DIOGO MARTINO FERNANDES ALMEIDA

Sistema de gestão de risco de inundações urbanas baseado em *web mapping.*

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo (EESC-USP).

Orientador: Professor Doutor Eduardo Mario Mendiondo

São Carlos, SP
2010

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

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

A447s

Almeida, Diogo Martino Fernandes
Sistema de gestão de risco de inundações urbanas baseado em *web mapping* / Diogo Martino Fernandes Almeida ; orientador Eduardo Mario Mendiondo. -- São Carlos, 2010.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2010.

1. Inundações. 2. Gestão de risco. 3. Vulnerabilidade. 4. *Web mapping*. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Diogo Martino Fernandes Almeida

Monografia defendida e aprovada em: 23/11/2010 pela Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Eduardo Mario Mendiondo

Prof. Dr. Jo Ueyama

Prof . Dr. JOÃO LUIZ BOCCIA BRANDÃO

Prof. Dr. Marcelo Zaiat
Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

Dedico este trabalho a todas as pessoas que perderam algo importante em decorrência de algum desastre natural. Em especial àquelas que perderam pela falta de possibilidade de terem uma vida melhor ou por omissão do poder público.

Dedico também a todos que trabalharam e trabalham tanto na redução dessas perdas quanto na recuperação da vida dessas pessoas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço às pessoas.

Agradeço a todos que, de alguma forma, fizeram parte de minha vida universitária. Agradeço a todos com quem aprendi algo, sendo ou não intenção desta pessoa.

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para esta pesquisa. Agradeço a todos os companheiros, aqueles que estavam lá para dividir vivências e somar esforços.

Agradeço à família, tanto aquela parte que não escolhemos quanto aquela parte que escolhemos.

Agradeço aos amigos, pela amizade. Não citarei nomes, pois as pessoas que importam já sabem e o que importa está no olhar.

Por fim, agradeço às instituições que tornaram possível tanto este trabalho quanto meu desenvolvimento como estudante. Agradeço à Universidade de São Paulo e Escola de Engenharia de São Carlos, por me proporcionar uma vaga no curso de graduação em engenharia ambiental, mesmo acreditando que o processo que me levou a conseguir esta vaga está errado. Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro a este pesquisador por meio de uma bolsa de iniciação científica dentro do projeto sob número de processo 118431/2007-2.

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS i
LISTA DE FIGURAS ii
LISTA DE TABELAS iii
RESUMO iv
1. Introdução 1
1.1. Objetivo 2
1.1.1. Objetivos específicos 2
2. Revisão da Literatura 5
2.1. Desastre 5
2.2. Risco 7
2.3. Vulnerabilidade 8
2.4. Aspectos da vulnerabilidade 9
2.5. Perigo 11
2.6. Exposição 11
2.7. Gestão de Risco de Inundações 12
2.8. Análise de Risco 13
2.9. Mapeamento de Risco 14
2.10. Inundações 14
2.11. Modelos Hidrológicos 15
2.11.1. Modelos de Precipitação-Vazão 16
2.11.2. Modelos de escoamento 16
2.12. Trabalhos Envolvendo Análise de Risco de Inundações 18
2.13. *Web mapping*, *Web GIS* e outros sistemas *on-line* 20
3. Material e Métodos 23
3.1. Análise Preliminar de Risco (*off-line*) 23
3.1.1. Introdução 23
3.1.2. Programas e Sistemas Utilizados: 25
3.1.3. Base de dados utilizada neste trabalho: 30
3.1.4. Obtenção das Manchas de Inundação 32
3.1.5. Sobre a região historicamente afetada na bacia urbana do córrego do Gregório, em São Carlos, SP. 33
3.1.6. Recortes para aplicação 34
3.1.7. Obtenção de manchas de inundação utilizando um programa LEGAL no SPRING. 35
3.1.7.1. Sobre os níveis de inundação 36
3.1.7.2. Sobre a base topográfica 37
3.1.7.3. Passos metodológicos 37
3.1.8. Identificação dos usos urbanos dos lotes 39
3.1.8.1. Sobre o mapa de usos dos lotes urbanos 40
3.1.8.2. Passos metodológicos 42
3.1.9. Cálculo das áreas inundadas 43
3.1.9.1. Passos metodológicos 44
3.1.10. Cálculo das áreas inundadas ao longo do córrego do Gregório 45
3.1.10.1. Sub-bacias utilizadas no trabalho 46
3.1.10.2. Passos metodológicos 46
3.1.11. Sobreposição dos PIs resultantes com as imagens de satélite 47

3.1.11.1. Passos metodológicos 47
3.2. Web mapping (*on-line*) 48
3.2.1. Utilização de web mapping na gestão de risco de inundações urbanas48
3.2.2. Programas e sistemas utilizados: 50
3.2.3. Criação do w*eb mapping* 51
4. Resultados e Discussão 53
4.1. Áreas ocupadas pelos lotes dos diferentes usos 53
4.2. Áreas inundadas ao longo do córrego do Gregório para os diversos valores de tempo de retorno. 54
4.3. Áreas inundadas ao longo do córrego do Gregório para os diversos valores de tempo de retorno e para os diferentes tipos de uso dos lotes urbanos. 55
4.4. Sistema on-line 57
4.5. Discussão 59
4.5.1. Em relação às áreas totais inundadas 59
4.5.2. Em relação aos tipos de lotes inundados 59
5. Conclusão 61
5.1. Análise de Risco de Inundações na Região Central do Município de São Carlos, na Bacia Hidrográfica do Córrego do Gregório. 61
5.2. SIGs e Análise de Risco 62
5.3. Nível de Perigo e Tempo de Retorno 62
5.4. *Web mapping* e Gestão de Risco 63
5.5. Recomendações 65
6. Bibliografia 67

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

API.....	*Application Programming Interface*
DPI.....	Departamento de Processamento de Imagem
GIS.....	*Geographical Information System*
GRIB.....	*GRIdded Binary*
GTZ.....	*Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit*
HEC-HMS.....	*Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System*
HTML.....	*HyperText Markup Language*
INPE.....	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISDR.....	*International Strategy for Disaster Reduction*
KML.....	*Keyhole Markup Language*
LEGAL.....	Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
MNT.....	Modelo Numérico de Terreno
OCHA-UN.....	*Office for the Coordenation of Humanitarian Affairs – United Nations*
ONU.....	Organização das Nações Unidas
PHP.....	*Hypertext Preprocessor*
SCS.....	*Soil Conservation Service*
SIG.....	Sistema de Informação Geográfica
SPRING.....	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
TR.....	Tempo de Retorno
UMU.....	*Urban Morphology Units*
UN.....	*United Nations*
UNISDR.....	*United Nations International Strategy for Disaster Reduction*
UMT.....	*Urban Morphology Types*
WMO.....	*Wold Meteorological Organization*
WSPM.....	*Water Surface Profile Modeler*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema da Gestão de Risco e da Análise de Risco (adaptado de WMO, 1999)..... 13
Figura 2 - Recorte aplicado neste trabalho..... 35
Figura 3 - Mapa de Uso de Solo na Área Urbana - Plano Diretor de São Carlos..... 41
Figura 4 - Utilização de web mapping na gestão de risco de inundações urbanas. . 49
Figura 5 - Áreas inundadas para os diversos valores de tempo de retorno..... 54
Figura 6 - Gráfico com as áreas inundadas acumuladas para o TR de 5 anos. 55
Figura 7 - Gráfico com as áreas inundadas acumuladas para o TR de 10 anos. 56
Figura 8 - Gráfico com as áreas inundadas acumuladas para o TR de 20 anos. 56
Figura 9 - Gráfico com as áreas inundadas acumuladas para o TR de 50 anos. 56
Figura 10 - Sítio apresentando a mancha de inundação para TR de 5 anos..... 57
Figura 11 - Sítio apresentando a mancha de inundação para TR de 10 anos. 57
Figura 12 - Sítio apresentando a mancha de inundação para TR de 20 anos..... 58
Figura 13 - Sítio apresentando a mancha de inundação para TR de 50 anos (em detalhe)..... 58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo das características dos modelos de escoamento (TUCCI, 2005). 17
Tabela 2 - Tipos de morfologia urbana empregados no trabalho.....24
Tabela 3 - Área total ocupada pelos diferentes usos dos lotes.....53

RESUMO

ALMEIDA, D. M. F. **Sistema de gestão de risco de inundações urbanas baseado em *web mapping***. Monografia apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

Este trabalho teve como objetivos propor e aplicar um método de análise de risco de inundações urbanas e propor um sistema *on-line* de mapeamento de risco que ofereça suporte dentro de um sistema de gestão de risco de inundações. O método de análise de risco se baseou no trabalho de Gwillian et al (2006), que trabalha com mapeamento de inundações como sendo a componente perigo e a identificação dos tipos de uso do solo como sendo a componente vulnerabilidade. O método foi aplicado na região historicamente afetada por inundações, no centro da cidade de São Carlos, SP, dentro da bacia hidrográfica do córrego do Gregório. Foram criadas manchas de inundação para valores de tempo de retorno (TR) de 5, 10, 20 e 50 anos, de acordo com os níveis de inundação calculados por Righetto (2005). Foi utilizado o sistema de informação geográfica SPRING, com auxílio do método proposto por Moni Silva (2006). A identificação dos usos se deu em escala de lote, baseado no levantamento utilizado para o Plano Diretor do Município de São Carlos, do ano de 2005. Para a análise, foi feita a avaliação das áreas inundadas ao longo do córrego para os diferentes tipos de uso e para os diversos valores de tempo de retorno. Os pontos mais importantes verificados foi o fato de os lotes mais atingidos serem do tipo Comercial/Serviços para todos os valores de TR e o fato de haver um aumento em relação aos outros tipos de lotes residenciais atingidos para os TR de 20 e 50 anos. Estas informações podem subsidiar programas e políticas públicas que agem sobre os problemas das inundações. O sistema *on-line* de mapeamento, ou *web mapping*, se baseou nos dados de perigo gerados na análise de risco. As manchas de inundação foram adicionadas a uma base do tipo *Google Maps*. Sendo que um sistema de gestão de risco de desastres pode envolver as etapas de antes, durante e depois do evento, um sistema de *web mapping* pode ser utilizado todas as etapas. Esse sistema pode ser utilizado para difundir informações quanto ao risco em certa região em todas as etapas, baseado em dados estatísticos e/ou dados observados. Pode ser utilizado para difundir informações da situação de risco em tempo atual, durante o evento, baseado em dados físicos adquiridos em tempo atual e modelos físicos. Também pode ser utilizado para difusão de informações de risco antes de o evento ocorrer, como um sistema de alerta antecipado, baseado em dados físicos adquiridos em tempo atual, modelos de previsão e modelos físicos.

Palavras-chave: Inundações, Gestão de Risco, Vulnerabilidade, *Web mapping*

1. Introdução

Os eventos hidrológicos extremos tem sido um dos principais deflagradores de desastres nos últimos tempos. Em se tratando de desastres naturais ocorridos no Brasil, esse tipo de evento é hoje o que mais causa perdas e danos.

Pode-se dizer que o número de inundações que atingem populações humanas tem se elevado a cada ano. Isto é conseqüência de diversos fatores, principalmente aqueles relacionados ao crescimento das cidades.

O aumento da ocupação em regiões de fundo de vale, o aumento dos níveis de impermeabilização do solo e a diminuição de áreas para infiltração da água da chuva são os principais fatores que contribuíram para essa elevação.

A questão se torna ainda mais grave quando lidamos com pequenas bacias hidrográficas em regiões de grande urbanização. Os fatores já apresentados se somam à característica da bacia de possuir um pequeno tempo de concentração do escoamento superficial. Isso faz com que as vazões atinjam níveis maiores e que seu valor de pico seja alcançado em um tempo reduzido.

A questão do tempo é primordial quando se quer diminuir as perdas decorrentes das inundações. Um sistema de gestão de risco de desastres deve levar em conta esse fator.

O sistema de gestão de riscos deve possuir tanto elementos de análise quanto ferramentas de gestão, que possam contribuir para a diminuição das perdas decorrentes de desastres.

O mapeamento de risco de desastres é um processo importante tanto para análise quanto para a gestão do risco. Esse mapeamento consiste em se

colocar numa base geográfica, dados relativos ao risco de desastres numa determinada região e gerar uma saída gráfica para esta base.

Nos últimos anos tem havido crescimento da inclusão digital e do acesso à *Internet* e, conseqüentemente, da utilização de ferramentas *on-line*. Uma dessas ferramentas é o *web mapping*, ou mapeamento *on-line*, que consiste em apresentar informações geográficas numa interface gráfica por meio da *Internet*.

Sendo o *web mapping* uma tecnologia em clara ascensão, cujo desenvolvimento e utilização ainda são recente, mas estão bastante avançados, este demonstra-se uma opção viável para a difusão de informações geográficas por meios da *Internet*.

Portanto, o *web mapping* demonstra-se uma ferramenta passível de utilização para difusão via *Internet* de informações relativas ao risco de inundações de uma determinada área. Este trabalho pretende unir essas duas aplicações de dados geográficos para auxiliar um sistema de gestão de risco.

1.1. Objetivo

O presente trabalho tem como objetivos propor e aplicar um método de análise de risco de inundações urbanas e propor um sistema *on-line* de mapeamento de risco que ofereça suporte dentro de um sistema de gestão de risco de inundações.

1.1.1. Objetivos específicos

1. Propor uma metodologia simples de análise de risco de inundações urbanas utilizando geoprocessamento, dentro de uma base de dados geoespaciais;

2. Aplicar a metodologia para a região historicamente atingida por eventos de inundação na bacia urbana do córrego do Gregório, São Carlos, SP;

3. Analisar os dados obtidos;

4. Propor um sistema *on-line* de mapeamento de risco que ofereça suporte dentro de um sistema de gestão de risco de inundações.

2. Revisão da Literatura

Este capítulo introduz alguns conceitos e traz elementos que subsidiam o restante do trabalho. Primeiramente, são apresentados e definidos os conceitos relacionados ao Risco de Desastres: desastre, risco, vulnerabilidade, aspectos da vulnerabilidade, perigo, exposição, gestão de risco, análise de risco e mapeamento de risco.

Depois são apresentados os conceitos que envolvem o objeto de estudo deste trabalho, as inundações e a modelagem utilizada em trabalhos que as estudam. Os tópicos sobre inundações, modelos hidrológicos, modelos precipitação-vazão e modelos de escoamento têm essa função.

O tópico seguinte, "Trabalhos envolvendo análise de risco de inundações", faz uma descrição de alguns trabalhos que se propuseram a fazer esse tipo de estudo, fazendo parte, inclusive, dos trabalhos que subsidiaram o presente estudo.

O último tópico, "Web mapping, Web GIS e outros sistemas on-line", tem como objetivo apresentar os termos e conceitos utilizados dentro dos estudos e aplicações de mapeamento on-line.

2.1. Desastre

A definição do OCHA-UN (Gabinete de Coordenação dos Assuntos Humanitários, da Organização das Nações Unidas, em inglês), de desastre é que este corresponde a “uma interrupção grave do funcionamento de uma sociedade, causando generalizadas perdas humanas, materiais ou ambientais que excedem a

capacidade da sociedade afetada para lidar utilizando apenas seus próprios recursos" (adaptado de WMO, 1999; UNISDR, 2009). Segundo o mesmo autor, "desastres geralmente são classificados de acordo com suas velocidades de início (súbito ou devagar), ou de acordo com suas causas (natural ou por ação do homem)" (idem).

Uma forma simplificada de conceituar "desastre" é considerar este como sendo "resultado do impacto de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social", que causa "sérios danos e prejuízos que excedem a capacidade dos afetados em conviver com o impacto" (MARCELINO, 2008). São considerados desastres naturais fenômenos intensos que ocorrem em área ocupadas pelo homem, que resultam em danos (materiais e humanos) e prejuízos (sócio-econômicos), exemplos desses fenômenos são inundações, escorregamentos, secas, furacões, entre outros que são influenciados pelas características locais, tais como rocha, solo, topografia, vegetação e condições meteorológicas (KOBIYAMA ET AL, 2006).

A Política Nacional de Defesa Civil diz que o desastre é resultado de eventos adversos sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais ou ambientais e conseqüentes prejuízos econômicos e sociais, sendo que esse evento adverso pode ser de origem natural ou provocado pelo homem (CASTRO, 2007). Pode-se considerar que a grande maioria dos desastres rotulados como naturais seriam de fato desastres mistos, possuindo causas naturais, mas sendo auxiliado ou amplificado por ações antrópicas no meio. (MARCELINO, 2008)

Entre a primeira e a segunda definição notam-se poucas diferenças. A primeira utiliza o termo "sistema social" como objeto das conseqüências do desastre enquanto a segunda utiliza o termo "ecossistema", na prática ambos acabam tendo

o mesmo valor. Além disso, enquanto a primeira definição expressa que os danos e prejuízos causados pelo evento devem exceder a capacidade dos afetados em conviver com o impacto para que seja considerado um desastre, a segunda resume isso com a palavra “vulnerável” caracterizando o “ecossistema” objeto dos impactos.

