

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

JEAN RAFAEL DIAS ZANELLA

**UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA MANCHA DE INUNDAÇÃO
PARA MAPEAMENTO DAS ÁREAS AFETADAS PELA CHEIA DO
RIO MARRECAS – FRANCISCO BELTRÃO, PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FRANCISCO BELTRÃO

2016

JEAN RAFAEL DIAS ZANELLA

**UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA MANCHA DE INUNDAÇÃO
PARA MAPEAMENTO DAS ÁREAS AFETADAS PELA CHEIA DO
RIO MARRECAS – FRANCISCO BELTRÃO, PR**

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental da UTFPR, Campus Francisco Beltrão.

Orientador: Prof. Dr. Fernando César Manosso

FRANCISCO BELTRÃO

2016



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2

**UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA MANCHA DE INUNDAÇÃO
PARA MAPEAMENTO DAS ÁREAS AFETADAS PELA CHEIA DO
RIO MARRECAS – FRANCISCO BELTRÃO, PR**

por

Jean Rafael Dias Zanella

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentado às 14 horas e 30 min., do dia 21 de dezembro de 2016, como requisito para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho **APROVADO**

Banca Avaliadora:

Marcelo Bortoli

Coordenador do Curso de Engenharia
Ambiental

Fernando César Manosso

Professor Orientador

Michelle Milanez França

Membro da Banca

Ariadne Farias

Membro da Banca

Denise Andréia Szymczak

Professor do TCC2

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.”

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Claodimar Zanella e Eva Regina Dias Zanella, e minha irmã Michele Dias Zanella por todo o suporte durante toda a minha vida acadêmica.

A minha namorada Laís Scharamoski Risso por todo apoio, incentivo e compreensão durante toda a minha caminhada.

Ao meu orientador Fernando César Manosso por toda colaboração e conhecimento para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Wagner Aguiar pelo suporte e conhecimento desde o início deste trabalho.

Ao Professor Julio Caetano Tomazoni pela colaboração durante o desenvolvimento deste trabalho.

A Secretaria de Meio Ambiente de Francisco Beltrão pelo suporte técnico.

Aos demais Professores por colaborarem no meu desenvolvimento como pessoa e acadêmico.

Aos meus amigos Marcos e Tayoná por todo o companheirismo e suporte.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para meu desenvolvimento e desenvolvimento deste estudo.

RESUMO

DIAS ZANELLA, Jean Rafael. Utilização da Ferramenta Mancha de Inundação Para Mapeamento das Áreas Afetadas Pela Cheia do Rio Marrecas, PR. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

Os problemas decorrentes das cheias tem sido recorrente enfrentado por várias cidades brasileiras, sendo essa problemática fruto do crescimento desordenado e não planejado das mesmas, que resulta na ocupação de áreas irregulares, além da supressão da vegetação aumentando consideravelmente a impermeabilidade do solo, sendo um dos fatores fundamentais para ocorrência de inundações. De acordo com o Censo de 2010 do IBGE, Francisco Beltrão possui uma população de 87.491 habitantes, que está em desenvolvimento, sendo um dos polos em diversas áreas na região sudoeste do Paraná. No entanto, possui um histórico de prejuízos consideráveis sobre a população e aos órgãos públicos e privados, em decorrência das enchentes do Rio Marrecas e seus afluentes, onde a maioria dos casos se dá pela ocupação de áreas irregulares. Dessa maneira, o presente trabalho simulou cheias para diferentes cotas com a utilização da ferramenta mancha de inundação do software Global Mapper e técnicas que permitiram a manipulação de dados de geoprocessamento que foram demonstradas a partir de documentos cartográficos, as áreas inundáveis para diferentes cotas da lâmina de água.

Palavras-chave: inundações, ocorrência de inundações, geoprocessamento, rio Marrecas, Global Mapper.

