

## **IX-030 - MAPEAMENTO ALTERNATIVO DE ZONAS ALAGÁVEIS UTILIZANDO SIG PARA A CIDADE DE PONTE NOVA - MG**

**Mariko de Almeida Carneiro**<sup>(1)</sup>

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Engenheira Ambiental da Companhia Brasileira de Trens Urbanos - CBTU

**Fernanda Martins Guabiroba**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Engenheira Ambiental da Kinross Gold Corporation

**Demetrius David da Silva**

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Av. Guarabira, 1101 - Manaíra - João Pessoa – PB - CEP: 58018-140 - Brasil - Tel: (81) 88631436 - e-mail: mariko@cbtu.gov.br

### **RESUMO**

O município de Ponte Nova - MG, desde sua fundação, sofre problemas de inundações. Podem-se citar como principais eventos, pela intensidade dos danos ocorridos na cidade, as cheias de 1951, 1979, 1997, 2001, 2008 e 2012, sendo a penúltima a maior delas. O mapeamento das planícies de inundação de uma cidade é um instrumento essencial para a ordenação do uso e ocupação do solo e o direcionamento das expansões urbanas, além de facilitar a elaboração do Plano de Defesa Civil que estabelece as ações para minimizar perdas durante as enchentes. Para um mapeamento de qualidade, é necessária uma série de dados como levantamentos topobatimétricos, níveis de enchentes anteriores, estudo hidráulico do escoamento do curso d'água, estudo de probabilidade de chuvas e inundações, entre outros. No entanto, a falta de banco de dados consistente, principalmente a falta de levantamentos topográficos na maioria das cidades brasileiras, dificulta a obtenção de resultados precisos e de boa acurácia. O presente trabalho objetivou desenvolver metodologia alternativa simplificada para a elaboração de mapeamento da planície de inundação para a cidade de Ponte Nova de forma mais rápida e de baixo custo através do uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG), salientando logicamente as suas limitações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Planície de Inundação, Mapeamento a partir de SIG.

### **INTRODUÇÃO**

Ao longo da história das civilizações, as populações procuraram se fixar às margens dos cursos d'água para facilitar o uso deste recurso, que é fundamental à existência humana. Entretanto, com o desenvolvimento acelerado das cidades, observado principalmente no século XX, as várzeas inundáveis foram ocupadas desordenadamente.

Quando ocorre uma inundação, a ocupação inadequada das planícies pode ter como consequência grandes prejuízos materiais e perdas humanas consideráveis. A convivência com as enchentes é possível a partir da implantação de medidas para controle da inundação, que podem ser do tipo estrutural ou não estrutural.

As medidas estruturais buscam solucionar o problema da cheia a partir de obras de engenharia, tais como construção de diques, barragens ou canais de desvio, ou ainda, por ações implantadas na própria bacia hidrográfica, visando alterar as relações entre precipitação e vazão.

As medidas não estruturais têm como objetivo melhorar a convivência da população com as cheias, reduzindo os prejuízos com a inundação. Exemplos: edificações à prova de enchentes, seguro de enchente, previsão e alerta de inundação; e zoneamento de áreas inundáveis.

Assim, o mapeamento das planícies de inundação de uma cidade é um instrumento essencial para a ordenação do uso e ocupação do solo e para o direcionamento das expansões urbanas, além de facilitar a elaboração do

Plano de Defesa Civil que estabelece as ações individuais e corretivas para minimizar perdas durante as enchentes.

O município de Ponte Nova localiza-se na Zona da Mata do estado de Minas Gerais. Com uma área de 470,643 km<sup>2</sup>, o município possui uma população 57.390 habitantes e densidade populacional de 121,94 hab/km<sup>2</sup>, de acordo com o Censo IBGE 2010.

A cidade formou-se no leito maior do rio Piranga que, não raramente, atinge níveis que extravasam sua calha provocando enchentes. Historicamente, a cidade apresenta uma série de eventos de inundação que causam, ano após ano, prejuízos ao poder público e à população. Destacam-se as enchentes de 1979, 1997 e, recentemente, em 2008 e 2012. A de 2008 foi a maior de todos os eventos já registrados.