Considera-se que “a intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento adverso e a vulnerabilidade do sistema e é quantificada em função de danos e prejuízos” (CASTRO, 2007).

2.2. Risco

A Política Nacional de Defesa Civil (CASTRO, 2007) traz duas definições para “**risco**”. Diz que é a “medida de danos ou prejuízos potenciais, expressa em termos de probabilidade estatística de ocorrência e de intensidade ou grandeza das conseqüências previsíveis”, também considera o risco como sendo a “relação existente entre a probabilidade de que uma ameaça de evento adverso ou acidente determinados se concretize, com o grau de vulnerabilidade do sistema receptor a seus efeitos.”

Para o OCHA-UN, risco pode ser considerado como sendo as “perdas esperadas (de vidas, pessoas feridas, dano a propriedades e interrupção de atividades econômicas) devido a um perigo em particular para uma dada área e período de tempo. Baseado em cálculos matemáticos, risco é o produto do perigo e da vulnerabilidade” (adaptado de WMO, 1999). A organização também considera, de uma forma geral, que o risco é a probabilidade de um evento e suas conseqüências negativas (UNISDR, 2009).

As duas referências trazem definições semelhantes para “risco”. Em ambos os casos, “risco” relaciona-se com as perdas potenciais geradas por um

evento adverso (perigo) e também possui relação direta com características intrínsecas do sistema atingido (vulnerabilidade).

Alguns autores utilizam uma definição complementar, para estes, o risco se mantém sendo a probabilidade de uma perda, mas depende de três elementos, perigo, vulnerabilidade e exposição. Essa relação é proporcional, ou seja, se algum desses três elementos aumentar ou diminuir, então o risco aumenta ou diminui respectivamente (CRICHTON apud DWYER ET AL, 2004).

2.3. Vulnerabilidade

Vulnerabilidade pode ser definida como sendo a "condição intrínseca ao corpo ou sistema receptor que, em interação com a magnitude do evento ou acidente, caracteriza os efeitos adversos, medidos em termos de intensidade dos danos prováveis" (CASTRO, 2007). De forma semelhante, UNISDR (2009) define vulnerabilidade como sendo as características e circunstâncias de uma comunidade, sistema ou propriedade que os torna suscetíveis a efeitos danosos de uma fonte de perigo.

Outra definição estabelece vulnerabilidade como sendo a "relação existente entre a magnitude da ameaça, caso ela se concretize, e a intensidade do dano conseqüente" (CASTRO, 2007). Esta definição toma o mesmo sentido da definição de WMO (1999), que entende a vulnerabilidade como sendo o "grau de perda (de 0 a 100%) resultado de um fenômeno prejudicial em potencial".

A vulnerabilidade pode também estar associada à capacidade do objeto exposto ao perigo em resistir, reparar ou se recuperar dos impactos de certa fonte de perigo (DWYER ET AL, 2004). De maneira semelhante, Mendiondo (2007) diz que vulnerabilidade é quanto um sistema é susceptível (ou incapaz de lidar com) os

efeitos adversos provenientes de um perigo convertido em desastre. O autor também encara a vulnerabilidade como sendo função das características, magnitude e taxa de mudança e variação com as quais um sistema é exposto, sua sensibilidade e sua capacidade de adaptação.

2.4. Aspectos da vulnerabilidade

O ISDR identificou quatro tipos principais de vulnerabilidade (WMO, 2004):

1. Física, referindo-se principalmente à localização e ao ambiente construído;

2. Social, ligada ao nível de bem-estar dos indivíduos, comunidades e sociedades. São inclusos aspectos relacionados ao letramento e educação, paz e segurança, acesso aos direitos humanos básicos, sistemas com boa governança, equidade social, valores tradicionais positivos, estruturas do conhecimento, crenças, costumes e sistemas de organização coletiva em geral**;**

3. Econômica: os pobres geralmente são mais vulneráveis ao risco que os ricos e tendem a perder mais e se recuperar de forma mais lenta quando um desastre acontece. As ligações entre a erradicação da pobreza, o impacto da pobreza na recuperação de desastres naturais e o estado dos reservatórios de recursos naturais de que dependem, são cruciais.

4. Ecológica, cobrindo um amplo espectro de situações, como o consumo excessivo e degradação dos recursos naturais, a perda de resiliência em ecossistemas e na biodiversidade e o nível de exposição a poluentes tóxicos e perigosos.

Quando se lida com risco relacionado ao um sistema social, pode ser estudada a vulnerabilidade desse sistema, que é chamada de “vulnerabilidade social”. Ela pode ser dividida em quatro níveis diferentes (Adaptado de DWYER ET AL, 2004):

1. Nível do indivíduo dentro de sua vizinhança, que está relacionado a atributos pessoais;
2. Nível da comunidade, relacionado com o modo como as pessoas interagem com aqueles ao seu redor;
3. Regional ou Geográfico, que está relacionado ao quão distante as pessoas estão dos serviços públicos;
4. Administrativo ou Institucional, que está relacionado à existência de fundos para desastres e estudos de mitigação.

O trabalho “Social Vulnerability to Environmental Hazards” lista um grande número de fatores que influenciam na vulnerabilidade de uma comunidade (CUTTER ET AL, 2003): níveis socioeconômicos da população, gênero, raça ou etnia, idade, desenvolvimento comercial e industrial do local, taxa de desemprego, proporção entre população rural e urbana, tipos das propriedades residenciais, infra-estrutura urbana do local, proporção de imóveis alugados, tipo de emprego da população, estrutura familiar, educação, crescimento populacional, níveis dos serviços médicos, dependência social da população, populações com necessidades especiais.

2.5. Perigo

De modo geral, o perigo representa a probabilidade de certo evento adverso ocorrer num dado período de tempo e lugar, além disso, essa probabilidade pode estar vinculada à magnitude do evento, e portanto, dessa forma, às conseqüência desagradáveis que esse evento pode gerar (CASTRO, 2007; CASTRO ET AL, 2005; WMO, 1999).

UNISDR (2009) toma uma definição mais explicativa, considerando o perigo como um fenômeno, substância, atividade humana ou condição que pode causar perdas de vidas, ferimentos ou outros impactos à saúde, danos à propriedade, perdas de meios de subsistência e serviços, perturbação social e econômica ou danos ao meio ambiente.

2.6. Exposição

Segundo Dwyer (2004), os elementos expostos referem-se aos fatores, como pessoas, construções e sistemas, que são sujeitos ao impacto de uma determinada fonte de perigo.

O trabalho de Gwillian et. al. (2006) tem como elemento exposto terrenos e construções, dessa forma, conceitua exposição como sendo correspondente à extensão e ao valor dos terrenos ou edifícios que seriam afetados diante de uma fonte de perigo.

Uma maneira mais geral de definir exposição seria entendê-la como sendo o que caracteriza a sujeição dos elementos sob risco no espaço e/ou no tempo em relação a uma determinada fonte de risco.

2.7. Gestão de Risco de Inundações

De maneira geral, GTZ (2002) define gestão de risco de desastres como uma série de ações (programas, projetos e/ou medidas) e instrumentos expressamente destinados para a redução do risco de desastres em regiões com potencial para tal e mitigação dos efeitos dos desastres. Segundo o autor, gestão de risco de desastres contempla análise de risco, prevenção de risco, mitigação e preparação para desastres. Sendo a inundação um tipo de desastre, a gestão de risco de inundações está inserida nessa definição.

Segundo UN (2006), gestão de risco de inundações é um processo global para o reconhecimento e combate efetivo do risco associado às inundações por meio de um conjunto de ações planejadas. Este processo envolve um número de atividades que ocorrem dentro das três etapas relacionadas à ocorrência do evento: antes, durante e depois. O autor indica que essas ações são:

- Pré-evento: medidas preventivas e alerta;
- Durante a inundação: atenuação do desastre, ações de mitigação e resposta;
- Pós-evento: reabilitação, reconstrução, recuperação econômica, e esforços para avaliar e aperfeiçoar as medidas preventivas.

WMO (1999) propôs um esquema básico da relação entre análise de risco e gestão de risco de desastres, utilizando como objeto os desastres do tipo inundação. Este esquema posteriormente foi adaptado e levemente modificado por UN (2006), resultando no apresentado pela figura 1.

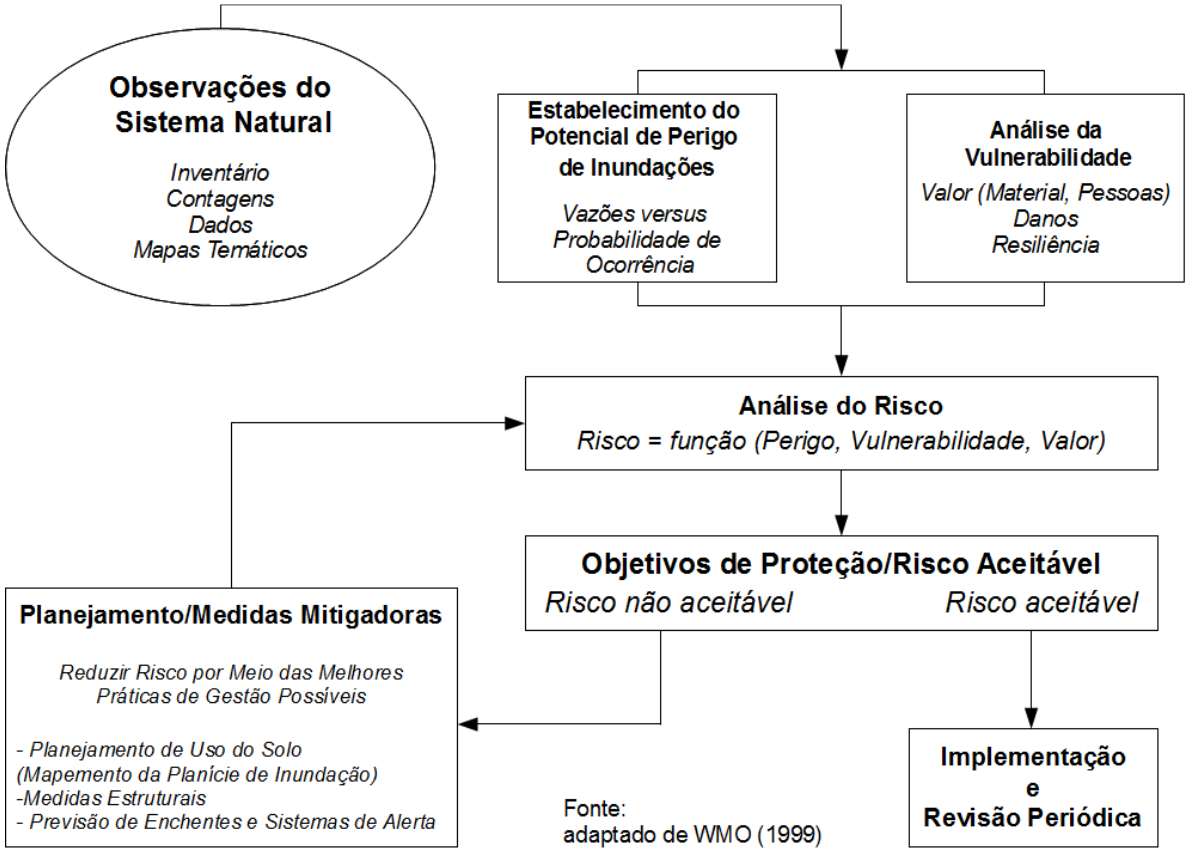


Figura 1 - Esquema da Gestão de Risco e da Análise de Risco (adaptado de WMO, 1999)

2.8. Análise de Risco

A ISDR (Estratégia Internacional para Redução de Desastres, em inglês), da ONU, define "análise de risco" (*risk assessement*) como "uma metodologia para determinar a natureza e extensão do risco pela análise do perigo potencial e avaliar as condições existentes de vulnerabilidade que, em conjunto, podem potencialmente prejudicar pessoas expostas, propriedades, serviços, comunidades ou ecossistemas dos quais dependam" (adaptado de UNISDR, 2009).

Um dos mais importantes fatores a ser considerado nos estudos de análise de risco é a finalidade para a qual esse estudo é feito, incluindo os usuários potenciais. A análise de risco é importante para a criação de projetos de mitigação,

mas a avaliação do risco também fornece uma base sólida para o planejamento e alocação de recursos (WMO, 1999).

2.9. Mapeamento de Risco

Mapas de risco são representações gráficas utilizadas tanto no processo de análise do risco, quanto como instrumento de gestão de risco. Eles tratam da espacialização das regiões que apresentar maior ou menor risco. São considerados um dos instrumentos de análise de risco mais eficientes, pois, a partir destes ”é possível elaborar medidas preventivas, planificar as situações de emergência e estabelecer ações conjuntas entre a comunidade e o poder público, com o intuito de promover a defesa permanente contra os desastres naturais” (MARCELINO et al, 2006). Segundo UN (2006), esse tipo de mapeamento deveria ser base para todos os programas de redução de danos por inundações e ações subseqüentes.

2.10. Inundações

Inundações são eventos hidrológicos que consistem no aumento do nível dos rios, de forma a ocorrer extravasamento de suas águas sobre as áreas próximas a ele, sendo que estas áreas planas próximas aos rios sobre as quais as águas extravasam são chamadas de planícies de inundação. (KOBIYAMA ET AL, 2006).

Castro (2003) classifica as inundações em função de dois aspectos, magnitude e padrão evolutivo. Podem-se classificar as inundações pela magnitude em excepcionais, de grande magnitude, normais ou regulares e de pequena magnitude. Pelo padrão evolutivo, as inundações podem ser classificadas em inundações graduais, inundações bruscas, alagamentos e inundações litorâneas. A

maior parte das situações de emergência é causada por inundações graduais e bruscas (KOBIYAMA ET AL, 2006).

Inundações bruscas ocorrem como resultado de um rápido acúmulo e lançamentos de águas do escoamento superficial em áreas com altas declividades, geralmente presentes em regiões mais à montante das bacias. Elas podem ser causadas por chuvas intensas, deslizamentos de terra, súbita ruptura de geleiras ou a falha de obras de controle de inundações. São caracterizadas pelo forte aumento do nível d'água seguida por uma recessão relativamente rápida, causando grandes velocidades de escoamento. As vazões rapidamente atingem seu máximo e diminuem quase que à mesma taxa. Inundações rápidas são particularmente comuns em áreas montanhosas e regiões desérticas, mas são um perigo em potencial em qualquer área onde o terreno é íngreme, a taxa de escoamento superficial é elevada e onde temporais severos ocorrem com freqüência. Elas são mais destrutíveis que os outros tipos de inundações, por causa de sua imprevisibilidade natural e força excepcional, que carrega uma grande concentração de sedimentos e detritos, dando pouco ou nenhum tempo para as comunidades atingidas se prepararem para o evento (WMO, 2006).

2.11. Modelos Hidrológicos

Os modelos hidrológicos são ferramentas criadas para “melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas” (TUCCI, 2005). Segundo o autor, os aspectos mais importantes para a utilização de um modelo hidrológico são:

– os objetivos nos quais o modelo será utilizado;

– as limitações do modelo na representação dos processos para os objetivos definidos e;

– a qualidade e quantidade das informações utilizadas em conjunto com o modelo.

Um grande número dos estudos relacionados a riscos de inundações trabalha com modelos hidrológicos, como acontece em Graciosa (2010), Moni Silva (2006), Gwilliam et al (2006) e Righetto (2005).

2.11.1. Modelos de Precipitação-Vazão

Os modelos do tipo precipitação-vazão fazem a representação da parte do ciclo hidrológico entre a precipitação e a vazão (TUCCI, 2005). Para fazer essa representação, os modelos representam a distribuição espacial da precipitação, as perdas por interceptação, evaporação, depleção do escoamento superficial, sub-superficial e no rio (IDEM).

2.11.2. Modelos de escoamento

Os modelos que tratam de escoamento têm como base as equações propostas por Saint Vénant. Essas equações estão relacionadas à continuidade, ou conservação das massas e à conservação da quantidade de movimento. A equação da quantidade de movimento completa considera as principais forças que atuam sobre o escoamento: gravidade, atrito, pressão e inércia ao fluxo (TUCCI, 2005).

São apresentadas algumas características dos tipos de modelos de

escoamento, baseado em Tucci (2005), juntamente com uma tabela resumo (Tabela 1) do mesmo autor.

Tabela 1 - Resumo das características dos modelos de escoamento (TUCCI, 2005).

	Distribuído	Efeito de jusante	Termos de pressão	Termos de inércia	Dados físicos
Armazenamento	Não	Não	Não	Não	Não
Onda Cinemática	Sim	Não	Não	Não	Opcional
Difusão	Sim	Sim	Sim	Não	Opcional
Hidrodinâmico	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

- Modelo de Armazenamento

Considera apenas o efeito do armazenamento no escoamento, desprezando os efeitos da equação de quantidade de movimento. Os modelos do tipo de armazenamento utilizam a equação da continuidade concentrada e uma relação entre o armazenamento e a vazão de saída e entrada do trecho. Utiliza pequeno volume de dados e formulação simples, por isso tem sido largamente utilizado em estudos hidrológicos.