ABSTRACT

DIAS ZANELLA, Jean Rafael. Utilização da Ferramenta Mancha de Inundação Para Mapeamento das Áreas Afetadas Pela Cheia do Rio Marrecas, PR. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

The problems due to flooding events have been faced by several Brazilian cities, these problems come from a disorderly and unplanned growth, resulting in an occupation of irregular areas, besides the deforestation increasing considerably the soil impermeability, one of the mainly factors of flooding occurrence. According to census of 2010 of IBGE, Francisco Beltrao has a population of 87.491 people. Francisco Beltrao is one of the main cities of southwest Parana. However, there is series of considerable damages on the population and to the public and private institutions due to flooding of Marrecas river and its tributaries, where most of the cases occurs due to occupation of irregular areas. Thus, this study simulated flooding events to different elevations with flooding simulation tool on Global Mapper software and techniques that allowed the geoprocessing data manipulation being the results has showed through cartographic maps.

.

Palavras-chave: Flooding event, flooding, geoprocessing, Marrecas River, Global Mapper.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mancha de Inundação para cota de 9,74 metros.....	26
Figura 2 - Mancha de Inundação para cota de 10,24 metros.....	28
Figura 3 - Mancha de Inundação para cota de 10,74 metros.....	29
Figura 4 - Mancha de Inundação para cota de 11,24 metros.....	30
Figura 5 - Mancha de Inundação para cota de 11,74 metros.....	31
Figura 6 - Manchas geradas no software Global Mapper v15.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pontos coletados nas áreas atingidas pela inundação - 2014	24
Tabela 2 - Análise qualitativa das manchas de inundação.....	27

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional da Água

Cfa – Úmido em todas as estações, verão quente

Cfb – Úmido em todas as estações, verão moderadamente quente

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná

MDE – Modelo Digital de Elevação

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LISTA DE ACRÔNIMOS

CAD - Computer Aided Design

GPS – Global Positioning System

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO GERAL	15
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3. REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	16
4. MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 ELABORAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO	20
4.2 PROGRAMAS E TÉCNICAS UTILIZADAS	20
4.2.1 Autocad	20
4.2.2 Global Mapper v15.....	21
4.3 BASE DE DADOS PARA ELABORAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO	21
4.3.1 Análise de Dados de Precipitação	21
4.3.3 Obtenção das cotas do leito normal e do leito de inundação	21
4.3.4 Modelagem do relevo da área de estudo	22
4.3.5 Obtenção das cotas de inundação para eventos passados conhecidos	23
5. ELABORAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO	24
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
7. REFERÊNCIAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

A utilização dos recursos hídricos pelo ser humano é decorrente de tempos imemoriais. De acordo com LIBÂNIO (2008, p. 15-16), estima-se que há 10000 anos, com a descoberta da agricultura, o ser humano passou a abandonar a caça como principal fonte de alimento, ou a utilizar a agricultura como forma complementar na obtenção de alimento. Logo com a busca de abastecimento, passaram a fixar-se, deixando de serem nômades, e assim começaram a criação de povoados e cidades às margens de corpos hídricos. A partir disso, começou a disseminar o estabelecimento de cidades e povoados às margens dos rios.

A ocupação das margens dos rios ocorre ainda hoje, mas não apenas para abastecimento e sim por motivos econômicos. As margens dos rios são determinadas como reservas legais de acordo com a legislação, sendo responsabilidade do Estado. No entanto, a falta de fiscalização e o alto preço dos imóveis faz com que a população ocupe essas áreas e se estabeleçam. O agravante nessa situação decorre do fato da ocupação ocorrer em momentos em que o leito do rio está em sua vazão normal ou fora de risco de inundação, não indicando perigo à população que não conhecendo o histórica de ocorrência de inundação se estabelece nesse local. Logo quando ocorre inundações, há perdas tanto materiais e imateriais, tornando as famílias agora alvo de preocupação e responsabilidade dos órgãos públicos.

De acordo com CANHOLI (2005, p. 15).