A prefeitura de Ponte Nova relata o acontecimento das principais enchentes da segunda metade do século XX e início do século XXI. São elas a dos anos de 1951, 1979, 1997, 2001, 2008 e 2012. Com características semelhantes, as enchentes ocorrem com o rápido aumento do nível do rio e da velocidade de escoamento, causando tragédias como perdas financeiras e até humanas ao município.

A utilização de softwares de Sistema de Informação Geográfica (SIGs) é considerada a melhor ferramenta para solucionar problemas de organização de dados em modelos espaciais. Vários órgãos governamentais e empresas privadas baseiam hoje suas decisões de planejamento em SIG, utilizando suas potencialidades com relação à ferramenta de gerenciamento, banco de dados e processamento de dados (ROSE, 2001). Para o mapeamento de zonas alagáveis faz-se uso dos Modelos Digitais de Elevação (MDEs) ou Modelo Digital do Terreno que de acordo com INPE (2009), citado por SCHÜTZ (2009), é uma representação matemática contínua da distribuição espacial das variações de altitude de uma determinada área. O MDE é uma representação digital de uma seção da superfície, dada por uma matriz de pixels com coordenadas planimétricas (x,y) e um valor de intensidade do pixel correspondente à elevação.

A demanda por modelos digitais de elevação (MDEs) para subsidiar estudos em várias áreas de pesquisa ambiental tem aumentado significativamente. No entanto, diferentemente de alguns países desenvolvidos, não existe no Brasil um órgão responsável pela elaboração e normatização dos procedimentos utilizados na criação desses modelos, ficando a cargo dos próprios analistas a decisão sobre qual a melhor metodologia a se empregar (Chagas et al., 2010). Para uso na hidrologia os MDEs possuem pouca precisão em seus dados finais, sendo essencial a padronização para geração de modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes (MDEHC). Um modelo digital de terreno é considerado hidrologicamente consistente quando este representa adequadamente o relevo da região em estudo, a ponto de permitir a correta simulação dos processos hidrológicos ocorrentes na área.

Segundo CPRM (2004), o mapeamento das planícies inundáveis utilizando um SIG consiste basicamente na relação entre o modelo digital de elevação da área em estudo e os perfis da linha d'água dos eventos de cheia com diferentes probabilidades de ocorrência. Através de um SIG é possível gerar a superfície do terreno, a superfície da linha d'água associada a uma probabilidade de excedência e efetuar expressões algébricas entre as duas. Essas superfícies são arquivos (imagens) raster cujas células armazenam as elevações. As dimensões das células devem ser compatíveis com a escala da base planialtimétrica utilizada (CPRM, 2004). Ressalta-se que a qualidade dos resultados finais é dependente dos dados de entrada, sendo recomendado que a equidistância das curvas de nível seja de pelo menos um metro. Após a geração das superfícies, a definição das áreas inundáveis é feita através da reclassificação da imagem que representa a divisão da superfície do terreno pela superfície da linha d'água.

De acordo com Tucci (2012), o mapeamento de áreas de inundação pode ser de dois tipos:

- a) mapas de planejamento: definem as áreas atingidas por cheias de períodos de retorno (TR) escolhidos;
- b) mapas de alerta: informam em cada esquina ou ponto de controle o nível da régua no qual inicia a inundação, permitindo o acompanhamento da evolução da enchente.

A elaboração destes mapas requer a obtenção dos seguintes dados:

- Nivelamento do instrumento de medida de lâmina d'água a um zero absoluto;
- Topografia da cidade no mesmo referencial absoluto da régua linimétrica;
- Estudo de probabilidade de inundações de níveis para uma seção na proximidade da cidade;
- Níveis de enchente, ou marcas ao longo da cidade, que permitam a definição da linha d'água;
- Seções batimétricas ao longo do rio no perímetro urbano;
- Cadastramento das obstruções ao escoamento ao longo do trecho urbano, como pontes, edifícios e estradas, entre outros.