- Modelo de Onda Cinética

Utiliza a equação de continuidade e quantidade de movimento desprezando-se os termos de pressão e de inércia. Utiliza a equação de continuidade distribuída e a expressão simplificada da equação de quantidade de movimento.

- Modelo de Difusão

Utiliza a equação de continuidade e quantidade de movimento desprezando-se o termo de inércia. Possui mais aplicabilidade que o modelo de onda cinética por considerar o termo de pressão. O modelo pode ser utilizado em rios e canais que sofrem efeitos de jusante e com velocidade sem gradientes significativos.

- Modelo Hidrodinâmico

Considera a equação de continuidade e quantidade de movimento completa. Esse modelo exige uma maior quantidade de dados que os outros modelos. É um modelo que oferece maior precisão e a melhor representação física do escoamento, permitindo simular modificações do sistema estudado.

2.12. Trabalhos Envolvendo Análise de Risco de Inundações

A expressão proposta por Mendiondo (2007) faz uma análise de risco em eventos de inundações bruscas, entendendo-o como um sistema complexo que envolve questões de ordem física da bacia, questões de vulnerabilidade pessoal e questões de organização social. O autor faz uma divisão em sua expressão, estabelecendo elementos da gestão de risco e da análise de risco. Os elementos da análise de risco empregada são perigo, exposição e vulnerabilidade, enquanto os elementos da gestão de risco são as etapas antes, durante e depois do evento.

Ribeiro e Mendiondo (2007) propuseram a utilização do que chamam de “sinaleira ambiental” como ferramenta para gestão de risco de inundações. Essas

sinaleiras ambientais são aparelhos que funcionariam como sistema de alerta contra inundações, através de sinais sonoros e luminosos que indicariam os níveis de risco de inundação no local. Utilizaram como estudo de caso a população da bacia do córrego do Gregório, no município de São Carlos, SP. Esse sistema se incluiria dentro do contexto de gestão de risco de inundações, fazendo parte do sistema de alerta da bacia em questão.

O trabalho de Righetto (2005) faz uma análise dos danos produzidos por inundações de diversas intensidades e aplica um modelo de seguros para a bacia do córrego do Gregório. O trabalho apresenta a utilização de seguros contra desastres como medida não-estrutural para enfrentar riscos hidrológicos sob um contexto de gerenciamento de bacias hidrográficas. Para o cálculo dos níveis de inundação, o autor utilizou o modelo chuva-vazão IPHS1 e um modelo de escoamento do tipo de armazenamento.

Em Graciosa (2010) foi criado um mapa de inundação para a mesma região. Os autores utilizaram o modelo SCS (*Soil Conservation Service*) através da plataforma computacional HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System*) para a transformação chuva-vazão. Foram simulados eventos com tempo de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos. Foram calculados os níveis de inundação utilizando o módulo WSPM (*Water Surface Profile Modeler*) do *software Kalypso* a partir dos dados de vazão obtidos na simulação anterior.. Para a geração das manchas de inundação, foi utilizado o módulo *Kalypso Flood*, presente na mesma plataforma.

Giuntoli (2008) trabalhou com mapeamento de risco de forma diferente, em seu trabalho, propôs um sistema de mapas *on-line* suprido com dados tanto de usuários via *Internet*, como provenientes de entrevistas com a população do

município de São Carlos, SP. Em seu trabalho também estimou o risco das bacias estudadas através da expressão proposta por Mendiondo (2008), comparando os resultados desta com os resultados das entrevistas com a população. Os métodos resultaram em avaliações distintas em relação ao risco de inundações nas bacias hidrográficas de São Carlos.

Gwilliam et al (2006) estabelece em seu trabalho métodos para análise de risco baseados em mapeamento de risco. Seu trabalho descreve metodologias para análise de risco em duas escalas diferentes, mais uma com a combinação das duas primeiras. A metodologia em macro-escala é chamada de *conurbation-scale methodology* (metodologia em escala de conurbação) e a em micro-escala é chamada de *neighbourhood-scale methodology* (metodologia em escala de vizinhança). Essas metodologias têm sido desenvolvidas para prover aos planejadores urbanos uma ferramenta para análise de risco de ameaças climáticas. Essa metodologia trata o risco como uma função da ameaça, vulnerabilidade e exposição, todos esses fatores são influenciados por alterações dos processos do clima. Esses três elementos são representados como camadas de dados geoespaciais, num sistema de informações geográficas (SIG) de forma a prover um arcabouço lógico para assistir o planejamento e manejo de comunidades mais seguras, mais sustentáveis e com maior resiliência em relação a ameaças climáticas.

2.13. *Web mapping*, *Web GIS* e outros sistemas *on-line*

Pode-se traduzir o termo *"web mapping"* como sendo "mapeamento em rede", essa rede comumente é a Internet. Por ser um termo comumente utilizado em inglês, será tratado dessa forma neste trabalho, sendo seu produto chamado de

"*web map*", ou mapa *on-line*. Podem ser definidos como representações gráficas de dados geográficos veiculados via rede de informações, sendo comumente utilizada a Internet.

Mitchell (2005) faz a divisão de *web maps* entre mapas estáticos e mapas interativos, que são aqueles que permitem ou não interação do usuário com as informações do mapa, respectivamente. Uma divisão que parece mais completa é aquela proposta por Kraak e Brown (2001), o autor classifica os mapas *on-line* em duas categorias básicas, os mapas estáticos e os mapas dinâmicos, existindo dentro dessas categorias mapas para visualização apenas e aqueles que permitem interação do usuário.

Estático é aquele tipo de *web map* que não se modifica, mantendo seu conteúdo sempre constante. Pode-se fazer uma divisão clara entre dois tipos de *web maps* estáticos, existe aquele que permite apenas a visualização, sem possibilidade de interação, e aquele que permite a interação. Esta interação geralmente é feita com a possibilidade do usuário de escolher planos de informações para serem visualizados, com a modificação da escala, posição, simbologia e cores dos mapas e com ligações com outros tipos de informações (como fotos, vídeos, sons, etc.).

O termo dinâmico está vinculado com a idéia de mudança, os mapas desse tipo possuem um ou mais planos de informação que se modificam com tempo. Ainda é possível fazer a mesma divisão que a feita com os mapas estáticos. Existem mapas *on-line* dinâmicos que não permitem interação com o usuário, apenas sua visualização, casos ilustrativos destes são mapas de previsão do tempo, que mostram de forma variável no tempo os movimentos das massas de ar na atmosfera. Também existem os mapas *on-line* que permitem interação, do mesmo modo que ocorre nos mapas estáticos, isso permite que o usuário tome decisões e

siga caminhos distintos enquanto utiliza o mapa *on-line*.

Embora sejam utilizados como sinônimos, os termos *Web GIS* e *web mapping* são qualitativamente distintos. Um *web map* não é um Sistema de Informações Geográficas (em inglês, *Geographical Information System*, GIS). Os *web maps* são tipos de representações de dados geográficos, que podem permitir ou não certa interação por parte do usuário. É evidente a ligação entre essas ferramentas, sendo que geralmente os dados são trabalhados em um SIG e depois disponibilizados via *web maps*. A principal diferença está na possibilidade de análises que existe em uma gama bastante ampla em utilitários SIG, o que não ocorre nos mapas *on-line*.

SIGs completos possuem uma demanda de conhecimentos técnicos bem acima do que geralmente os usuários de web maps necessitam ter. A criação desses mapas geralmente passa pela geração de bancos de dados via SIG, portanto pode-se esperar que a demanda técnica em geoprocessamento de usuários de SIG e criadores de mapas on-line seja bastante próxima.

3. Material e Métodos

Para este capítulo, buscou-se estabelecer uma divisão entre duas etapas principais do trabalho. A análise de risco, por ter sido feita numa plataforma não conectada à *Internet*, é considerada a etapa ***off-line*** do trabalho. A etapa de construção do sistema de *web-mapping*, por necessitar de uma plataforma conectada à *Internet*, é considerada ***on-line***.

3.1. Análise Preliminar de Risco (*off-line*)

3.1.1. Introdução

Petak e Atkisson, citados por WMO (1999) propuseram alguns passos básicos para a análise de risco:

a- Estimativa do perigo, incluindo localização, freqüência e severidade;

b- Estimativa da exposição, incluindo o número de pessoas, construções, fábricas, etc. expostos à fonte de perigo. Estes podem ser chamados de “elementos sob risco”;

c- Estimativa da vulnerabilidade dos elementos sob risco, normalmente expressa em porcentagem de perdas de pessoas, construções, na agricultura, etc.;

d- Multiplicação dos termos de perigo, exposição e vulnerabilidade para obtenção das perdas esperadas.

O trabalho de Gwillian et al (2006), que utiliza dados geográficos para

fazer esse tipo de análise, demonstrou-se um bom ponto de partida para a elaboração da metodologia a ser aplicada. O trabalho apresenta dois métodos, onde a principal diferença entre eles é a escala trabalhada em relação ao objeto sob risco estudado, construções. A *Connurbation-scale methodology* trabalha com uma generalização do fator vulnerabilidade dentro do que chama de UMU (Unidades de Morfologia Urbana, em inglês), classificada em diferentes UMTs (Tipos de Morfologia Urbana, em inglês). A *Neighbourhood-scale Methodology* trabalha com uma discretização das construções, aplicando valores de vulnerabilidade para cada uma.

Para o presente trabalho, foram utilizados os fundamentos da *Connurbation-scale methodology*, adaptando-se para a base de dados disponível. Os tipos de morfologia urbana empregados estão apresentados na tabela 2:

Tabela 2 - Tipos de morfologia urbana empregados no trabalho.

Tipos de Usos
Uso Residencial
Uso Comercial/Serviços
Uso Industrial
Uso Misto
Praças e Locais Abertos
Calha do Córrego

Esses tipos foram utilizados por serem empregados na base da dados utilizada, o material de elaboração do Plano Diretor do Município de São Carlos (Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano de São Carlos, 2005).

Além de a tipologia utilizada ser diferente, em relação àquela utilizada por

Gwilliam et al (2006), os produtos esperados também são diferentes. A categorização de níveis de risco baseada nos diferentes tipos de morfologia urbana não pareceu adequada para o presente estudo, uma vez que, na região estudada há uma predominância de apenas um tipo, Uso Comercial. Apesar disso, utilizou-se a divisão em tipos para fazer um estudo de quantificação de áreas afetadas em relação ao uso. Esse estudo se deu de forma integral, para toda a região estudada, e de forma distribuída ao longo do comprimento do córrego.

3.1.2. Programas e Sistemas Utilizados:

- Sistema de Informação Geográfica SPRING:

No Brasil, na área de geoprocessamento, é notável a existência de um software desenvolvido nacionalmente e com distribuição gratuita, o SPRING. SPRING é a sigla para Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas e foi inicialmente desenvolvido no Departamento de Processamento de Imagem (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O SPRING começou a ser desenvolvido pelos técnicos do INPE em 1991 com alguns objetivos iniciais (adaptado de CAMARA et al, 1996):

– Operar com um banco de dados geográfico íntegro, com um grande volume de dados, sem ser limitado a organizar temas, escalas e projeções. A identidade do objeto deve ser mantida em todo o banco de dados;

– Suporte tanto da geometria vetorial quanto da matricial e integração de dados de sensoriamento remoto num SIG, com funcionalidade para processamento

de imagem, modelação digital do terreno, análise espacial e pesquisas e modificações em banco de dados;

– Ser capaz de trabalhar com capacidade plena em computadores rodando com os tipos principais de sistemas operacionais;

– Prover um ambiente simples de se usar, mas poderoso em possibilidades, com a combinação de uma aplicação dirigida por uma interface gráfica de comando e linguagem algébrica espacial;

Seu desenvolvimento tem se dado desde então de forma a capacitá-lo cada vez mais a suprir as mais diversas demandas em termos de análise de dados geoespaciais e construção de mapas. Possui versões tanto para ambiente Windows® quanto para ambiente Unix (nas diversas distribuições Linux atuais). Hoje em dia, o programa se encontra em sua versão 5.1.3 e suas últimas atualizações tem sido no sentido tornar seu uso mais simples através uma grande reformulação na interface com o usuário.

O SPRING é um SIG completo, com aplicabilidade em diversas áreas, como saúde (PAVARINI et al, 2008), recursos hídricos (MONI SILVA, 2006), planejamento urbano (JANDUCCI, 2009), diagnósticos ambientais, estudos climático, entre outros. Muitos exemplos de trabalhos que utilizaram esse programa podem ser encontrados no seguinte endereço eletrônico:

- **Publicações SPRING**: *http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/publicacoes.php (acesso em 16 jul. 2010)*

A adoção deste SIG tem como pano de fundo não apenas aspectos técnicos (aos quais supre perfeitamente), mas também a valorização de um produto brasileiro e o mais importante, um produto gratuito, cujo desenvolvimento não é feito com objetivo de lucros, e sim de pesquisa e utilidade pública.

O SPRING trabalha com bancos de dados de informações geoespaciais. O **Banco de Dado**s corresponde fisicamente a um diretório onde serão armazenados suas definições de **Categorias** e **Classes**, e os **Projetos** pertencentes ao banco. Os **Projetos** são armazenados em subdiretórios juntamente com seus arquivos de dados: pontos, linhas, imagens orbitais e aéreas, imagens temáticas, textos, grades e objetos. Um **Projeto** define realmente a área física de trabalho. Dentro dele, há um conjunto de **Planos de Informações** (**PIs**) com mesmo sistema de projeção (INPE, 2008).

O **Plano de Informação** (**PI**) é a representação de um conjunto de informações geoespaciais, dentro de um determinado projeto do SPRING. Um **PI** possui uma única **Categoria**, que pode ser considerado como sendo o tipo da informação. As **Categorias** determinam a forma como as informações são organizadas dentro do **Banco de Dados** do SPRING e a forma como as informações são apresentadas dentro dos **Projetos** que fazem parte. Uma **Categoria** pode conter vários **PIs** em diferentes **Projetos** no mesmo **Banco de Dados**. Cada **Categoria** possui um determinado **Modelo de Dados**. Os **Modelos de Dados** possíveis são em número limitado e expressam o tipo funcional da informação, e conseqüentemente, as formas de manipulação e análise possíveis para aquele **PI**. Os **Modelos de Dados** que o SPRING utiliza são:

- **IMAGEM**: Categorias do modelo **Imagem** referem-se a dados provenientes de sensoriamento remoto em formato matricial. Exemplos: imagens TM/LANDSAT, SPOT, NOAA, fotografias aéreas transformadas em imagens digitais através de “scanners” etc.

- **NUMÉRICO**: Categorias do modelo **Numérico** referem-se a dados que possuem uma variação contínua de seus valores numéricos em função de sua posição na superfície. Também é chamado de MNT (Modelo Numérico do Terreno) ou MDT (Modelo Digital do Terreno). Exemplos: altimetria, pH do solo, magnetometria, temperatura de superfície etc.

- **TEMÁTICO**: Categorias do modelo **Temático** referem-se a dados que classificam uma posição geográfica quanto a um determinado tema. Ex: tipos de solo, classificação de vegetação etc.

- **CLASSES**: Para as categorias de dados do modelo temático é necessário definir as **Classes Temáticas**, que são especializações da categoria temática. Tomando-se como exemplo uma categoria tipos de solo, os diferentes tipos de solos constituirão as classes. Por exemplo, latossolo roxo, podzólico e litossolo.

- **OBJETO**: Categorias de dados do modelo **Objeto** referem-se à especialização de um tipo de objeto geográfico. Exemplo: municípios, logradouros, propriedades etc.

- **CADASTRAL**: Categorias do modelo **Cadastral** referem-se aos mapas que contêm a representação de determinado tipo de objeto, por exemplo: Divisão política é a categoria cadastral que conterá o mapa com as representações dos municípios.

- **REDE**: Categorias do modelo **Rede** referem-se aos dados geográficos que possuem relações de fluxo e conexão entre os inúmeros elementos que se deseja representar e monitorar. Ex: rede de energia elétrica , esgoto, água, drenagem, telefonia etc.

- **NÃO-ESPACIAL**: Categorias do modelo **Não-Espacial** referem-se aos dados que não possuem representação espacial como, por exemplo, os dados de cadastros rurais e urbanos.

O pacote de instalação SPRING traz, além do *software* principal, duas ferramentas essenciais para um trabalho completo em geoprocessamento. Um deles é o Impima, que é um módulo do SPRING com função de obter imagens no formato binário GRIB (GRIdded Binary) e convertê-la para um formato de trabalho do SPRING, *.spg . O outro módulo é o SCarta, programa destinado a fazer a cartas com as informações dos projetos do SPRING. O SCarta possibilita que se faça cartas de apresentação dos mapas, com legendas, nortes, escalas, entre outras coisas. O programa permite que os mapas produzidos sejam exportados em diversos formatos de impressão ou impressos diretamente.

- Outros Programas:

Para este trabalho, também foi necessária a utilização de outros programas computacionais. Foi utilizado o *software AutoCAD®,* versão 2006, para trabalhar com as bases de dados geográficos brutas, uma vez que estas estavam em formato proprietário do *software* (**.dwg*) e só nas últimas versões, o SPRING

passou a aceitar essa extensão. O *GoogleEarth®*, versão 5.1.3509.4636 (beta), foi utilizado para obtenção de imagens de satélite com boa resolução. O programa para edição de imagens *Photoshop®*, versão 7.0. Foi utilizado para unir as imagens coletadas no *GoogleEarth*, para formarem um únicos arquivo.

