenderam tão atenciosamente os pesquisadores e aos revisores anônimos pelas contribuições ao artigo.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. R. M. de (1992). A Peste e o Plano: o urbanismo do engenheiro Saturnino de Brito, dissert., FAU-USP, São Paulo.
- BENZE e TOMAZELLA, do LEA (1999). *Assessorias para o Planejamento Amostral* - Laboratório de Estatística Aplicada do Departamento de Estatística da UFSCar.
- BIRKHOLZ, L. B. (1983). *Evolução do Conceito de Planejamento Regional In: Questões de Organização do Espaço Regional*. Editora da Universidade de São Paulo.
- CAMPANA, N. A.; HAERTEL, V. e TUCCI, C. E. M. (1992). *Estimativa de Áreas Impermeáveis através de Sensoriamento Remoto*. RBE, Caderno de Recursos Hídricos, vol. 10, n. 2, p. 51-59.
- CAMPANA, N. A. e TUCCI, C. E. M. (1994). *Estimativa de área impermeável de macro bacias urbanas*. RBE, Caderno de Recursos Hídricos, vol. 12, n. 2, p. 79-94.
- FERRARI, C. (1988). *Curso de planejamento municipal integrado: URBANISMO/6º edição*, São Paulo: Pioneira, 631 p.
- FONTES, A. R. M. (2000). *Estudo analítico da morfologia urbana no processo de urbanização visando o planejamento do sistema de drenagem na cidade de São Carlos*. 162 p. Dissertação (Mestrado em Eng. Urbana) PPG - Eng. Urbana - UFSCar.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - www.ibge.gov.br/
- LAMAS, J. M. R. G. (1992). *Morfologia Urbana e Desenho da Cidade*. FCG - Fundação Calouste Gulbenkian/JNICT - Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica, Lisboa.
- RIO, V. Del. (1987). *Introdução ao Desenho Urbano no Processo de Planejamento*. Editora Pini, Rio de Janeiro.
- ROLNIK, R. (1997). *Anotações da Palestra do Seminário “São Carlos Projeto Cidade Urgente”* SESC/São Carlos. 11 de setembro.
- ROLNIK, R. (1997). *Planejamento urbano nos anos 90: novas perspectivas para velhos temas*. In: *Globalização, Fragmentação e Reforma Urbana - O Futuro das Cidades Brasileiras*. Luiz Cesar de Queiroz Ribeiro, Orlando Alves dos Santos (organizadores). Civilização Brasileira, Rio de Janeiro, 432 p.
- SANTOS, S. M. M. e PIRES, M. C. S. (1996). *O Município e a gestão urbana - novas exigências* In: *O Novo Município - economia e política local*. São Paulo em Perspectiva - Revista da Fundação SEADE, vol. 10, n. 3.

Diagnosis and Prognosis of Urban Occupation and Impermeabilization

ABSTRACT

This research extracted and evaluated urbanization parameters intimately associated with drainage systems for flood control. The object of study was São Carlos - SP, a medium-sized city with a population around 170,000. Photogrammetric maps of 1970, 1978, 1988 and 1998 were employed, field visits were made and data from IBGE and the São Carlos City Administration compiled for this purpose. This information was introduced in a data bank and analyzed using GIS producing the characterization of the urban surface. The parameters studied were occupation rate, occupation impermeability rate to focus on hydrological characterization, population density, urban area uses and impermeable areas. The methodology and its application enabled the diagnosis and prognosis of some of the abovementioned parameters. It was found that the impermeabilization of a medium-sized city could present high values even at low population densities. Impermeabilization can be increased by more than 60 % due to “cementing over” some of the unbuilt areas.

Key words: urbanization; drainage systems; flood.