Na prática, é muito difícil recolher todos esses dados. Segundo a literatura, um levantamento topográfico com espaçamento entre curvas de nível de 0,5 a 1,0 m é a precisão requerida para a entrada de dados. Dispondo-se da batimetria do curso d'água na região urbana é possível calcular a linha d'água a partir de um modelo de escoamento permanente de forma mais precisa. Conhecidas as rugosidades pode-se estabelecer a linha de água para as vazões correspondentes aos diferentes períodos de retorno e, em consequência, elaborar o mapeamento das áreas atingidas (Tucci, 2012).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração das manchas de inundação propostas nesse trabalho foram utilizados:

- Dados hidrológicos disponibilizados pela ANA através da plataforma eletrônica Hidroweb;
- Mapa de vias e loteamentos da cidade de Ponte Nova em formato dwg (AutoCad);
- Imagens de satélite do município (Google Earth®)
- MDE;
- Histórico das inundações;
- Cotas de inundações, para vários períodos de retorno;
- Os softwares SisCAH e ArcGIS;
- Equipamentos: GPS Tecgeo GTR-G2 e Nível Automático CST Berger sal24ng.

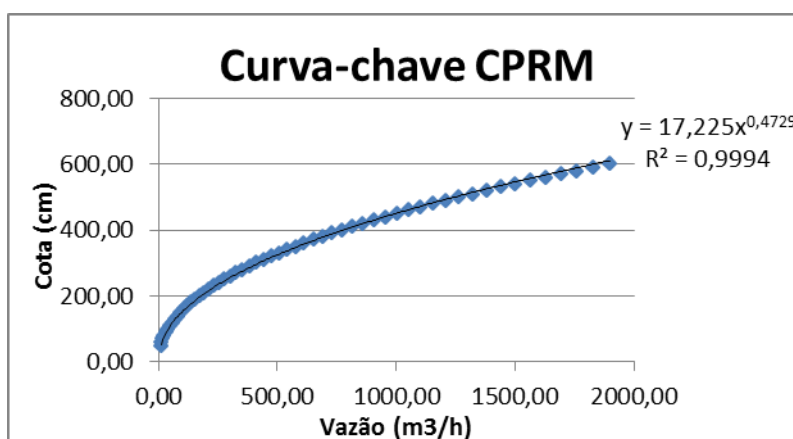
A primeira etapa da metodologia consistiu na elaboração do inventário de dados hidrológicos levantados por meio do sistema de informações hidrológicas (*Hidroweb*) da ANA (Agência Nacional de Águas). Foram obtidas as séries históricas das estações de monitoramento fluviométrico 56110005 e 56075000; e pluviométrico 2042018 e 2043014 localizadas nos municípios de Ponte Nova e Porto Firme.

Na estação fluviométrica do município de Ponte Nova, estação principal, foram obtidos dados diários brutos e consistidos de chuva, cota linimétrica, vazão e resumo de medição de descarga líquida. Para a estação de Porto Firme, localizada a montante do município de Ponte Nova, foram analisados os dados diários de vazão para auxiliar na análise de consistência dos dados da estação principal.

Para determinação do ano hidrológico elaborou-se um hidrograma com as médias mensais de longa duração das vazões obtidas na série histórica da estação de Ponte Nova. O início do ano hidrológico foi considerado no mês de novembro, pois este mês apresentou menor percentual de vazões mínimas quando comparado ao mês de outubro.

A CPRM (Serviço Geológico do Brasil) opera o sistema de monitoramento de alerta da bacia do rio Doce e possui uma série de medições de vazão que constituem a curva-chave usada por esse sistema. A partir dos pares cota x vazão fornecidos pela CPRM, foi elaborada a curva-chave, ilustrada na Figura 1, com a respectiva equação 1.

$$y = 17.225 x^{0.4729} \quad \text{equação (1)}$$



**Figura 1 - Curva-Chave (Vazão x Cota) para os dados obtidos por medição próximos à estação 56110005 (Ponte Nova).**

A análise de consistência e homogeneidade das séries de dados de vazão, bem como a análise probabilística de ocorrência de vazões máximas foram realizadas utilizando-se o software SisCAH 1.0 (Sistema Computacional para Análises Hidrológicas), desenvolvido pela equipe do Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa.