3.1.3. Base de dados utilizada neste trabalho:

Para o presente trabalho, foram utilizados dados de diversas fontes, que serão apresentados nesse tópico, incluindo suas características:

- **Base topográfica A**: curvas de nível com espaçamento horizontal de 5 metros, sob projeção UTM – Datum Córrego Alegre – Fuso 23. Formato: **.dwg* (*AutoCAD*). Encontrada no material de elaboração do Plano Diretor Municipal de São Carlos (Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano de São Carlos, 2005);

- **Base topográfica B**: seções transversais coletadas na calha do córrego do Gregório para o trabalho de Graciosa (2010), sob projeção UTM – Datum SAD69 – Fuso 23. Formato: **.dwg* (*AutoCAD*);

- Níveis de inundação: cotas de inundação para os valores de tempo de retorno (TR) de 5, 10, 20 e 50 anos, para o ponto do córrego do Gregório em frente ao Mercado Municipal de São Carlos. Formato: tabela simples com os valores de

cota para cada valor de TR. Valores encontrados na dissertação de mestrado "Modelo de seguro para riscos hidrológicos no contexto de manejo integrado de bacias hidrográficas" (Righetto, 2005);

- Mapa do traçado urbano: ruas e avenidas da bacia do córrego do Gregório, sob projeção UTM – Datum SAD69 – Fuso 23. Formato: **.dwg* (*AutoCAD*). Encontrado no material de elaboração do Plano Diretor Municipal de São Carlos (Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano de São Carlos, 2005);

- Mapa dos lotes urbanos: divisão dos lotes urbanos utilizada para cálculo do IPTU em São Carlos, sob projeção UTM – Datum SAD69 – Fuso 23. Formato: **.dwg* (*AutoCAD*). Material obtido com a Secretaria Municipal da Fazenda de São Carlos.

- Mapa com os usos urbanos dos lotes: classificação dos usos dos lotes urbanos para a bacia do córrego do Gregório, sob projeção UTM – Datum SAD69 – Fuso 23. Formato: **.dwg* (*AutoCAD*). Encontrado no material de elaboração do Plano Diretor Municipal de São Carlos (Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano de São Carlos, 2005);

- Mapa com a drenagem e divisão da bacia hidrográfica: drenagem e bacia hidrográfica do córrego do Gregório, sob projeção UTM – Datum Córrego

Alegre – Fuso 23. Formato: **.dwg* (*AutoCAD*).Encontrado no material de elaboração do Plano Diretor Municipal de São Carlos (Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano de São Carlos, 2005);

- **Imagens de satélite da região de estudo:** imagens adquiridas através do *software Google Earth* versão 5.1.3509.463 (beta).

3.1.4. Obtenção das Manchas de Inundação

O *software* utilizado foi o SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este SIG já possui uma função que delimita as regiões de inundação, seu nome é “Mancha de Inundações” e faz parte das ferramentas de manipulação de dados do tipo MNT (Modelo Numérico do Terreno). Essa função é baseada no método apresentado por Rosim (2003) para delimitação de região de inundação no SPRING. Esse método utiliza um processo simples de interpolação, por vizinho mais próximo. Em cada ponto do terreno, o método busca a cota de inundação mais próxima e compara seu valor com o valor de altimetria daquele ponto. Caso a altimetria tenha valor menor ou igual ao valor da cota, naquela posição haverá inundação (ROSIM, 2003).

Foram encontradas dificuldades para utilização dessa função no início do trabalho, a causa da dificuldade foi a necessidade da utilização de outro programa para criação dos níveis de inundação, o modelo hidrodinâmico computacional *MIKE 11* (INPE, 2006) e erros na própria função “Mancha de Inundação”.

Em seu trabalho, Moni Silva (2006) propõe uma alternativa metodológica à função “Mancha de Inundação” do SPRING. Essa alternativa baseia-se na utilização de um programa LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), que são programas internos ao SPRING, seu conteúdo consiste em uma seqüência de operações descritas por sentenças organizadas segundo regras gramaticais, envolvendo operadores, funções e dados espaciais, categorizados segundo o modelo de dados SPRING, e representados em planos de informação e mapas cadastrais de um mesmo banco de dados / projeto SPRING. (INPE, 2006)

O programa proposto utiliza dois planos de informação para sua utilização, um com uma grade representando a topografia do terreno e outra representando as cotas de inundação. Para a elaboração das regiões inundadas, é feita uma subtração simples entre esses dois planos de informação.

Em vista do insucesso em utilizar a função do SPRING “Mancha de Inundação” e da possibilidade de um meio alternativo para delimitação das regiões de inundação, apresentado por Moni Silva (2006), decidiu-se utilizar o método alternativo.

3.1.5. Sobre a região historicamente afetada na bacia urbana do córrego do Gregório, em São Carlos, SP.

A região escolhida para aplicar a metodologia apresentada foi a região da baixada do córrego do Gregório, na região central do município de São Carlos, SP. Essa região historicamente tem sofrido conseqüências de inundações e alagamentos. Os locais mais afetados possuem predominância de ocupação do tipo

comercial e de serviços. Nos eventos mais intensos, quando os imóveis são atingidos, geralmente há perdas materiais.

Esse tipo de problema ocorre desde quando a região é ocupada, demonstrando haver propensão natural para tal no local. O principais fatores que contribuem para isso são o fato de ser uma bacia pequena e de possuir grandes declividades a montante da região em questão. Além dessa disposição natural, existem fatores de origem antrópica que também afetam no equilíbrio hidrológico da bacia. O aumento da ocupação humana, causando conseqüente aumento da impermeabilização do solo e modificações na micro-drenagem e as modificações no próprio leito do córrego são fatores que influíram para a situação atual.

3.1.6. Recortes para aplicação

Foi necessário estabelecer um recorte mais restrito para o presente trabalho em decorrência da base de dados utilizada. O primeiro fator é a base topográfica, que possui dados mais precisos numa região limitada. As seções transversais coletadas no trabalho de Graciosa (2010) estão apresentados em vermelho na figura 2. Esse fator resultou num primeiro recorte. Entende-se que quanto mais distante dessa região, menos válidas serão as modelações envolvendo os dados de topografia. Esse fator possui mais influência em relação ao recorte para as manchas de inundação, já que essas sofrem influência da base topográfica.

Além disso, para caracterização do uso de solo, limitou-se a uma quadra tanto na margem direita do córrego quanto na margem esquerda. Esse procedimento foi avaliado posteriormente, com a aplicação das manchas de

inundação, sendo considerado um bom recorte, por abranger as áreas atingidas pelas manchas, levando em consideração o primeiro recorte feito. Dessa forma, o trecho selecionado é o que fica entre 5408m e 6186m a partir da nascente. O resultado está apresentado na figura 2, como uma linha tracejada preta.

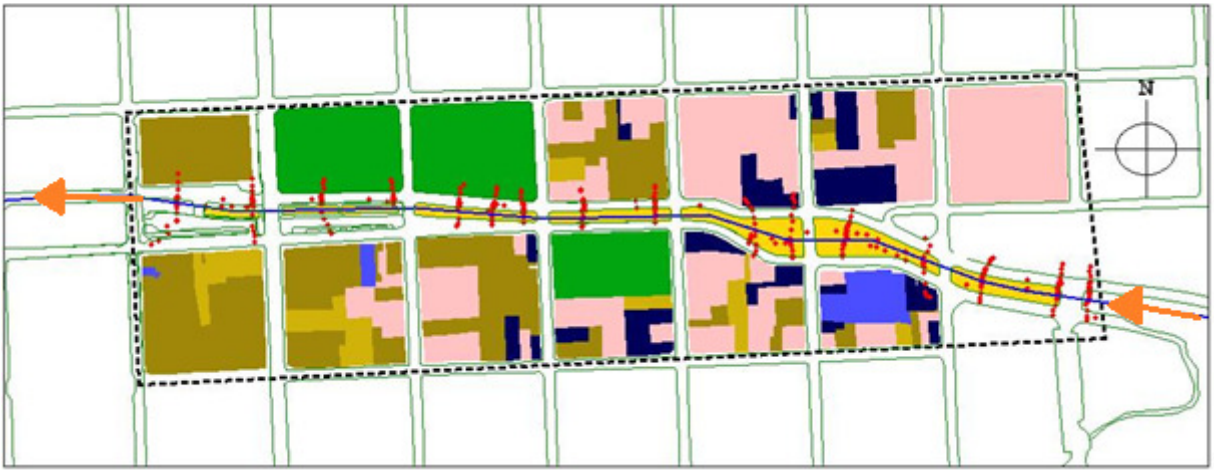


Figura 2 - Recorte aplicado neste trabalho

3.1.7. Obtenção de manchas de inundação utilizando um programa LEGAL no SPRING.

Este tópico tem o objetivo de apresentar os passos metodológicos para a obtenção de uma mancha de inundação utilizando um programa LEGAL no SPRING. Os dados básicos necessários são:

- Bases topográficas A e B;

- Níveis de inundação;

- Mapa com a drenagem e divisão da bacia hidrográfica.

3.1.7.1. Sobre os níveis de inundação

Antes da apresentação dos passos necessários para a obtenção é necessário ressaltar a utilização que foi feita dos dados de Righetto (2006) para os níveis de inundação para vários valores de tempo de retorno (TR). Os dados apresentados pelo autor referem-se a apenas um ponto determinado do córrego do Gregório.

Para o cálculo dos níveis de inundação, o autor utilizou o modelo distribuído de precipitação-vazão IPHS1 e um modelo de escoamento do tipo de armazenamento. O autor calculou a intensidade do eventos para os diversos valores de TR por meio de uma curva de intensidade-duração-frequência para o município de São Carlos. Construiu o hidrograma para cada valor de TR utilizando uma duração de chuva de 1 hora. Aplicou os hidrogramas no modelo de precipitação-vazão IPHS1, obtendo os valores de vazão no ponto no final do trecho do córrego com calha aberta, em frente ao mercado municipal de São Carlos.

Para estabelecer as alturas de inundação, o autor entendeu o sistema como sendo do tipo reservatório. Estabeleceu uma vazão máxima que a drenagem seria capaz de comportar e calculou o volume excedente para todos os valore de TR. Aplicou uma função que relaciona volume, área e altura de inundação e calculou as alturas de inundação para o ponto selecionado.

Para o método utilizado, foi necessário que esse ponto fosse extrapolado por um trecho à montante e um trecho à jusante. Isso foi feito assumindo-se que a

declividade do nível da água é igual à declividade do canal. Para a extrapolação, selecionou-se pontos sobre o canal principal, acrescendo-se a seus valores de altitude (no eixo Z) os valores apresentados pelo trabalho de Righetto (2006), para cada valor e TR. Foi necessário importar um arquivo do SPRING, do tipo “MNT”, modificá-lo manualmente e importá-lo novamente.

3.1.7.2. Sobre a base topográfica

Neste trabalho foram utilizadas duas bases distintas de topografia, uma delas refere-se a curvas de nível com espaçamento vertical de 5 metros e a outra refere-se a cortes transversais medidos por Graciosa (2010). A primeira base não é adequada para o tipo de estudo deste trabalho, sendo recomendado o valor máximo de espaçamento vertical de 1 metro. Dessa forma, utilizou-se a base de Graciosa (2010), que é mais precisa e detalhada. Como esta base está limitada a uma pequena região, foi necessário utilizar a primeira base em conjunto.

3.1.7.3. Passos metodológicos

1) As curvas de nível do mapa com a base topográfica A são importadas no SPRING como entidades do tipo “Amostras”, gerando um plano de informação (PI) do tipo “MNT”. **Observação geral**: o presente trabalho utilizou a resolução de 5m, que será discutida posteriormente (Resultados e Discussão);

2) Os pontos presentes da base topográfica B são importados no SPRING

como entidades do tipo “Amostras”, fazendo um mosaico com o PI gerado no item anterior, com a base topográfica;

3) A drenagem e a divisão da bacia são importados no SPRING como entidades do tipo “Linha com Topologia”, gerando PIs do tipo “CADASTRAL”;

4) As cotas de inundação são re-importadas (ver seção anterior) no SPRING como entidades do tipo “Amostras”, gerando um PI do tipo “MNT”;

5) A partir das curvas de nível do PI com a topografia é gerada uma Grade Triangular e posteriormente, a partir desta, uma Grade Retangular. **Observações:** o método utiliza apenas a Grade Retangular, mas através de consultas com especialistas e tentativas, notou-se que fazer a conversão com uma Grade Triangular como intermediária traz melhores resultados. O interpolador utilizado no presente trabalho foi o “Delaunay com Linha de Quebra” para a Grade Triangular, nesse caso, utilizou-se como linhas de quebra a delimitação da bacia e a drenagem. Para a Grade Retangular foi utilizado o interpolador “Quíntico com Linha de Quebra”. Em seu trabalho, Moni Silva (2006) faz uma conversão direta das amostras de curvas de nível para uma Grade Retangular e sugere a utilização do interpolador é o de Média Simples;

6) A partir dos pontos do PI com as cotas de inundação é gerada uma Grade Retangular, para cada valor de TR. **Observações:** foi utilizado o interpolador Média Ponderada, assim como sugerido no trabalho de Moni Silva (2006). A

vantagem de sua utilização que, com esse interpolador, os pontos entre os pontos iniciais tinham uma variação suave, sem saltos, além dos pontos exteriores ao canal manterem o mesmo nível no sentido perpendicular ao canal;

7) Tendo os PIs com a grade da topografia e a grade das cotas de inundação, utiliza-se o programa em LEGAL apresentado por Moni Silva (2006), para cada valor de TR. O PI resultante será uma grade com a subtração entre os valores de cota de inundação e os valores de cota do terreno e será chamado de "Diferença de Cotas" . **Observação:** o código fonte do programa está apresentado nos anexos deste trabalho;

8) A partir do PI "Diferença de Cotas", podem ser geradas as manchas em modo gráfico, fazendo o seu fatiamento e classificação para cada valor de TR. Os resultados são PIs do tipo "TEMÁTICO" com as manchas de inundação encontradas.

3.1.8. Identificação dos usos urbanos dos lotes

Um elemento fundamental para a aplicação da metodologia de análise de risco proposta nesse trabalho é identificação dos usos dos lotes na região de estudo.

Os dados básicos necessários são:

- Mapa do traçado urbano;

- Mapa dos lotes urbanos;

- Mapa com os usos dos lotes urbanos.

3.1.8.1. Sobre o mapa de usos dos lotes urbanos

O mapa (Figura 3) presente no material utilizado na elaboração do Plano Diretor do município de São Carlos traz a informação por meio de pontos. A interpretação que se teve é que o mapa mostra, através da densidade dos pontos, a distribuição dos vários tipos de usos dos lotes dentro da bacia do córrego do Gregório. Fazendo uma aproximação do arquivo no *AutoCAD*, foi percebido que os pontos foram classificados em cada lote, apesar destes não estarem presentes no arquivo. Com uma sobreposição entre os pontos que classificam os usos e os lotes, foi possível fazer a classificação por lote dos usos.