A drenagem urbana no Brasil e em outros países, por muitos anos é abordada de maneira acessória, em relação ao uso e ocupação do solo em áreas urbanas. Na maior parte das metrópoles o crescimento nas áreas urbanas procedeu-se de forma acelerada e somente em algumas áreas a drenagem urbana foi considerada fator preponderante no planejamento de sua expansão.

Atualmente essa é realidade em grande parte das cidades brasileiras, cuja preocupação ocorre somente no período de ocorrência das inundações, após isso, os problemas ocasionados pelas inundações são esquecidos pelo poder público e pela população.

O principal motivo desses transtornos é a ocupação irregular de áreas de cheia dos rios, que são consideradas áreas de preservação permanente pela legislação, sendo descrita pelo antigo código florestal, no Artigo 2º da Lei 4771 de setembro de

1965, e também na sua reformulação, o atual código florestal, no Artigo 4º da Lei 12651 de maio de 2012.

Devem-se haver medidas mais restritas para que o desenvolvimento acelerado e sem planejamento seja controlado. Planos diretores devem ser mais restritos, orientando de forma objetiva e precisa ações a serem tomadas para planejamento ambiental e implantação de projetos urbanos, de uma forma que as construções desenvolvam medidas de compensação eficazes dos impactos causados pela mesma no local, como a diminuição da taxa de infiltração, e conseqüentemente aumento do escoamento superficial, transferindo a água que ali seria infiltrada para o rio mais próximo.

Além da ocupação irregular do leito maior dos rios, o desenvolvimento urbano potencializa as cheias, diminuindo o tempo de concentração e aumentando a vazão de pico. Isso se explica pelo fato da canalização de pequenos corpos hídricos e a impermeabilização do solo, fatores esses existentes na cidade de Francisco Beltrão

Como não é diferente da maioria das cidades brasileiras, em Francisco Beltrão há problemas com inundações, onde centros industriais, comerciais e a população que reside próximo ou às margens de corpos hídricos, têm prejuízos físicos e socioambientais.

A cidade de Francisco Beltrão está situada no sudoeste do Paraná, possui clima subtropical úmido mesotérmico, onde reside uma população estimada de 87.491 habitantes (IBGE, 2010) e nos últimos 10 anos tem apresentado um crescimento populacional, econômico e urbano considerável, fator determinante e perceptível disso é o elevado número de loteamentos que surgiram nesse período, em diversos locais da cidade, expandindo-se para a área rural, desde áreas ribeirinhas até encostas e topos de morro.

O município de Francisco Beltrão possui um rio principal, que atravessa a zona urbana de Francisco Beltrão, o Rio Marrecas, que segundo Da Luz (2011) nasce entre os municípios de Flor da Serra do Sul e Marmeleiro, sendo que o mesmo possui extensão de 164,9 km, e diversos afluentes que também cruzam a cidade, sendo importante destacar dentre eles o rio Lonqueador, rio Quatorze e rio Santa Rosa, que de alguma maneira causam transtornos à população em período de cheia, sendo que os principais problemas ocorrem na foz desses afluentes com o rio Marrecas. Com a necessidade da proximidade do rio Marrecas para desenvolvimento, indústrias e

residências foram construídas à margem do rio Marrecas, e seus afluentes, é perceptível a ocupação irregular em diversos pontos da cidade.

De acordo com Da Luz (2011, p. 29), a Bacia do Rio Marrecas possui uma área de 865,43 km², e está localizada na região sudoeste do estado do Paraná, abrangendo os municípios de Itapejara D'oeste, Marmeleiro, Flor da Serra do Sul, Verê e Francisco Beltrão.

O presente trabalho analisou a bacia do Rio Marrecas na área urbana, e obteve com a utilização de sistemas de informações geográficas as áreas inundáveis no perímetro urbano da cidade de Francisco Beltrão, que denomina-se aqui de manchas de inundação. As manchas de inundação a partir de cotas pré-determinadas: foi seleciona a cota de 9,74 metros, pois foi a cota mais elevada no período de julho de 2013 à dezembro de 2016, registrada pela ANA.