Foram escolhidos os períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos para criação de cenários de cheias. Os resultados das vazões máximas associadas aos diferentes períodos de retorno obtidas com base na distribuição probabilística de melhor ajuste encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1 - Vazões associadas a diferentes períodos de retorno para a estação fluviométrica 56110005.**

PERÍODO DE RETORNO (ANOS)	MODELO PROBABILÍSTICO AJUSTADO	VAZÃO (M3/S)
5	Logpearson 3	761,85
10	Lognormal 3	974,09
20	Gumbel	1278,16
50	Gumbel	1553,16
100	Gumbel	1759,24

Em trabalhos já realizados para determinação de planícies de inundação, recomenda-se o uso de levantamentos topográficos com curvas de nível com uma equidistância de até 2 metros, sendo que para áreas urbanas, melhores resoluções, como equidistâncias de 1 ou 0,5 metros, podem ser requeridas. O município de Ponte Nova não possui levantamento topográfico disponível, o que constituiu a principal dificuldade deste trabalho.

Com a colaboração do Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal de Viçosa (SIGEO), tentou-se chegar a um resultado próximo da realidade. Foram necessários os planos de informação de hidrografia e de altimetria com pontos cotados e curvas de nível, obtidos através das cartas topográficas vetoriais disponibilizadas pelo IBGE. Os mapas digitais possuem escala de 1:50.000, cujas curvas de nível apresentam equidistância vertical de 20 m. Em seguida realizou-se o pré-processamento dos dados digitais. As curvas de nível que apresentaram inconsistências foram ajustadas manualmente com base na hidrografia mapeada, já ajustada pelo sentido da direção de escoamento.

O MDE gerado através do módulo TOPOGRID disponível no software Arc/INFO teve resolução de 15 m. Quanto melhor a resolução, mais se exige do software e do processador. O tempo de processamento e a memória requerida são tão maiores quanto menor for a resolução. Sendo assim, o valor final foi escolhido considerando-se o tempo e processador disponíveis. Puderam-se observar depressões espúrias no MDE gerado, ou seja, células que devido a valores superiores de elevação de sua circunvizinhança impedem o fluxo do escoamento superficial ao longo do seu percurso. Dessa forma, foi feita a eliminação das depressões espúrias para se chegar a um MDE mais consistente.

As informações sobre as cheias de 2008 e 2012 foram coletadas através de trabalhos de campo em que foram obtidas informações junto à Defesa Civil de Ponte Nova, com o auxílio técnico da CPRM. Com GPS, foram levantados pontos ao longo das margens do rio Piranga onde se tem a marca do nível atingido pela água nos eventos de cheia em questão. Esses pontos foram utilizados para geração dos planos de inundação no ArcGis 9.3. Para o evento de 2012 foram feitas 22 medições em 21 pontos distintos.

Para os eventos associados aos períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos as cotas referentes a esses eventos, na estação fluviométrica, foram estimadas através da curva-chave ilustrada na Figura 1. Nota-se que os valores de vazão obtidos pela análise probabilística encontram-se dentro do intervalo da curva, não sendo necessária sua extrapolação. Utilizando-se da equação 1 da curva-chave, em que  $y$  = cota (cm) e  $x$  = vazão ( $m^3/s$ ), obteve-se a cota na régua de marcação próxima à estação fluviométrica. A esses valores somou-se 391,532 m que é o valor altimétrico referente ao ponto zero da régua de marcação, obtido subtraindo-se 579,2cm do valor da cota da RNP4 – 5792. Para se chegar às cotas de cada período de retorno nos outros pontos utilizou-se interpolação linear simples, com o fator de proporcionalidade igual à razão entre a cota estimada através da curva-chave e o valor medido em campo para 2008 e 2012. A Tabela 2 apresenta as cotas estimadas para os eventos associados aos diferentes períodos de retorno.