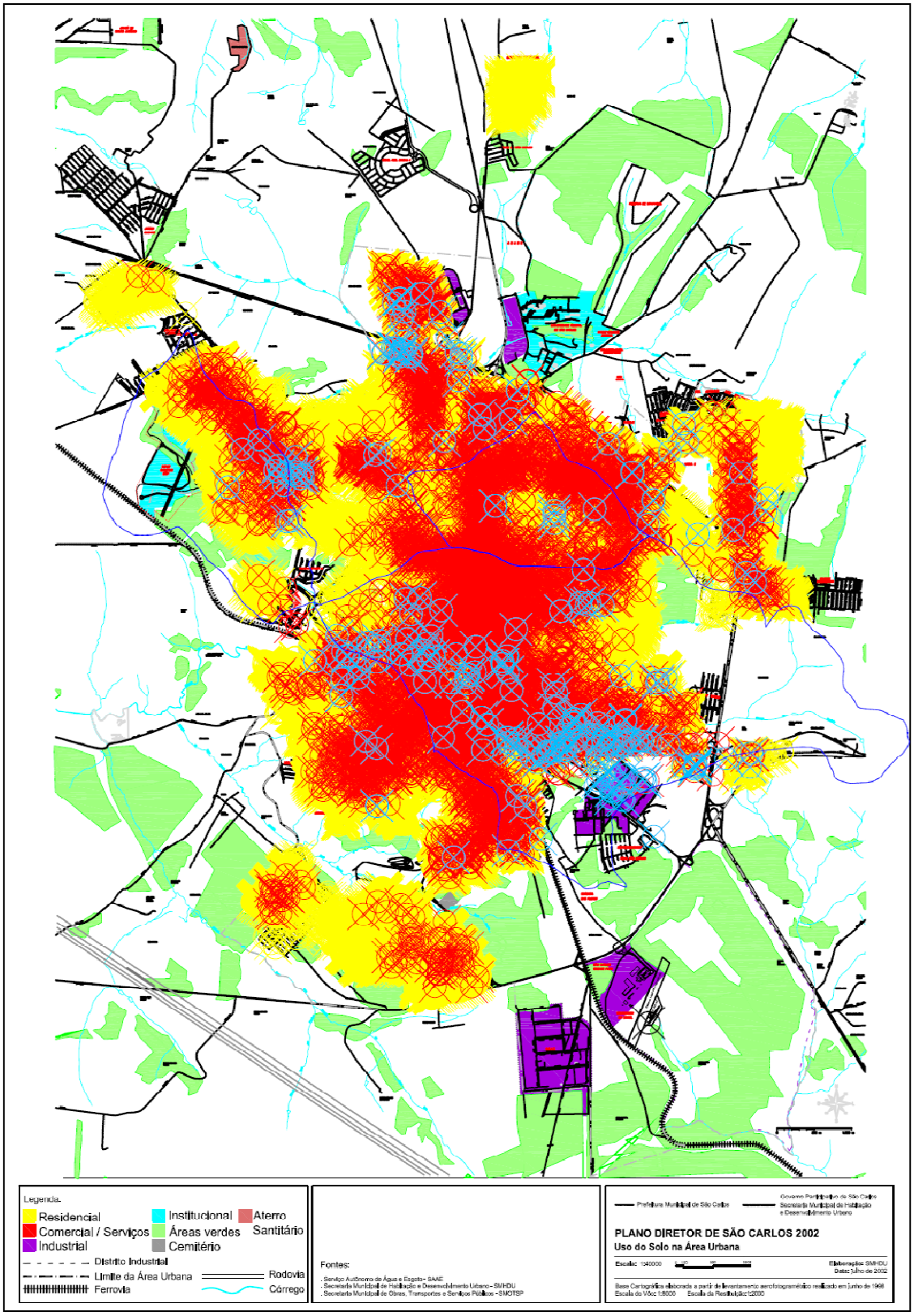


Figura 3 - Mapa de Uso de Solo na Área Urbana - Plano Diretor de São Carlos

O mapa utilizado faz a classificação utilizando a seguinte tipologia:

- Residencial;

- Comercial/Serviços;

- Industrial;

- Institucional;

- Áreas Verdes;

- Cemitério;

- Aterro Sanitário.

Para o presente trabalho, foi utilizados os três primeiros tipo: “Residencial”, “Comercial/Serviços” e “Industrial”. Acrescentou-se o tipo “Praças e Locais Abertos”, que engloba as áreas verdes da região os locais reconhecidos como sendo áreas construídas, públicas e de livre circulação e o tipo “Calha do Córrego”, que representa a região do mapa onde o escoamento do córrego é livre e não há construções. Nos casos em que havia mais de um tipo de uso no mesmo lote, aplicou-se o rótulo de “Uso Misto”. Os tipos “Institucional”, “Cemitério” e “Aterro Sanitário” não foram encontrados dentro da região estudada.

3.1.8.2. Passos metodológicos

1) O mapa do traçado urbano é importado no SPRING como entidade do

tipo “Linhas com Topologia”, gerando um PI do tipo “CADASTRAL”;

2) O mapa dos lotes urbanos é importado no SPRING como entidades do tipo “Linhas com Topologia”, gerando um PI do tipo “TEMÁTICO”;

3) O mapa com os usos dos lotes urbanos é importado como entidades do tipo “Pontos 2D”, para cada tipo de uso, gerando PIs do tipo “CADASTRAL”;

4) Acionando-se os PI com os lotes e os usos comerciais, são classificados os lotes baseando-se na informação dos pontos do PI de usos comercias. **Observações:** nos casos em que mais de um ponto estava sobre um mesmo lote, este foi identificado como sendo de uso “Misto” e nos casos em que o lote não possuía nenhum ponto sobre si, esse foi classificado como “Não-identificado”;

5) Com a classificação, o resultado é um PI do tipo “TEMÁTICO” com os usos comerciais dos lotes urbanos na região desejada.

3.1.9. Cálculo das áreas inundadas

Para efetuar a análise do risco de inundações urbanas para a região, segundo a metodologia de Gwilliam et al. (2006), e também as análises complementares propostas por este trabalho, foi necessário o cálculo das áreas

inundadas para cada tipo de uso dos lotes. Esses cálculos foram feito a partir de dados disponibilizados pelo SPRING, que posteriormente foram analisados e sistematizados num *software* de planilha eletrônica. No presente trabalho foi utilizado o *software Microsoft Excel®*, versão 2007, para o trabalho com planilhas.

Os dados básicos necessários, dentro do SPRING:

- Plano de informação contendo a mancha de inundação, para cada valor de TR, já classificada e em formato "TEMÁTICO";

- Plano de informação contendo a classificação dos usos dos lotes urbanos, em formato "TEMÁTICO".

3.1.9.1. Passos metodológicos

1) Utiliza-se a função "Tabulação Cruzada" entre os dois PIs temáticos, exportando seus resultados;

2) Os resultados são salvos como uma tabela no formato texto (**.txt*), que devem ser copiados na planilha eletrônica;

3) Com os dados na planilha eletrônica, pode-se fazer sua análise e sistematização, criando-se tabelas e gráficos.

3.1.10. Cálculo das áreas inundadas ao longo do córrego do Gregório

Para serem feitas algumas das análises de risco propostas por este trabalho, foi necessário buscar um meio para se entender a variação das áreas inundadas no decorrer do córrego do Gregório. Para tal, foi feita a subdivisão da bacia do córrego a partir de trechos do canal principal. As diretrizes para essa subdivisão foram:

1- Início e fim das subdivisões próximos ao centro comercial de São Carlos, por ser a região de interesse do estudo, ou seja, com na altura da rua Campos Salles e fim na rua Delfino M. C. Penteado;

2- O início de cada sub-bacia deve corresponder ao cruzamento do canal principal do córrego com as ruas perpendiculares.

A divisão em sub-bacias foi feita de modo manual, seguindo-se as curvas de nível, utilizando-se o *software AutoCAD®.*

O resto do procedimento para o cálculo das áreas foi feito no SPRING. Os dados básicos necessários foram:

- Plano de informação contendo a mancha de inundação, para cada valor de TR, já classificada e em formato "TEMÁTICO";

- Plano de informação contendo a classificação dos usos dos lotes

urbanos, em formato "TEMÁTICO;

- Mapa com as sub-bacias feito em AutoCAD®.

3.1.10.1. Sub-bacias utilizadas no trabalho

Para respeitar os limites do recorte feito neste trabalho, considerou-se o cálculo das áreas apenas para as sub-bacias que tivessem áreas dos lotes classificados dentro de seus limites. Dessa forma, as sub-bacias utilizadas para cálculo das áreas foram de 2 a 8, estas inclusas. Lembrando que estas correspondem ao trecho entre 5408m e 6186m a partir da nascente.

3.1.10.2. Passos metodológicos

1) O mapa com as sub-bacias é importado no SPRING como entidades do tipo "Linhas com Topologia", gerando um PI do tipo "TEMÁTICO";

2) Utiliza-se a função "Recortar Plano de Informação". O PI a ser recortado é mapa de sub-bacias e a máscara é o PI com a mancha de inundação para um determinado valor de TR. Isso é feito para todos os valores de TR. O resultado são PIs com as machas de inundação divididas por sub-bacia. **Observação:** recomenda-se que sejam feitas cópias do PI de sub-bacias antes de recortá-lo, pois o recorte gera perda de informação no PI;

3) Utiliza-se a função “Tabulação Cruzada” entre o PI contendo a mancha dividida e o PI contendo a classificação dos usos dos lotes urbanos, exportando seus resultados. Isso é feito para todos os valores de TR.;

4) Com os dados na planilha eletrônica, pode-se fazer sua análise e sistematização, criando-se tabelas e gráficos.

3.1.11. Sobreposição dos PIs resultantes com as imagens de satélite

A sobreposição das informações geradas nesse trabalho com as imagens de satélite são bastante interessantes para apresentação dos resultados. Ela traz uma proximidade maior com o entendimento comum do lugar, principalmente para a população em geral, que conhece o local apenas por sua utilização prática. Também pode ajudar a identificar elementos até então não percebidos no trabalho.

Essa etapa é de certo modo um pouco mais complexa, uma vez que envolve, além do SPRING, mais três programas computacionais, o *Google Earth®,* um *software* de edição de imagens e o IMPIMA, que é um dos módulos do pacote de programas do SPRING.

3.1.11.1. Passos metodológicos

- As imagens que deverão ser utilizadas são salvas no *Google Earth®* e

juntadas num *software* de edição de imagens, de forma que formem uma imagem única, são salvas no formato de imagem **.tif*;

– Essa imagem é aberta no IMPIMA, onde é necessário informar sua resolução e a imagem é dividida em três bandas (RGB). Suas três bandas são salvas no formato do programa, **.spg*;

– No SPRING utiliza-se a função "Registro" para registrar a imagem. **Observações:** para o presente trabalho, utilizou-se o modo registro "Visual", que faz a ligação de pontos na imagem e pontos já referenciados dos PIs de seu projeto;

– A imagem já referenciada é importada como "Imagem Registrada". Isso é feito para cada uma de suas três bandas. **Observações:** o SPRING importa necessariamente uma banda de cada vez, portanto, para gerar a imagem colorida, é necessário habilitar uma das cores do sistema RGB para cada banda. Normalmente, para a coloração comum, a banda 1 corresponde ao vermelho (**R**ed), a banda 2 corresponde ao verde (**G**reen) e a banda 3 corresponde ao azul (**B**lue).

3.2. Web mapping (*on-line*)

3.2.1. Utilização de web mapping na gestão de risco de inundações urbanas

Foram avaliadas algumas possibilidades para utilização de mapas *on-line* para gestão de risco de inundações, dentro da vertente que utiliza dados geográficos, modelos hidrológicos e hidráulicos para geração de manchas de inundação, a figura 4 contempla essas possibilidades.

Figura 4 - Utilização de web mapping na gestão de risco de inundações urbanas.

Dentro dessas possibilidades, existem dois grupos com aplicações distintas na gestão de risco. Um deles tem caráter informativo, ou seja, através da divulgação de **informações** relacionadas às áreas de risco, busca-se uma melhora no fator de vulnerabilidade de uma população. As informações podem provir de dados estatísticos da bacia, baseado em uma **série histórica**, combinados a modelos hidrológicos e hidráulicos, também podendo provir de dados referentes a eventos observados. Para eventos hidrológicos, a probabilidade de ocorrência pode ser representada em termos de “Tempo de Retorno” **(TR)**. A aplicação desse grupo pode se dar nas três fases relacionadas ao evento hidrológico gerador do risco: antes, durante e depois.

O segundo grupo possui caráter de **alerta**, podendo ser **em tempo atual** ou antecipado, que atuam, respectivamente, na fase durante e na fase depois do evento gerador de perigo. Em ambos os casos, o sistema de *web mapping* precisa estar ligado a um sistema que gere os dados a serem apresentados nos mapas.

O sistema complementar do alerta em tempo atual deve receber **dados hidrometeorológicos**, através de modelos, gerar os níveis de inundação e, conseqüentemente, as áreas de risco. Esse sistema possibilita o alerta em tempo atual, influindo diretamente no fator vulnerabilidade da população: a população, sabendo das áreas de risco, tem como evitá-las.

Além do alerta em tempo atual, é possível que haja o **alerta antecipado**. Esse tipo de ferramenta para gestão de risco depende de um sistema auxiliar de **previsão hidrometeorológica** que, a partir de dados atuais, é capaz de estimar variáveis de um evento futuro. Essa ferramenta é ainda mais importante para a diminuição da vulnerabilidade da população: esta, sabendo da possibilidade futura de risco, tem como se preparar para o evento que oferece perigo. Ambos os sistemas de alerta podem ser auxiliados por dados estatísticos em seus modelos.

3.2.2. Programas e sistemas utilizados:

- API do *Google Maps*

Foi escolhida como base de dados a API (Interface de Programação de Aplicações, em inglês) do serviço de mapas *on-line Google Maps*. Uma API pode ser considerado como sendo um conjunto de rotinas e padrões estabelecidos por um software para a utilização das suas funcionalidades por programas aplicativos sem a

necessidade de se envolver em detalhes da implementação do software, mas apenas usar seus serviços (FOLDOC, 2010). Este API fornece vários utilitários para manipulação de mapas e adição de conteúdo ao mapa por meio de diversos serviços, permitindo criar aplicativos de mapas ricos em detalhes e informações num sítio da *Web* (GOOGLE, 2010).

A escolha foi feita pela facilidade relativa que esse sistema apresenta em relação às outras opções. A API do *Google Maps* também apresenta o requisito básico para este projeto, a possibilidade de importação de dados de uma base SIG *off-line*. Outro fator que contribuiu para a escolha foi o fato desse sistema já ter sido utilizado em um projeto anterior do grupo de pesquisa, que pode ser visto em Giuntolli, (2008).

- *AutoCAD ®* e *ExpGE*

Inicialmente, esperava-se utilizar a função de exportação de dados do SPRING em formato **.kml*. Esta não obteve resultados satisfatórios, uma vez que o processo resultou em arquivos contendo linhas e não polígonos, que são necessários para o presente trabalho.

A solução encontrada foi exportar os planos de informação para um sistema de apoio e, a partir deste, fazer a exportação definitiva em formato *.kml. O sistema de apoio utilizado foi o programa *AutoCAD®*, versão 2006, em conjunto com o aplicativo *ExpGE*, versão 1.40.

3.2.3. Criação do w*eb mapping*

O tipo de sistema *web mapping* escolhido foi o mapa informativo das

áreas de risco de inundações na região estudada. A escolha se deu pela falta de sistemas auxiliares tanto de dados em tempo atual quanto de previsão com possibilidade de uso integrado a este sistema. Dessa forma, essa etapa constitui-se em transportar os planos de informação obtidos pelo SPRING para uma base de dados on-line e criar uma interface para o usuário.

Adotaram-se as áreas de risco como sendo as regiões inundadas para os diferentes valores de TR. Considerou-se que, como o público que utilizará a ferramenta é bem amplo, caracteriza-se uma grande variedade de níveis de vulnerabilidade. Portanto, existindo uma faixa tão ampla de vulnerabilidade, qualquer nível de inundação pode ser considerado nível de perigo suficiente para oferecer risco para as pessoas. Para a interface com o usuário, buscou-se fazer algo simples, de fácil utilização e com foco na informação.

Os planos de informação utilizados foram aqueles que representam as manchas de inundação para os tempos de retorno de 5, 10, 20 e 50 anos. Exportou-se os planos de informação desejados do SPRING para arquivos de tipo suportado pelo *AutoCAD®* e, a partir do aplicativo auxiliar *ExpGE,* criou-se os arquivos do tipo **.kml*.

Todos os dados foram adicionados ao sítio resultante do trabalho de Giuntoli (2008). Os procedimentos de criação da página da *Web*, com a programação em HTML, PHP e *JavaScript* fogem do escopo deste trabalho, sendo apenas apresentados os resultados finais.

4. Resultados e Discussão

Neste capítulo estão apresentados os resultados dos procedimentos efetuados neste trabalho. Os anexos se encontram no final da monografia, e estão divididos da seguinte forma:

ANEXO 1 – Mapa com as manchas de inundação.

ANEXO 2 – Mapa com as manchas de inundação e os lotes classificados.

ANEXO 3 – Tabelas com os valores das áreas inundadas ao longo do córrego do Gregório para os diversos valores de tempo de retorno e para os diferentes tipos de uso dos lotes urbanos.

4.1. Áreas ocupadas pelos lotes dos diferentes usos

Tabela 3 - Área total ocupada pelos diferentes usos dos lotes.

Tipo de Uso	Área Total [m^2]
Residencial	32275
Comercial/Serviços	22825
Industrial	2725
Misto	4725
Calha do Córrego	7225
Praças e Locais Abertos	16950
Não Identificado	7250

4.2. Áreas inundadas ao longo do córrego do Gregório para os diversos valores de tempo de retorno.