É de grande importância para o desenvolvimento sustentável das cidades o planejamento de drenagem urbana para que problemas futuros sejam evitados ou prevenidos. No contexto em que a cidade de Francisco Beltrão se encontra em relação às enchentes, levando em consideração as informações e históricos disponíveis sobre as cheias, há poucos estudos propondo ferramentas de apoio e combate às mesmas, sendo viável a aplicação dos métodos abordados pelo presente trabalho.

Logo, com os dados das áreas inundáveis e com a obtenção do tempo de retorno das chuvas em Francisco Beltrão o estudo irá orientar e alertar a população, o setor público e privado, sobre as ocorrências de cheia na cidade de Francisco Beltrão a partir de modelos matemáticos, análises e coleta de dados em campo e cartas temáticas.

Assim algumas medidas de remediação e prevenção aos transtornos gerados pela cheia do Rio Marrecas na zona urbana, poderão ser tomadas para diminuir ou evitar prejuízos econômicos e socioambientais da população do município de Francisco Beltrão.

Devemos deixar bem claro a diferença entre cheia, enchente e inundação. De acordo com Kobiyama, M., e Goerl, F. R., enchente e cheia são a ocupação máxima até a altura das margens do rio, e inundação ocorre quando a água do rio transborda, ultrapassando a altura das margens do rio.

2. OBJETIVO GERAL

Analisar a Bacia do rio Marrecas na zona urbana da cidade de Francisco Beltrão em relação aos problemas relacionados às cheias e inundações.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Criar uma ferramenta baseada na avaliação de planos de informação geográfica, de orientação e alerta para a população, órgãos públicos e setores privados, no que concerne às inundações desinentes no município de Francisco Beltrão

Comparar a cota de 9,74 m, pois foi a maior cota registrada no período de 2013 à 2016 pela ANA.

Além disso, comparar a mancha de inundação para as cotas de 10,24 m, 10,74 m, 11,24 m e 11,74 m geradas no Global Mapper com os pontos registrados em campo.

Elaborar a mancha de inundação para cotas altimétricas acima do que já ocorreu em Francisco Beltrão, utilizando a ferramenta “*Simulate water rise/flooding*” do Global Mapper v15.

3. REFERÊNCIAL TEÓRICO

A ocorrência de inundações é a mais frequente entre todos os desastres naturais. Nos últimos vinte anos especificamente, o número de eventos de inundações reportados tem crescido significativamente. O número de pessoas afetadas por enchentes e danos financeiros, econômicos e segurança tem todos crescido também. Somente em 2010, 178 milhões de pessoas foram afetadas pelas enchentes (JHA, Abhas K, 2012).

As inundações são mais antigas que a existência do homem na Terra. Como causa principal de problemas relacionados às enchentes a ocupação irregular de áreas ribeirinhas é um problema comum encontrado em todo o território nacional (TUCCI, 2007).

O aumento das áreas urbanizadas e, conseqüentemente, impermeabilizadas, ocorreu a partir das zonas mais baixas, próximas às várzeas dos rios ou à beira-mar, em direção às colinas e morros, em face da necessária interação da população com os corpos hídricos, utilizados como fonte de alimento, dessedentação, além de via de transporte (CANHOLI, 2005).

Tanto TUCCI (2007), quanto CANHOLI (2005), apontam que o ser humano sempre procurou ficar próximo aos rios, pela facilidade em que a proximidade da residência ao corpo hídrico oferece aos residentes, desde a utilização do mesmo para transporte, consumo, dessedentação de animais, até a destinação de esgoto doméstico e resíduos sólidos. Sendo que as áreas ocupadas pela população ribeirinha condizem ao leito maior do rio, que geralmente são planas, propícias para o assentamento humano.