**Tabela 2 - Cotas de inundação estimadas para vazões associadas aos períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos.**

PERÍODO DE RETORNO (ANOS)	VAZÃO ( $M^3/S$ )	NÍVEL NA ESTAÇÃO FLUV.(CM)	COTAS (M)
5	761,85	397.1873	395.50
10	974,09	446.1365	395.99
20	1278,16	507.2983	396.60
50	1553,16	556.2697	397.09
100	1759,24	590.0291	397.43

Os mapas feitos no ArcGis foram obtidos através de simples reclassificação em que, para cada cota de cheia, reclassificou-se cada pixel do MDE, sendo que os valores abaixo da referida cota receberam valor 1 e cotas superiores receberam valor 0. Assim, obteve-se duas regiões distintas, em que a região de valor 1 corresponde à área inundada.

## CONCLUSÕES

As Figuras 2 e 3 apresentam as manchas de inundação para os eventos de cheia ocorridos em 2008 e 2012.





**Mancha de Inundação Enchente de 2008**

- Área não inundada
- Área inundada
- Rio Piranga
- Ponto cotado em campo

**Figura 2 – Mancha de inundação do evento de cheia de 2008.**

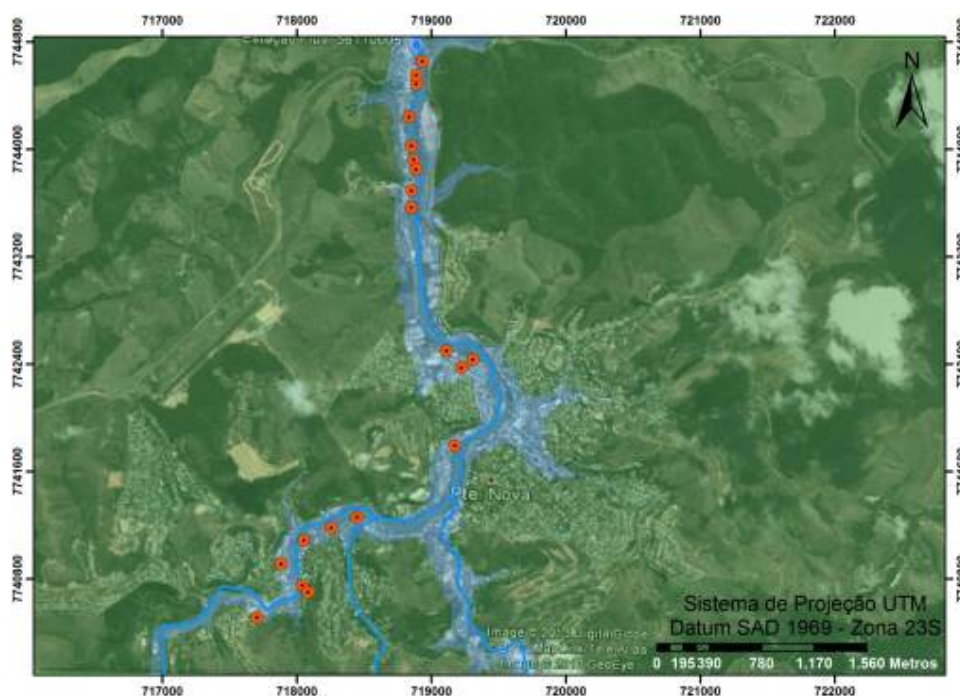


**Mancha de Inundação Enchente de 2012**

- Área não inundada
- Área inundada
- Rio Piranga
- Ponto cotado em campo

**Figura 3 – Mancha de inundação do evento de cheia de 2012.**

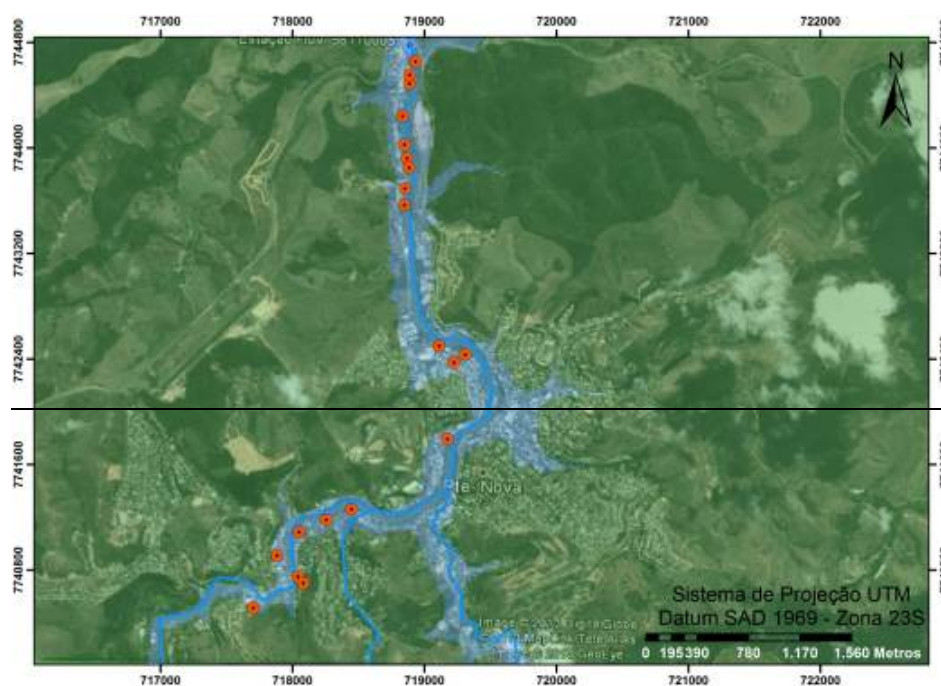
A seguir, as Figuras 4, 5, 6, 7 e 8 apresentam os mapas de áreas alagáveis para as vazões máximas associadas aos períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos, respectivamente.