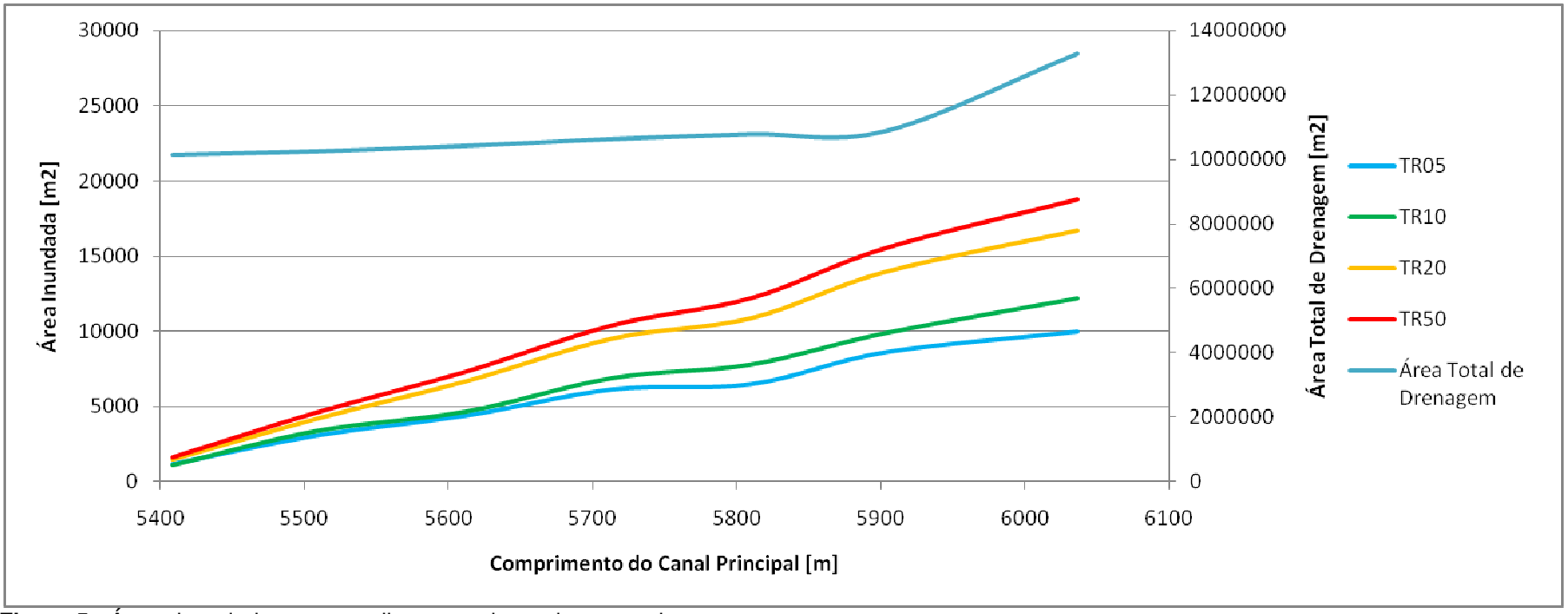


Figura 5 - Áreas inundadas para os diversos valores de tempo de retorno.

4.3. Áreas inundadas ao longo do córrego do Gregório para os diversos valores de tempo de retorno e para os diferentes tipos de uso dos lotes urbanos.

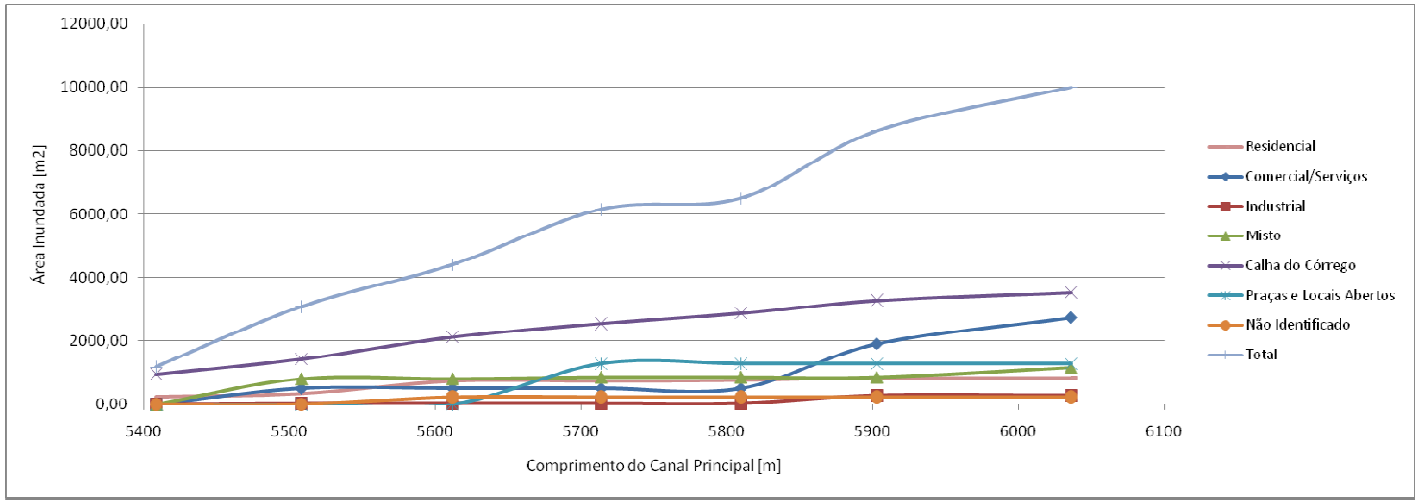


Figura 6 - Gráfico com as áreas inundadas acumuladas para o TR de 5 anos.

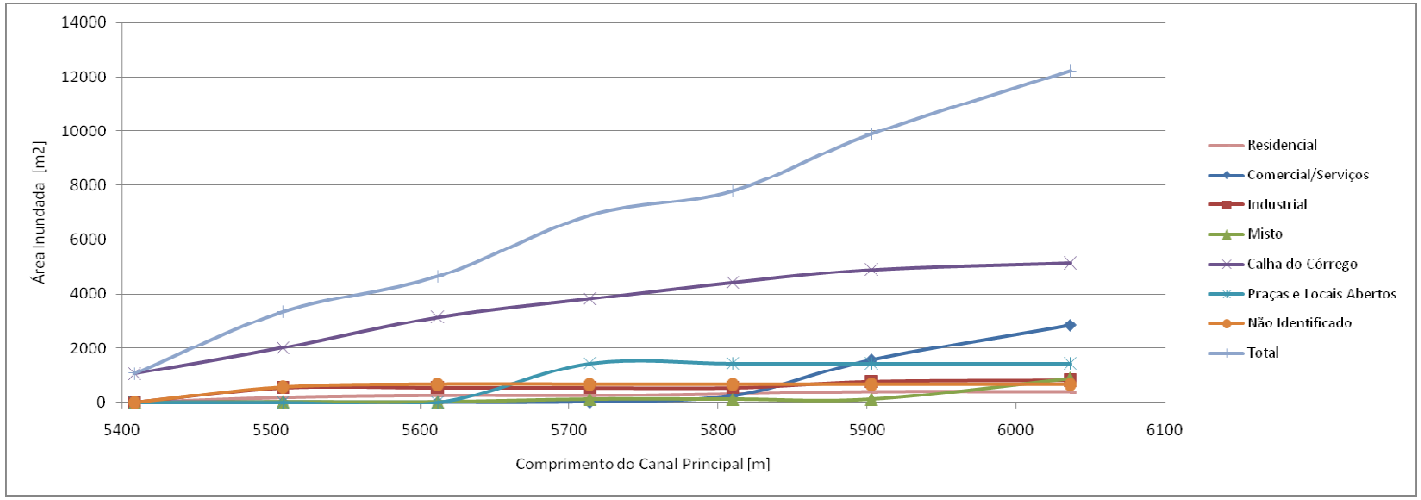


Figura 7 - Gráfico com as áreas inundadas acumuladas para o TR de 10 anos.

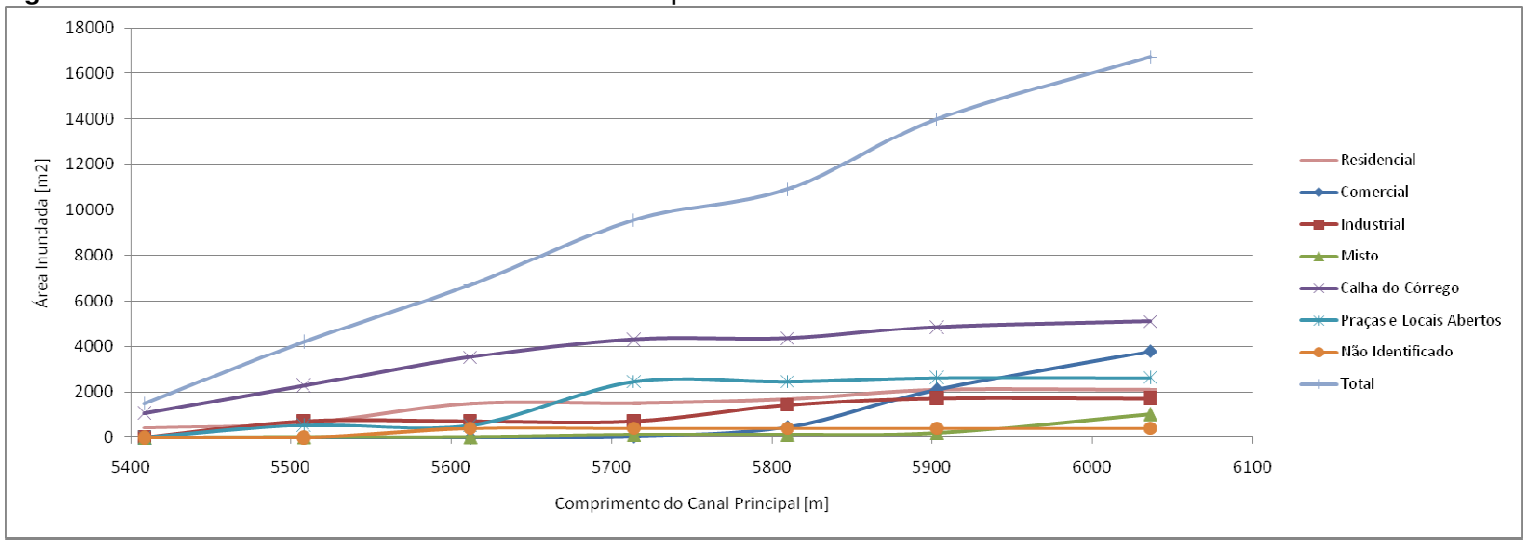


Figura 8 - Gráfico com as áreas inundadas acumuladas para o TR de 20 anos.

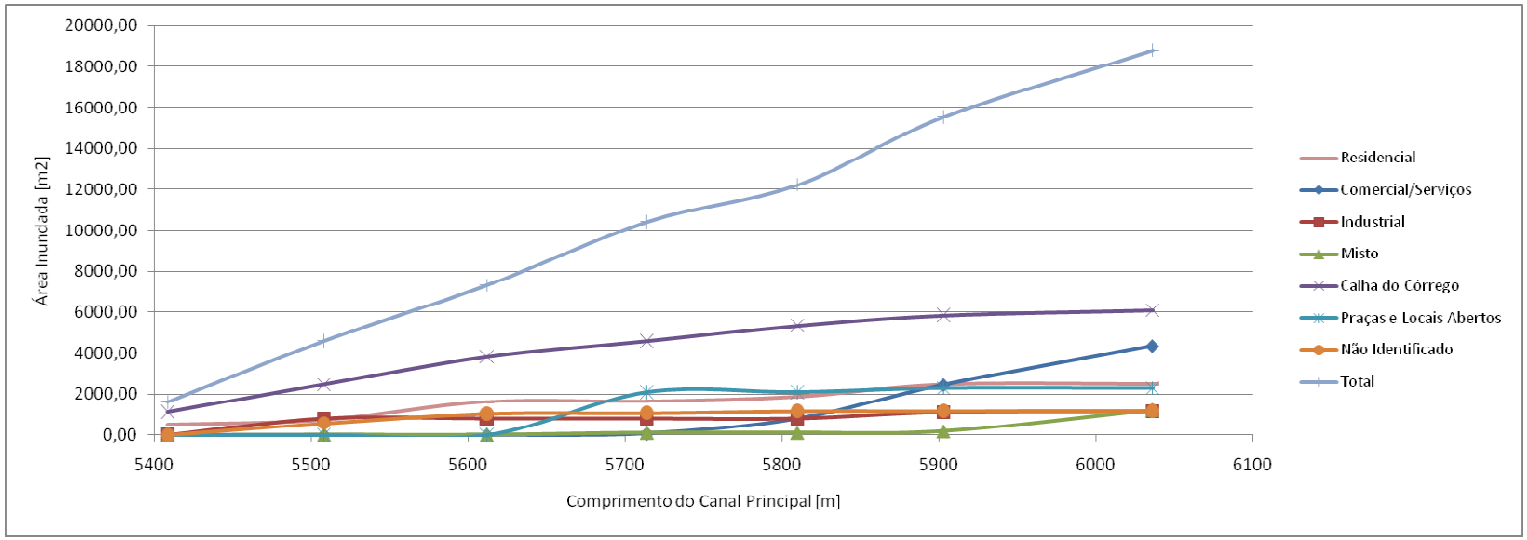


Figura 9 - Gráfico com as áreas inundadas acumuladas para o TR de 50 anos.

4.4. Sistema on-line

Figura 10 - Sítio apresentando a mancha de inundação para TR de 5 anos.

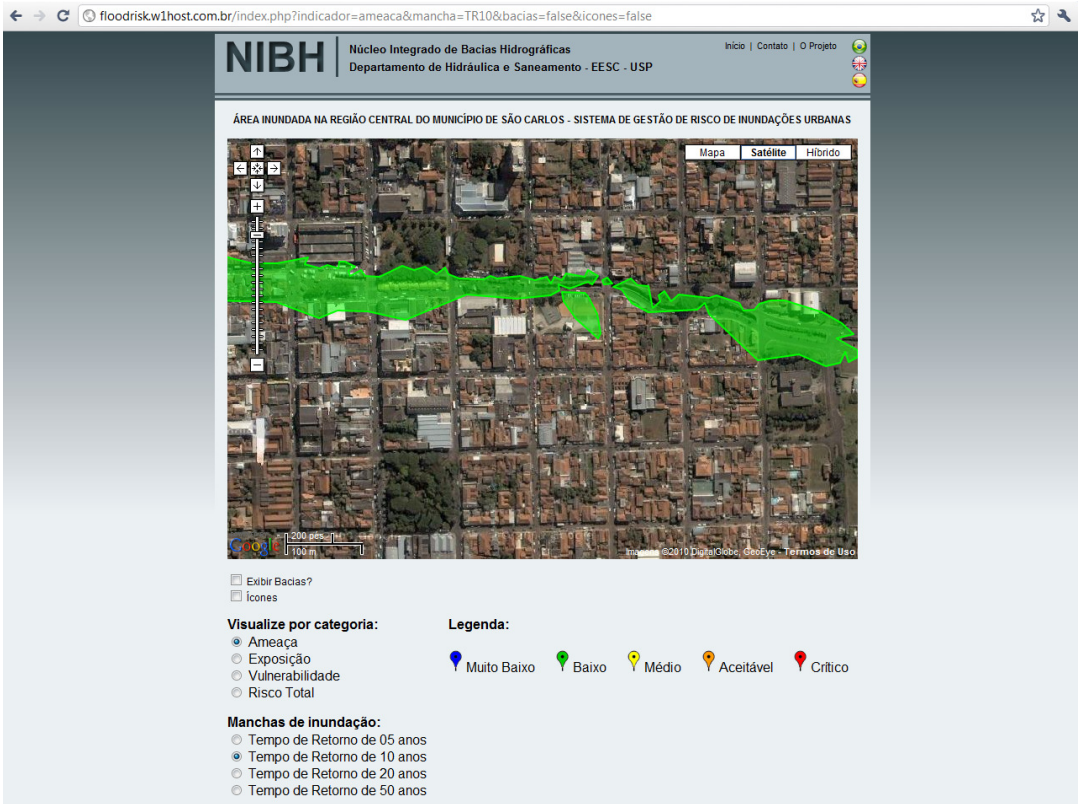


Figura 11 - Sítio apresentando a mancha de inundação para TR de 10 anos.

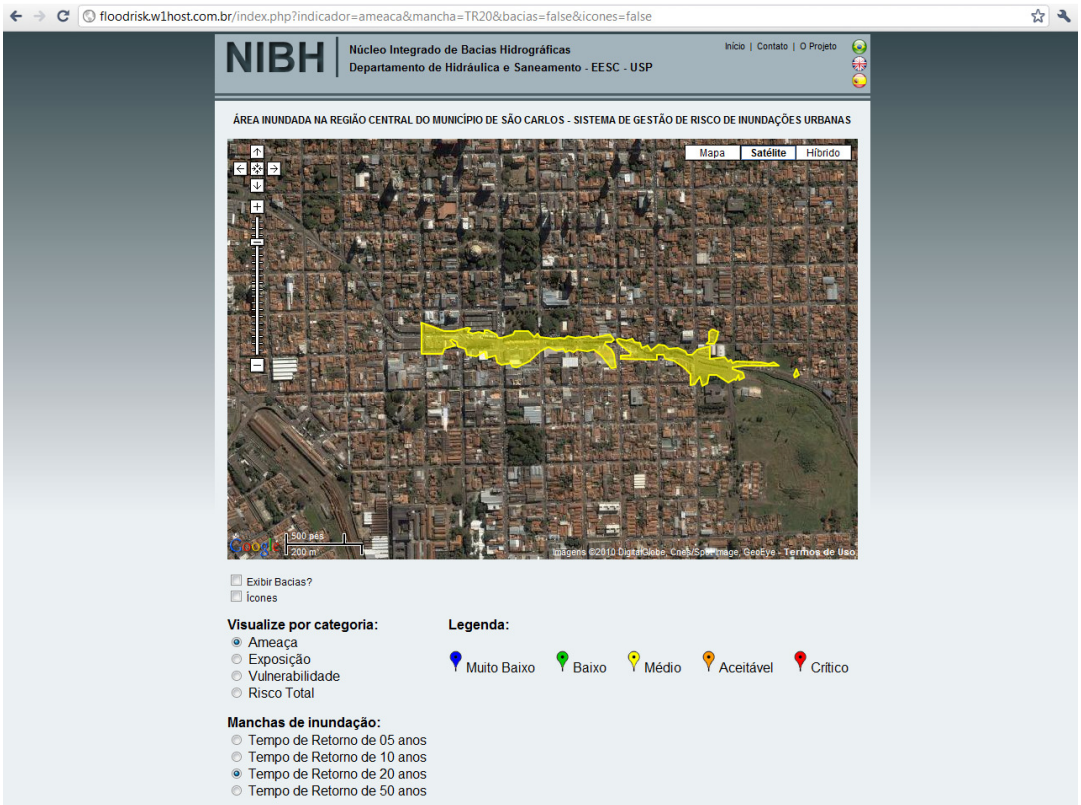


Figura 12 - Sítio apresentando a mancha de inundação para TR de 20 anos.