As inundações urbanas tornaram-se um problema comum para a população brasileira, e tem aumentado o número de locais atingidos e a magnitude dos danos, principalmente nos grandes centros urbanos. O aumento desses desastres e do número de pessoas afetadas se dá pela ocupação populacional em áreas de risco, aumento do crescimento urbano e pressões sobre o meio ambiente, como urbanização, variabilidade e mudança climática (TUCCI, 2007).

A modificação do terreno como a impermeabilização do solo ocasionada por construções, implica na alteração do ciclo hidrológico, diminuindo a área de infiltração da água no solo e diminuindo também a resistência da superfície ao escoamento superficial. Em consequência disso, tem-se o aumento do volume e da velocidade de

escoamento, ocasionado em modificações no hidrograma, com redução do tempo de concentração e aumento da vazão de pico (GARCIA, 2006).

Logo, são vários os fatores que envolvem enchente provocada pela urbanização. Pode-se destacar o parcelamento do solo e a impermeabilização de grandes áreas, a ocupação de áreas ribeirinhas, obstrução de canalização por detritos e sedimentos, e obras de drenagem inadequadas. (POMPÊO, 2007).

Moradores mais antigos que já conheciam o comportamento do rio instalavam-se em locais onde não poderiam ter problemas com inundações, entretanto, com o crescimento descontrolado e acelerado, principalmente na segunda metade do século 20, as áreas com risco considerável, como as várzeas inundáveis, foram ocupadas, e conseqüentemente prejuízos humanos e físicos de dimensão considerável, começaram a ocorrer (TUCCI, 2007).

Geralmente a solução adequada para os problemas de inundação não são tomadas pelo órgão responsável. Somente após a ocorrência da inundação que medidas são levadas em consideração, porém a maioria é esquecida até a próxima enchente ocorrer. Tal problemática se deve a alguns fatores, entre eles, a falta de conhecimento sobre controle de enchentes por parte dos planejadores, falta de planejamento e gestão de inundações em nível federal e estadual, pouca informação técnica sobre o assunto, desgaste político para os administradores público no controle não-estrutural e desinteresse na prevenção de enchentes (TUCCI, 2007).

Neste contexto, o crescimento urbano tem se expandido de forma irregular e para locais que não atendem os critérios do Plano Diretor e normas específicas de loteamento. Devido à essa ocupação desordenada, há maior dificuldade para aplicação ações não-estruturais de controle ambiental urbano (CANHOLI, 2005).

Além disso, as medidas aplicadas para remediar os danos causados pelas cheias apresentam caráter localizado. A adoção de sistemas de canalizações de corpos hídricos transfere as vazões locais para jusante, resolvendo o problema local. No entanto, a área suprimida no local será requerida pelo rio à jusante, ou seja, tais obras são apenas transferência do problema de um local para outro (CANHOLI, 2005).

Levando em consideração o que foi citado anteriormente, alguns princípios errados são aplicados, amplificando o impacto do problema, em vez de mitiga-lo. O princípio errado que tem levado às inundações na drenagem urbana é: “a melhor drenagem é aquela que escoar a água da chuva o mais rápido possível para jusante” (TUCCI, 2007).

Cada residência ou prédio comercial ou industrial levando em consideração o princípio citado anteriormente aumenta a vazão consideravelmente e diminuem o tempo que essas vazões levam para chegar aos pontos receptores de drenagem urbana. O resultado dessas ações inadequadas são inundações em diferentes pontos da rede de drenagem pública (TUCCI, 2007).

Outra prática adotada pelos órgãos públicos é a alteração do leito natural dos rios, aplicando obras hidráulicas, linearizando ou canalizando corpos hídricos. Tais medidas além de prejudicar o comportamento natural dos rios e assim afetar o sistema de drenagem urbano, desrespeita a legislação florestal, eliminando a área de proteção dos rios (TUCCI, 2007).

Percebe-se na gestão de sistemas de drenagem urbana, que as fontes dos impactos à montante, que tornam o solo impermeável e canalizam, não são prejudicados pelas cheias, pois os impactos são transferidos à jusante, onde os diversos problemas causados pela inundação são conhecidos (TUCCI, 2007).