**Mancha de Inundação Para Período de Retorno de 5 anos**

Área não inundada Rio Piranga  
Área inundada Ponto cotado em campo

**Figura 4 – Mancha de inundação para vazões máximas com período de retorno de 5 anos.**

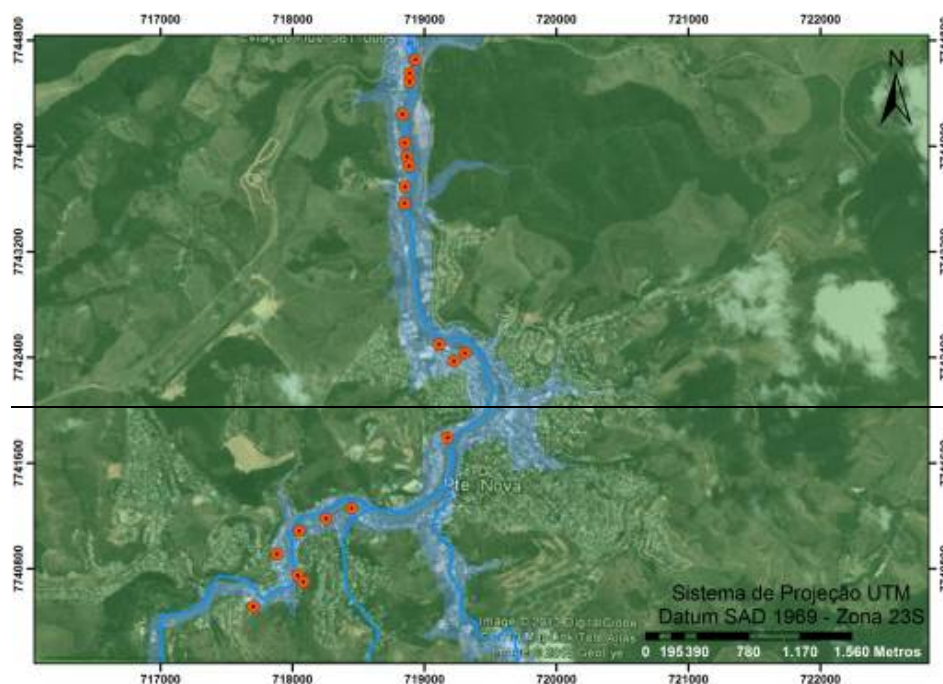


**Mancha de Inundação Para Período de Retorno de 10 anos**

Área não inundada Rio Piranga  
Área inundada Ponto cotado em campo

**Figura 5 – Mancha de inundação para vazões máximas com período de retorno de 10 anos.**

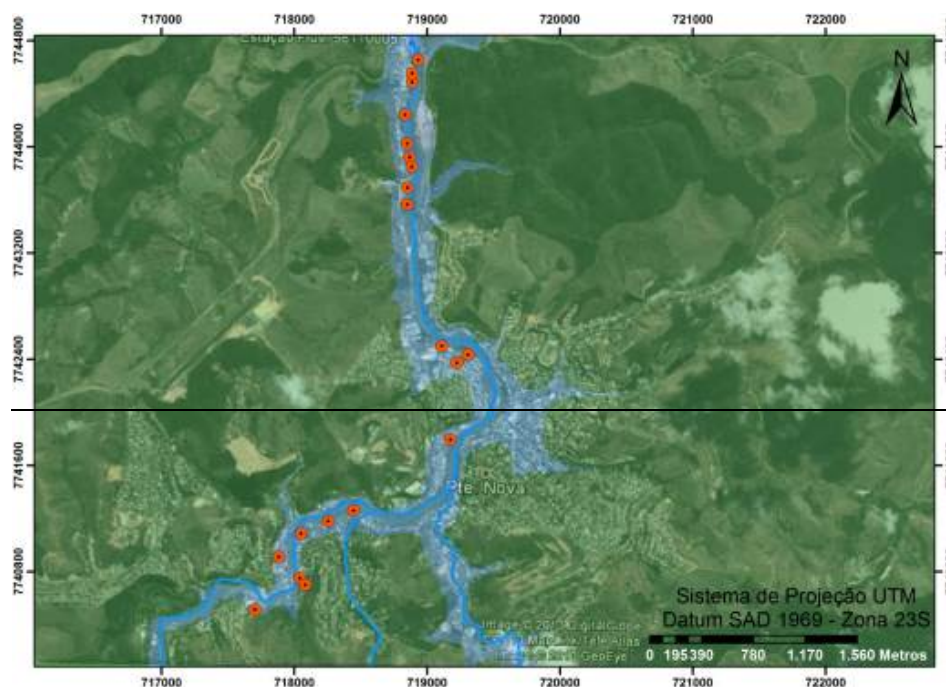




**Mancha de Inundação Para Período de Retorno de 20 anos**

- Área não inundada
- Área inundada
- Rio Piranga
- Ponto cotado em campo

**Figura 6 – Mancha de inundação para vazões máximas com período de retorno de 20 anos.**



**Mancha de Inundação Para Período de Retorno de 50 anos**

- Área não inundada
- Área inundada
- Rio Piranga
- Ponto cotado em campo

**Figura 7 – Mancha de inundação para vazões máximas com período de retorno de 50 anos.**





**Figura 8 – Mancha de inundação para vazões máximas com período de retorno de 100 anos.