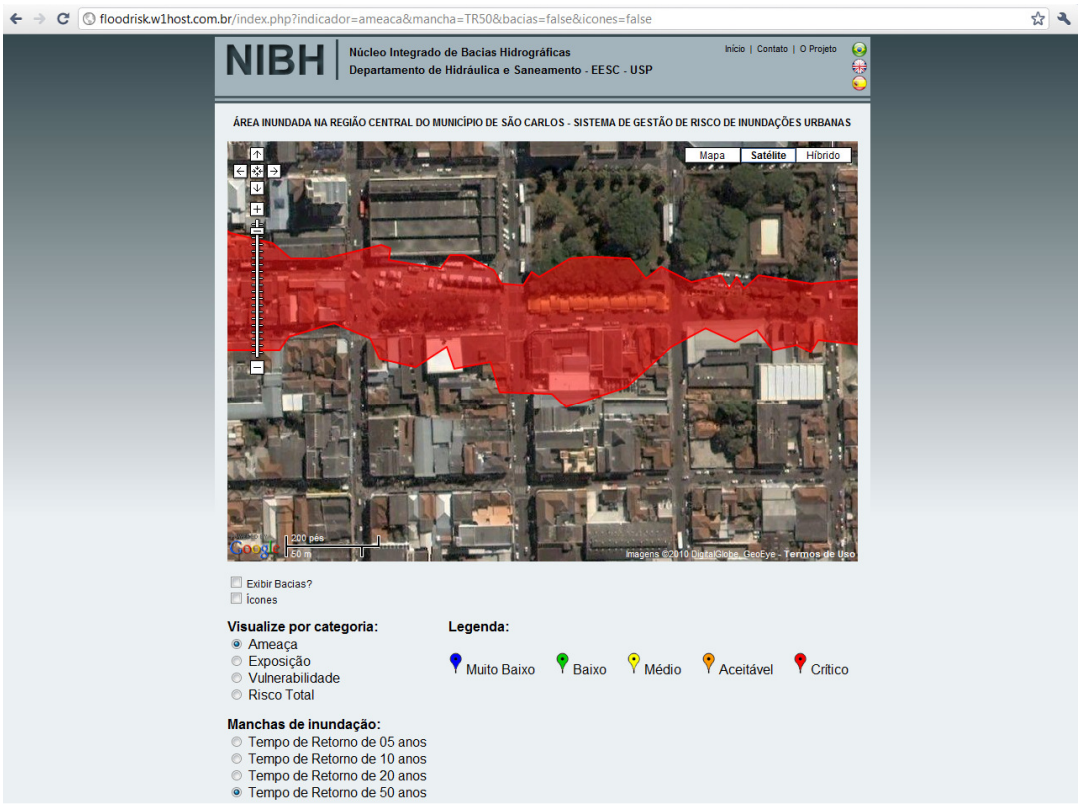


Figura 13 - Sítio apresentando a mancha de inundação para TR de 50 anos (em detalhe).

O sítio está hospedado no endereço:

- http://floodrisk.w1host.com.br (acesso em 29 nov. 2010)

4.5. Discussão

4.5.1. Em relação às áreas totais inundadas

A figura 5 apresenta os totais inundados ao longo do córrego para vários valores de tempo de retorno. O gráfico demonstra que existe um salto mais acentuado entre o valor de áreas afetadas pela mancha para TR de 10 anos e a mancha para TR de 20 anos.

4.5.2. Em relação aos tipos de lotes inundados

Deve-se considerar que a calha do córrego está sempre inundada e não possui presença humana, portanto não é fonte de perigo. Dessa forma, observando os gráficos em conjunto, percebe-se que os lotes mais atingidos, em área, foram aqueles que são utilizados para comércio e serviços. Nota-se que o aumento de áreas alagadas para lotes desse tipo se deu na região mais à jusante do recorte. Isso é explicado por haver uma concentração maior desse tipo de lote nessa região.

Os lotes de praças e outros locais abertos também possuem uma área considerável atingida pelas manchas de inundação. Percebe-se que isso ocorre na região média do recorte utilizado, mantendo-se constante no sentido à jusante. Isso se dá pela presença pontual de lotes desse tipo nessa região.

Apesar de o recorte estabelecido apresentar muitos lotes residenciais, estes foram menos afetados pelas manchas de inundação que os lotes comerciais.

Um fator que contribuiu a isto é o fato dos lotes residenciais estarem mais distantes do córrego em relação aos tipos mais afetados. Também pode ser citado o fato dos lotes residenciais estarem concentrados na região mais à montante dentro do recorte, região esta, menos afetada pela mancha de inundação. Mesmo assim, nota-se que, para as manchas de inundação para TR de 20 e 50 anos, há um aumento de áreas residenciais atingidas em relação aos outros tipos de lote.

5. Conclusão

5.1. Análise de Risco de Inundações na Região Central do Município de São Carlos, na Bacia Hidrográfica do Córrego do Gregório.

A metodologia aplicada proporcionou uma análise preliminar da situação da região estudada em relação a risco de inundações. A partir dos dados gerados, foi possível fazer avaliação em relação aos seguintes aspectos:

- Distribuição espacial das regiões atingidas;
- Tipos de usos dos lotes mais atingidos.

Esses fatores têm bastante importância para a região estudada, uma vez que as situações de risco estão historicamente ligadas a alguns pontos específicos da bacia, atingindo principalmente a região predominantemente comercial.

Apesar desse aparente sucesso, é importante salientar dois grandes problemas na aplicação feita: a confiabilidade nos dados de entrada e a validação dos dados. A confiabilidade dos dados de entrada ficou comprometida tanto em relação aos dados topográficos quanto os dados de níveis de inundação. Os primeiros possuem deficiência em relação à precisão e escala e os segundos possuem deficiência em relação ao modelo utilizado para gerá-los. Já em validar os dados obtidos, a inexistência de dados consistentes de níveis de inundação observados impede que seja feita essa validação.

5.2. SIGs e Análise de Risco

As ferramentas de análise de dados geográficos, os SIGs em especial, demonstraram ser muito eficientes em fornecer informação acerca do risco de inundações de uma determinada região. Apesar desta grande aplicabilidade, seus resultados dependem fortemente da base de dados por trás do mapa. Os dados originais utilizados para a criação do mapa é um dos fatores mais importantes em relação aos resultados. É importante que os dados estejam atualizados, que sejam precisos, que tenham uma resolução compatível com o tipo de análise a ser feita e que estejam referenciados sobre uma mesma base. Além disso, os modelos utilizados devem ser os mais completos possíveis, incluindo em sua modelagem os principais fatores que influenciam no processo estudado.

5.3. Nível de Perigo e Tempo de Retorno

As inundações em pequenas bacias demonstraram possuir uma peculiaridade interessante em comparação a outros tipos de desastres, o nível de perigo pode ser diretamente relacionado ao tempo de retorno de um determinado evento. Os fatores relacionados ao nível de perigo que um evento oferece podem ser modelados. A intensidade e duração das chuvas para uma determinada região podem ser determinadas em freqüência de ocorrência, na existência de uma série histórica suficiente. Tem-se como premissa teórica que os aspectos físicos da região não se modificam em períodos curtos de tempo. Dessa forma, pode-se estabelecer uma relação direta entre a freqüência de ocorrência e a intensidade e extensão da inundação.

5.4. *Web mapping* e Gestão de Risco

Através do presente trabalho, ficou demonstrado que o mapeamento *on-line* possui boa aplicabilidade quando se trata de apresentação de dados geográficos via *Internet.* Um sistema relativamente simples, com utilização bastante difundida, que é o *Google Maps* proporcionou uma base sólida e rica para o sistema de gestão de risco de inundações.

A possibilidade de fazer a exportação de dados geográficos, na forma de pontos, linhas e polígonos, do sistema SIG *off-line* para o sistema *on-line* de *web mapping* foram os principais fatores que possibilitaram a adoção dessa tecnologia para este trabalho. A metodologia de análise de risco apresentada teve como base as manchas de inundação para vários valores de tempo de retorno. Essas manchas puderam ser convertidas em polígonos e adicionadas ao sistema de mapas *on-line*.

Dentro desse contexto, pode-se afirmar, portanto, que a utilização de ferramenta do tipo *web mapping* utilizando esse tipo de análise de risco possibilita os seguintes usos, dentro das etapas do processo de gestão de risco de inundações:

- Difusão de Informação (“antes do evento”): a utilidade de mapas *on-line* para esta etapa está em utilizá-los para demonstrar as regiões de uma determinada área que oferecem mais ou menos risco diante de certo evento de chuva;
- Alerta (“durante o evento”): num sistema ligado a uma base de dados de chuva em tempo atual, é possível que o mapa ilustre as regiões em risco de uma determinada área, para que esta seja evitada pela população;
- Alerta Antecipado (“antes do evento”): para esta etapa, o *web mapping* demonstra grande aplicabilidade. É possível que seja utilizado dentro de um sistema

de alerta seja antecipado, quando o sistema está ligado a outro, que, a partir de dados em tempo atual, consegue fazer uma previsão de uma situação futura. Andrade (2006) propõe um sistema desse tipo em seu trabalho.

Em todos os casos, uma característica importante das ferramentas da *Internet* fica evidenciada, o grande potencial de difusão de informações. A difusão de informação se mostra especialmente importante quando lidamos com sistemas de alerta. Estando a informação do nível de risco atual ou futuro disponível na *Internet*, esta pode ser divulgada e re-transferida de forma rápida e abrangente.

Uma das grandes evoluções nos últimos tempos em relação à divulgação de informação tem sido a facilidade de difundi-las e retransmiti-las de forma multiplataforma, ou seja, por diferentes meios concomitantemente. Dentro desse contexto, uma ferramenta de gestão de risco baseada em informação sobre o risco possui um campo vasto de aplicação e uma grande capacidade de inserção, atingindo muitas pessoas diferentes ao mesmo tempo.

Alguns exemplos de meios que podem ser utilizados nessa rede de informação são *E-mail, blog, microblog, webfeeding,* comunicador instantâneo, rede social e mensagem de texto para celular. Dentro dessa “malha”, a transmissão de informações é muito rápida, com um grande alcance. Existindo uma base sólida de dados acerca do risco, a informação gerada pode atingir uma grande parcela da população vulnerável, influindo drasticamente no nível de vulnerabilidade desta.

Para o caso da bacia urbana do córrego do Gregório, essa parece ser uma linha eficiente a ser adotada, uma vez que a região afetada (zona de comércio) possui uma grande população rotativa, ou seja, que muda muito ao longo do tempo. A informação, sendo veiculada por diversos meios, e estando disponível na *Internet*,

pode atingir mais facilmente as pessoas que freqüentam essa região. Além dos meios diretamente relacionados à *Internet*, também pode ser utilizada a rede de telefonia móvel e até uma sinalização pública que utilize esses dados. Além destas, também atingiriam as pessoas que trabalham no local. Para as primeiras, a informação seria importante para evitar o local, tanto numa situação de risco atual quanto de risco futuro. Para as segundas, o alerta antecipado seria mais importante, para que haja maior tempo de preparo, para medidas de diminuição de impactos e perdas e para evacuação destas e dos clientes.

Dessa forma, esse sistema pode estar inserido dentro de um sistema de apoio a segurança no transito veicular e de pedestres em áreas urbanas e peri-urbanas, que pode ser acessado massivamente via internet, celular, ou até sinalização pública.

5.5. Recomendações

Este tópico busca trazer propostas para trabalhos futuros sobre o tema abordado neste. Essas propostas vêm no sentido tanto de sanar alguns problemas encontrados neste trabalho, quanto de trazer novos elementos para os estudos envolvendo sistemas on-line de gestão de risco de inundações.

Em relação às manchas de inundação para os diversos valores de tempo de retorno, seus resultados podem ser mais precisos e representar melhor a realidade se alguns aspectos forem considerados e/ou modificados:

- base topográfica mais precisa, recomendando-se que sejam utilizadas curvas de nível com diferença vertical de no máximo 1 metro, baseadas em

levantamentos mais recentes;

- utilização de modelo de escoamento mais completo, recomendando-se a utilização de modelo do tipo hidrodinâmico, para geração dos níveis de inundação;
- consideração da microdrenagem e traçado urbano, recomendando-se a inclusão de equipamentos de drenagem urbana como sarjetas e bocas-de-lobo, fazendo simulações para casos de capacidade reduzida da microdrenagem;
- consideração do tipo de uso do solo, recomendando-se a inclusão de dados tanto de capacidade de infiltração e escoamento quanto à presença de obstáculos para o escoamento;
- simulação para mais valores de tempo de retorno;
- utilização de eventos reais para simulações de inundações;
- comparação dos resultados com dados observados para calibração e validação do modelo.

Em relação ao sistema de gestão de risco baseado em *web mapping*, podem-se estabelecer como novas metas, para melhora do sistema:

- ligação a um sistema de coleta de dados hidrometeorológicos em tempo atual, para criação de um sistema de alerta real;
- ligação a um sistema de previsão de chuva, para criação de um sistema de alerta antecipado;
- facilitação da divulgação da informação gerada por outros meios, como *E-mail, blog, microblog, webfeeding,* rede social e mensagem de texto para celular.

6. Bibliografia

ANDRADE, J.P.M. (2006) **Previsão hidrometeorológica visando sistema de alerta antecipado de cheias em bacias urbanas.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

CAMARA, G.; SOUZA R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO J. **SPRING: Integrating remote sensingand GIS by object-oriented data modelling.** Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun, 1996.

CASTRO, A. L. C. **Manual de Desastres: desastres naturais.** Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003.

CASTRO, A.L.C. **Política Nacional de Defesa Civil.** Brasília, DF: Imprensa Nacional, 2007.

CASTRO, M. C.; PEIXOTO, M. N. O.; RIO, G. A. P. **Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas.** Anuário do Instituto de Geociências , UFRJ, 28, 2005.

CUTTER, S. L.; BORUFF, B. J.; SHIRLEY, W. L. **Social Vulnerability to Environmental Hazards.** Social Science Quarterly, v. 84, n. 2, Southwestern Social Science Association, 2003.

DWYER, A., ZOPPOU, C., NIELSEN, O., DAY, S., ROBERT, S. **Quantifying Social Vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards.** Geoscience Australia Record 2004/14, 2004.

FOLDOC – Free On-line Dictionary Of Computing. **Application Program Interface.** <http://foldoc.org/Application+Program+Interface>. Acesso em: 10 out. 2010.

GIUNTOLI, I. **Sistema Web-GIS participativo associado a indicadores de gestão descentralizada de risco de inundações.** Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

GOOGLE. **Google Maps Data API (Google Labs).** <http://code.google.com/intl/pt-BR/apis/maps/documentation/mapsdata/>. Acesso em: 10 out. 2010.

GTZ - Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. **Disaster Risk Management – Working Concept.** Eschborn, Alemanha. 2002.

GRACIOSA, M. C. P. **Modelo de seguro para riscos hidrológicos com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão de riscos de inundações.** Tese de doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP. 2010.

GWILLIAM, J., FEDESKI, M., LINDLEY, S., THEURAY, N., HANDLEY, J. **Methods for assessing risk from climate hazards in urban areas.** Municipal Engineer 159 ME4, 2006.

JANDUCCI, J. P. Z. **Aplicações de técnicas de geoprocessamento de uso e ocupação do solo em processo de urbanização.** Monografia apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

KRAAK, M. J., BROWN, A. (2001), **Web Cartography**. Editora Taylor & Francis, 2001.

KOBIYAMA, M. ET AL. **Prevenção de desastres naturais - Conceitos básicos.** Editora Organic Trading, 2003.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos.** INPE, 2008.

MARCELINO, E. V., NUNES, L. H., KOBIYAMA, M. **Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina.** Caminhos de Geografia, Instituto de Geografia, UFU, 2006.

MENDIONDO, E.M. **Reducing vulnerability to disasters in urban areas of humid tropics**, In: J.Goldenfum et al (eds) "Urban water management in humid tropics", UNESCO, Paris (accepted, under revision), 2008.

MITCHELL, T. **Web Mapping Ilustrated**. O'Reilly Media, 2005.