Os conceitos inovadores mais utilizados para readequação ou aumento da eficiência hidráulica dos sistemas de drenagem têm como objetivo promover o retardamento dos escoamentos, e com isso amortecer os picos e reduzir o volume das cheias por meio de bacias de retenção, e além disso, controlar tanto quanto possível o *run-off* (escoamento superficial) da precipitação, pelo aprimoramento das condições de infiltração ou adoção de tanques de contenção (CANHOLI).

Tais conceitos demonstram uma mudança na filosofia das soluções estruturais adotadas em drenagem urbana, uma vez que anteriormente eram adotadas obras de canalização que tinha como consequência a aceleração do escoamento e o afastamento rápido dos picos de cheias para jusante. Medidas de controle de cheias implantadas nas proximidades da fonte integram o novo paradigma da moderna drenagem urbana (CANHOLI, 2005).

No plano diretor deve-se considerar que a drenagem é um fenômeno regional, visto que, a bacia hidrográfica pode ultrapassar os limites administrativos do município. Além disso, a macrodrenagem faz parte da infraestrutura urbana, em que seu planejamento deve ser multidisciplinar aos demais planos e projetos públicos, sendo flexível às mudanças futuras (CANHOLI, 2005).

Contudo, Previsão de inundações é outra ferramenta essencial que disponibiliza às pessoas expostas ao risco vantagem de perceber a inundação em um esforço de salvar vidas e bens. Contudo, sem um análise das causas físicas das

inundações registradas, e o contexto geofísico, biofísico e antropogênico, ou feitor por humano, que determina de forma potencial informação sobre inundações, previsões tem um potencial de contribuir para as causas de danos por inundações, subestimando ou superestimando o perigo. A modelagem de perigos hoje em dia tem muitos desafios. (JHA, Abhas, K.).

A previsão da cheia de um rio pode ser estabelecida a curto e longo prazo. A previsão de curto prazo ou em tempo atual, também conhecida como tempo real, permite determinar o nível e seu tempo de retorno para a seção de um rio com antecedência que depende da previsão da precipitação e dos deslocamentos da cheia na bacia. Este tipo de previsão é utilizado para alertar a população ribeirinha e operadores de obras hidráulicas (TUCCI, 2007).

Porém, isso ainda é uma dificuldade para áreas com elevada taxa de urbanização. Com monitoramento e aplicação de metodologias hidráulicas e hidrológicas é possível identificar os impactos relacionados às cheias para tomar ações preventivas ou até mesmo mitiga-los (GARCIA, 2006).

As representações computacionais permitem realizar a análise de informações territoriais e a relação das entidades ambientais neles associados, e assim permitem um estudo mais amplo das informações obtidas (CAMARA & ALMEIDA, 2007).

Os SIGs (Sistemas de Informações Geográficas) podem ser aplicados em diversos campos de estudo, sendo o mesmo muito útil na análise e planejamento ambiental, uma vez que os SIGs permitem serem inseridas e geradas informações, possibilitando a integração de um número amplo de variáveis (DONHA, et al).

Visto isso, o uso de mapas para mostrar perigos e riscos associados é por consequência um objetivo valioso para o processo de decisão. Mapas de perigos relacionados às inundações são ferramentas visuais para demonstrar uma situação de perigo em uma área. Mapas de perigos são importantes para o desenvolvimento de atividades de planejamento, para planos de emergência, e para desenvolvimento de políticas (JHA, Abhas K).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ELABORAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO

Como foi dito anteriormente, a mancha de inundação foi gerada a partir de uma cota de inundação conhecida (9,74 m), e a interporlação de cotas com intervalo de 50 centímetros até 11,74 metros a partir desta cota, obtida através de visitas à campo utilizando o GPS geodésico. Este primeiro passo serviu para verificação da diferença do resultado gerado no Global Mapper v15 com o que foi registrado a campo. Após a verificação do erro, a mancha de inundação foi corrigida, ou seja, foi considerada esse erro para elaboração da mancha de inundação da cota maior do que qualquer outra registrada no município de Francisco Beltrão.