**

A metodologia utilizada, como era de se esperar, não alcançou resultados precisos em função das limitações nas bases de dados hidrológica e cartográfica, no entanto, oferece um resultado de fácil visualização para a população. Além disso, os resultados conseguem demonstrar tendências de alagamento e zonas mais susceptíveis à enchentes, o que torna este trabalho um instrumento com possível utilização para o poder público visando a elaboração de planos diretores e de uso e ocupação do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BENEVENUTO, Ivan; SALVADOR, Mateus da Mota. Simulação Hidrológica e Proposição de Medidas Mitigadoras para Atenuar o Efeito de Enchentes na Bacia Hidrográfica do Rio Piranga. UFV. Departamento de Engenharia Civil. Viçosa, 2011.
2. CPRM, ANA e IGAM. 2004. Definição da Planície de inundação da cidade de Governador Valadares. Belo Horizonte. 30 p.
3. ROSE, A. Uma avaliação comparativa de alguns sistemas de informação geográfica aplicados aos transportes. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.
4. SCHÜTZ, Rosvita. Aplicação do sensoriamento remoto na roteirização turística na encosta nordeste do planalto meridional do Rio Grande do Sul – RS. Estudo de caso: Município de Três Cachoeiras. Dissertação de mestrado. Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.
5. TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Editora da UFRGS/ABRH. 4ª ed. Porto Alegre, 2012. 943p.