MONI SILVA, A. P. **Elaboração de Manchas de Inundação para o Município de Itajubá, utilizando SIG.** UNIFEI. Engenharia da Energia. 2006.

PAVARINI, Sofia Cristina Iost et al . **Sistema de informações geográficas para a gestão de programas municipais de cuidado a idosos.** Texto contexto - enferm., Florianópolis, v. 17, n. 1, mar. 2008 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-07072008000100002&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 02 ago. 2010. doi: 10.1590/S0104-07072008000100002.

RIBEIRO, C. A. G., MENDIONDO, E. M. **Sinaleira Ambiental como Estratégia de Gestão de Inundação – Estudo de Caso na População da Micro-bacia do Gregório, São Carlos, SP (Brasil).** Jornadas Internacionales sobre Gestión del Riesgo de Inundaciones y Deslizamentos de Laderas. Brasil, 2007.

RIGHETTO, J. M. **Modelo de Seguro para Riscos Hidrológicos no Contexto de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SECRETARIA MUNICIPAL DE HABITAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO DE SÃO CARLOS. **Material para a elaboração do Plano Diretor do Município de São Carlos.** Prefeitura Municipal de São Carlos, SP, 2005.

TUCCI, E. C. **Modelos Hidrológicos.** ABRH Editora da UFRGS. Porto Alegre, 2005.

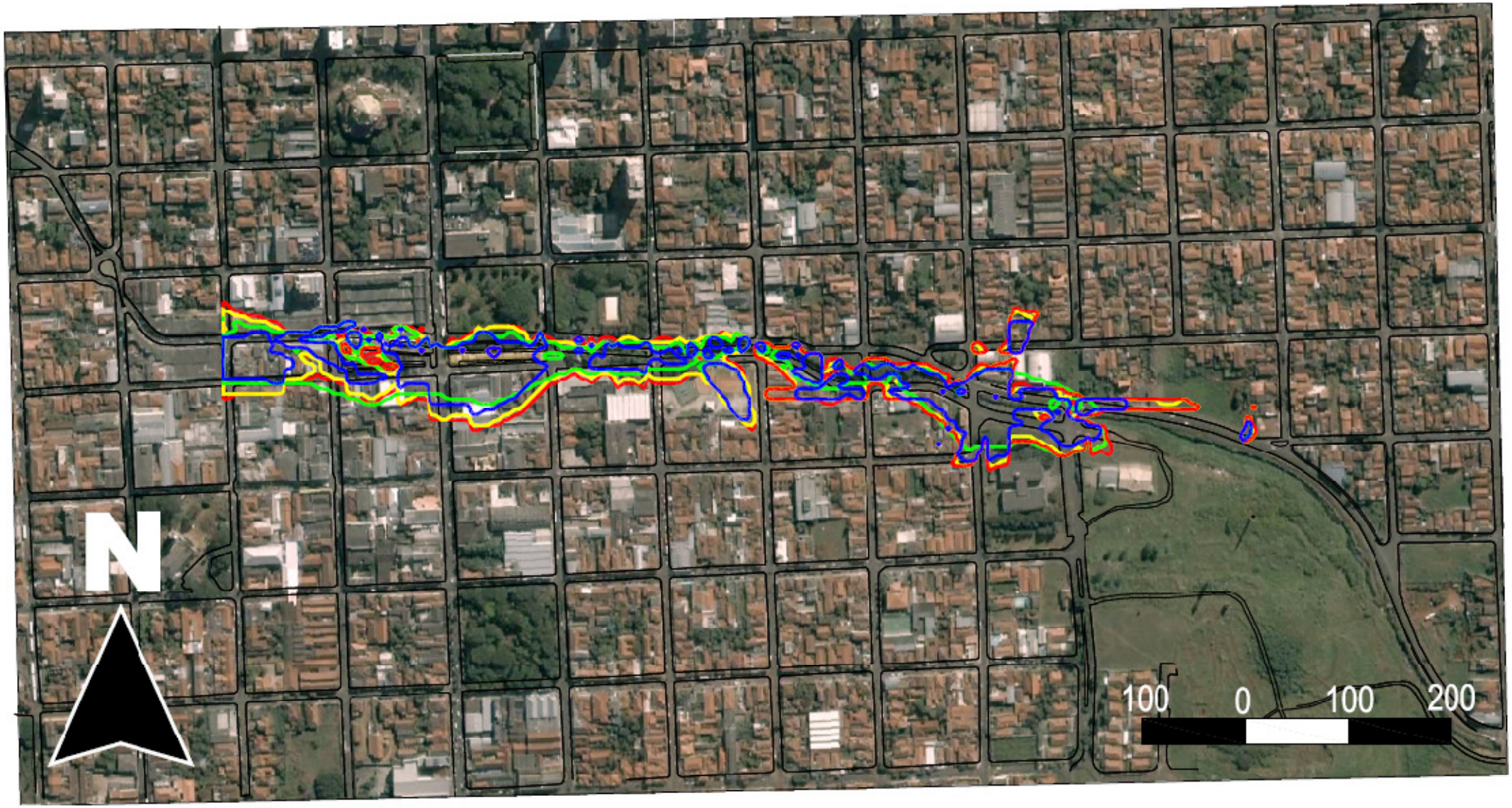
UNISDR – United Nations International Strategy for Disaster Reduction. **UNISDR Terminology on Desaster Risk Reduction**, 2009.

WMO – World Meteorological Organization. **Comprehensive Risk Assessment for Natural Hazards**, 1999.

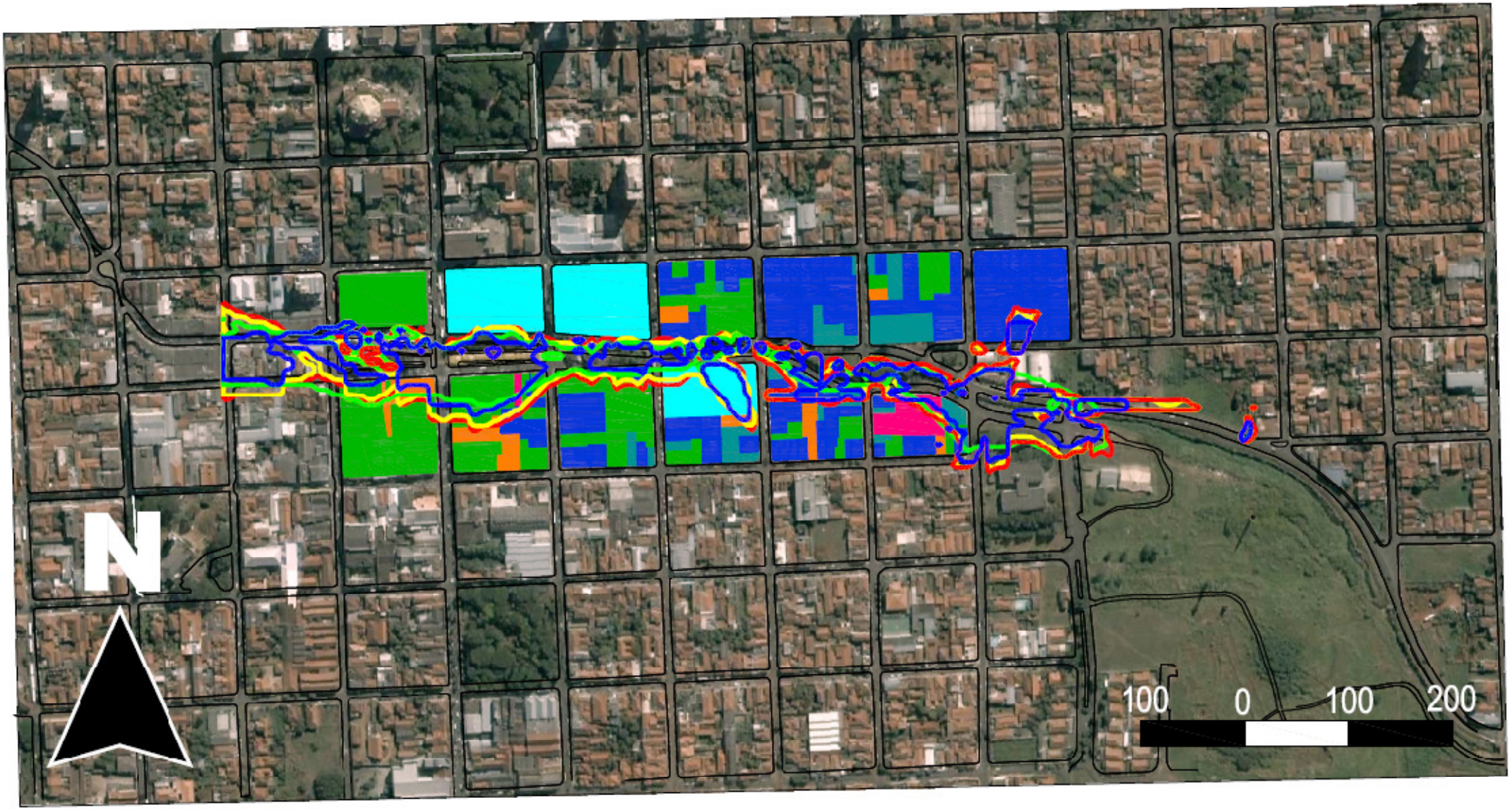
WMO – World Meteorological Organization. **Water and disasters - Be informed and be prepared**, 2004.

ANEXOS

ANEXO 1 - MANCHAS DE INUNDAÇÃO NA BACIA DO CÓRREGO DO GREGÓRIO, NA REGIÃO CENTRAL DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS.



ANEXO 2 - MANCHAS DE INUNDAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS LOTES NA BACIA DO CÓRREGO DO GREGÓRIO, NA REGIÃO CENTRAL DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS.



ANEXO 3 – Tabelas com as areas inundadas ao longo do córrego do Gregório para os diversos valores de tempo de retorno e para os diferentes tipos de uso dos lotes urbanos.

Tabela A - Áreas inundadas discretizadas por sub-bacia e por tipo de uso para uma inundação com TR de 5 anos, em m^2.

	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3	Sub-bacia 4	Sub-bacia 5	Sub-bacia 6	Sub-bacia 7	Sub-bacia 8
Residencial	225,00	100,00	400,00	0,00	25,00	75,00	0,00
Comercial/Serviços	0,00	500,00	0,00	0,00	0,00	1400,00	825,00
Industrial	0,00	25,00	0,00	0,00	0,00	250,00	0,00
Misto	0,00	800,00	0,00	50,00	0,00	0,00	300,00
Calha do Córrego	950,00	475,00	700,00	425,00	325,00	400,00	250,00
Praças e Locais Abertos	0,00	0,00	0,00	1275,00	0,00	0,00	0,00
Não Identificado	0,00	0,00	225,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela B - Áreas inundadas acumuladas por sub-bacias e por tipo de uso para uma inundação com TR de 5 anos, em m^2.

	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3	Sub-bacia 4	Sub-bacia 5	Sub-bacia 6	Sub-bacia 7	Sub-bacia 8
Residencial	225,00	325,00	725,00	725,00	750,00	825,00	825,00
Comercial/Serviços	0,00	500,00	500,00	500,00	500,00	1900,00	2725,00
Industrial	0,00	25,00	25,00	25,00	25,00	275,00	275,00
Misto	0,00	800,00	800,00	850,00	850,00	850,00	1150,00
Calha do Córrego	950,00	1425,00	2125,00	2550,00	2875,00	3275,00	3525,00
Praças e Locais Abertos	0,00	0,00	0,00	1275,00	1275,00	1275,00	1275,00
Não Identificado	0,00	0,00	225,00	225,00	225,00	225,00	225,00
Total	1175,00	3075,00	4400,00	6150,00	6500,00	8625,00	10000,00

Tabela C - Áreas inundadas discretizadas por sub-bacia e por tipo de uso para uma inundação com TR de 10 anos, em m^2.

	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3	Sub-bacia 4	Sub-bacia 5	Sub-bacia 6	Sub-bacia 7	Sub-bacia 8
Residencial	0,00	175,00	75,00	0,00	75,00	75,00	0,00
Comercial/Serviços	0,00	0,00	0,00	25,00	225,00	1325,00	1275,00
Industrial	0,00	550,00	0,00	0,00	0,00	225,00	50,00
Misto	0,00	25,00	0,00	100,00	0,00	0,00	750,00
Calha do Córrego	1075,00	950,00	1125,00	675,00	600,00	475,00	250,00
Praças e Locais Abertos	0,00	0,00	0,00	1450,00	0,00	0,00	0,00
Não Identificado	0,00	575,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela D - Áreas inundadas acumuladas por sub-bacias e por tipo de uso para uma inundação com TR de 10 anos, em m^2

	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3	Sub-bacia 4	Sub-bacia 5	Sub-bacia 6	Sub-bacia 7	Sub-bacia 8
Residencial	0,00	175,00	250,00	250,00	325,00	400,00	400,00
Comercial/Serviços	0,00	0,00	0,00	25,00	250,00	1575,00	2850,00
Industrial	0,00	550,00	550,00	550,00	550,00	775,00	825,00
Misto	0,00	25,00	25,00	125,00	125,00	125,00	875,00
Calha do Córrego	1075,00	2025,00	3150,00	3825,00	4425,00	4900,00	5150,00
Praças e Locais Abertos	0,00	0,00	0,00	1450,00	1450,00	1450,00	1450,00
Não Identificado	0,00	575,00	675,00	675,00	675,00	675,00	675,00
Total	1075,00	3350,00	4650,00	6900,00	7800,00	9900,00	12225,00

Tabela E - Áreas inundadas discretizadas por sub-bacia e por tipo de uso para uma inundação com TR de 20 anos, em m^2.

	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3	Sub-bacia 4	Sub-bacia 5	Sub-bacia 6	Sub-bacia 7	Sub-bacia 8
Residencial	425,00	200,00	850,00	25,00	175,00	400,00	0,00
Comercial/Serviços	0,00	0,00	0,00	50,00	425,00	1625,00	1675,00
Industrial	0,00	725,00	0,00	0,00	700,00	300,00	0,00
Misto	0,00	25,00	0,00	100,00	0,00	75,00	825,00
Calha do Córrego	1075,00	1200,00	1250,00	775,00	50,00	500,00	250,00
Praças e Locais Abertos	0,00	550,00	0,00	1900,00	0,00	175,00	0,00
Não Identificado	0,00	0,00	400,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela F - Áreas inundadas acumuladas por sub-bacias e por tipo de uso para uma inundação com TR de 20 anos, em m^2

	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3	Sub-bacia 4	Sub-bacia 5	Sub-bacia 6	Sub-bacia 7	Sub-bacia 8
Residencial	425,00	625,00	1475,00	1500,00	1675,00	2075,00	2075,00
Comercial/Serviços	0,00	0,00	0,00	50,00	475,00	2100,00	3775,00
Industrial	0,00	725,00	725,00	725,00	1425,00	1725,00	1725,00
Misto	0,00	25,00	25,00	125,00	125,00	200,00	1025,00
Calha do Córrego	1075,00	2275,00	3525,00	4300,00	4350,00	4850,00	5100,00
Praças e Locais Abertos	0,00	550,00	550,00	2450,00	2450,00	2625,00	2625,00
Não Identificado	0,00	0,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00
Total	1500,00	4200,00	6700,00	9550,00	10900,00	13975,00	16725,00

Tabela G - Áreas inundadas discretizadas por sub-bacia e por tipo de uso para uma inundação com TR de 50 anos, em m^2.

	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3	Sub-bacia 4	Sub-bacia 5	Sub-bacia 6	Sub-bacia 7	Sub-bacia 8
Residencial	500,00	225,00	900,00	25,00	225,00	600,00	25,00
Comercial/Serviços	0,00	0,00	0,00	75,00	725,00	1650,00	1900,00
Industrial	0,00	800,00	0,00	0,00	0,00	300,00	50,00
Misto	0,00	25,00	0,00	100,00	0,00	75,00	1025,00
Calha do Córrego	1125,00	1350,00	1350,00	775,00	750,00	500,00	250,00
Praças e Locais Abertos	0,00	0,00	0,00	2100,00	0,00	200,00	0,00
Não Identificado	0,00	575,00	475,00	25,00	100,00	0,00	0,00

Tabela H - Áreas inundadas acumuladas por sub-bacia e por tipo de uso para uma inundação com TR de 50 anos, em m^2.

	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3	Sub-bacia 4	Sub-bacia 5	Sub-bacia 6	Sub-bacia 7	Sub-bacia 8
Residencial	500,00	725,00	1625,00	1650,00	1875,00	2475,00	2500,00
Comercial/Serviços	0,00	0,00	0,00	75,00	800,00	2450,00	4350,00
Industrial	0,00	800,00	800,00	800,00	800,00	1100,00	1150,00
Misto	0,00	25,00	25,00	125,00	125,00	200,00	1225,00
Calha do Córrego	1125,00	2475,00	3825,00	4600,00	5350,00	5850,00	6100,00
Praças e Locais Abertos	0,00	0,00	0,00	2100,00	2100,00	2300,00	2300,00
Não Identificado	0,00	575,00	1050,00	1075,00	1175,00	1175,00	1175,00
Total	1625,00	4600,00	7325,00	10425,00	12225,00	15550,00	18800,00