O segundo passo foi gerar a mancha de inundação 0,5, 1, 1,5 e 2 metros acima da cota de inundação registrada por visita à campo na data de 02 de maio de 2014.

Sabe-se que conforme a lâmina de água sobre o leito do rio se eleva, esta invade as áreas que fazem parte do leito maior do canal fluvial. Nesse caso algumas áreas urbanas da cidade de Francisco Beltrão estão localizadas nessas áreas de inundação e por isso são invadidas pelas águas do rio Marrecas. A representação cartográfica da mancha dessa inundação, baseada em dados de cotas (verticais) e ilustrada sobre imagens de satélite pode apresentar uma margem de erro de até 5 metros (na escala horizontal), ou até gerar manchas de inundação em lugares onde não foram relatados em campo, devido à base de dados ser do ano 2000, além disso, estruturas, obras, construções, não foram levados em consideração na geração da mancha de inundação.

4.2 PROGRAMAS E TÉCNICAS UTILIZADAS

Foram utilizados dois programas para gerar a base de dados para a elaboração da mancha de inundação, sendo eles: Global Mapper v15 e Autocad. Com estes dois programas foi possível trabalhar em diversos formatos de arquivos, e modelar estes arquivos para a geração da mancha de inundação.

4.2.1 Autocad

O Autocad é o software do tipo cad (*computer aided design*) mais famoso e utilizado no mundo, criado e comercializado pela Autodesk, Inc. desde 1982. Este é muito utilizado nas áreas de Arquitetura e Engenharia, permitindo elaborar desenhos

e projetos em duas dimensões (2D) e três dimensões (3D) e processar e gerar mapas e bases cartográficas.

O Autocad serviu para edição de amostras e planos de informação, e ainda é um software base para a maioria dos dados utilizados no presente trabalho, como traçado da hidrografia, e curvas-de-nível.

4.2.2 Global Mapper v15

O Global Mapper é um software com interface de fácil entendimento e utilização, rápido processamento, aplicado aos diversos processamentos geográficos. No entanto é uma ferramenta que realiza processos tanto simples quanto elaborados, permitindo o download gratuito do Modelo Digital do Terreno (MDT) da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM), imagens de satélites e dados geográficos, cálculo de volumes, áreas, exportar, importar e gerar dados cartográficos, de topografia, mapas.

4.3 BASE DE DADOS PARA ELABORAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO

4.3.1 Análise de Dados de Precipitação

Francisco Beltrão possui uma estação agrometeorológica, em que há registros de precipitação entre 1965 e 1973 ao ano atual (Gráfico), além disso, a cidade tem investido em equipamentos e equipes para monitoramento do comportamento do rio Marrecas. Logo, foi feita análise estatística dos dados de precipitação, verificando a frequência das precipitações utilizando a equação $F = \frac{m}{n} =$

$\frac{\text{Posição da ordenação no valor crescente}}{\text{Número de anos da série histórica}}$

verificando sua influência nas cheias de Francisco Beltrão.

4.3.3 Obtenção das cotas do leito normal e do leito de inundação

Visitas em campo foram realizados para obtenção da cota do rio Marrecas e seus afluentes em estudo no seu leito normal e após eventos de precipitação. Além disso, foram realizadas entrevistas sobre os locais afetados pelas inundações e seu histórico de ocorrência, com moradores da cidade que conseqüentemente acompanham o processo de cheia do Rio Marrecas. Os moradores entrevistados foram selecionados pela área em que residem com um histórico de ocorrência de inundações registrado em meios de comunicação local. Também foram coletados os dados de cota do leito normal e de inundação do Rio Marrecas a partir dos registros

da Agência Nacional da Água (ANA). Esses registros são realizados por uma estação automática a cada 15 minutos, desde o ano de 2003.

Após obter as cotas do leito maior a partir dos registros da Agência Nacional da Água e de demarcação de locais atingidos, esses pontos foram registrados utilizando um GPS Geodésico TOPCOM, para posterior interpolação e obtenção de informações de cota e localização geográfica.

A precisão dos dados para análise de cheia deve ser a maior possível, pois grandes diferenças, ou acúmulo de erros, podem alterar o local atingido pela inundação de forma substancial, criando uma ferramenta ineficaz.

4.3.4 Modelagem do relevo da área de estudo

“Um Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre” (CAMARA e FELGUEIRA, 2001, p. 7-2).

A partir do MNT podem ser elaborados, volumes, áreas, altimetria, informações geomorfológicas, hidrogeológicas, representação tridimensional, por exemplo.

Para geração da base altimétrica foi necessário gerar a grade irregular triangular a partir das curvas de nível, com equidistância de 1 metro, do município de Francisco Beltrão sendo considerado o traçado do rio Marrecas, e por conseguinte gerado a grade regular retangular a partir da TIN.

A grade irregular triangular é um conjunto de poliedros cujas faces são triângulos. A geração da grade triangular foi selecionada pelo fato da mesma considerar informações importantes do relevo, como discontinuidades representadas por feições lineares do relevo e a drenagem, representada por vales. Logo consegue-se obter um aproximação substancial do relevo real (CAMARA e FELGUEIRA, 2001).

Logo, foi criado um banco de dados com informações da delimitação da área de estudo, drenagem e curvas-de-nível obtidas a partir do formato dxf.

O primeiro passo foi importar todos os planos de informações e amostras foram para dentro do software Global Mapper v15 e os mesmos tiveram suas projeções cartográfica definidas como: SAD_1969_UTM_Zone_22S. Após todos os dados

importados a modelagem foi iniciada. Os dados importados para geração do MNT foram:

- Curvas-de-nível com equidistância de um metro da área urbana do município de Francisco Beltrão do ano 2000, com escala de 1: 2000, e
- Traçado altimétrico do Rio Marrecas e seus afluentes, fornecido pela Prefeitura Municipal de Francisco Beltrão.

Após importar as curvas-de-nível, foi utilizada a ferramenta *creation elevation grid from 3d vector data* para criar a TIN. Assim, pôde avançar para a criação da mancha de inundação.

4.3.5 Obtenção das cotas de inundação para eventos passados conhecidos

Foram coletados pontos a partir de fotografias das áreas atingidas pela inundação para as datas de Maio de 2014 e Dezembro de 2015. Essas cotas foram registradas por GPS modelo TOPCOM e importadas para o Global Mapper v15. A obtenção dessas cotas foi de extrema importância para verificar a diferença entre os resultados obtidos pelo software e os dados coletados à campo.

Foram coletados dois pontos através do GPS geodésico modelo TOPCOM, demarcando a localização dos locais atingidos pela inundação, além disso, foi demarcada a cota dos locais inundados. Para definir a cota de inundação foi medida a cota do terreno até a marca originada pela inundação, obtida por fotos e no próprio local, e somada com a cota obtida no GPS.

A comparação foi realizada importando os pontos registrados pelo GPS para o Global Mapper e sobrepondo a mancha de inundação gerada para inundação ocorrida em maio de 2014.

Essa ação foi importante para verificar as diferenças existentes e corrigi-las com base nos pontos coletados à campo. Assim, é possível aumentar a precisão da ferramenta para extrapolação de dados, como neste caso, onde foi gerada uma mancha de inundação para uma inundação com cota superior a qualquer outra registrada no município de Francisco Beltrão entre os anos de 2003 e 2016.

Esse período foi selecionado, pois é o período em que tem registros de dados fluviométricos e pluviométricos da ANA a cada 15 minutos, quantidade de dados considerável a ser trabalhada. Além disso, não temos registros de cotas das inundações dos anos anteriores à esta data.

5. ELABORAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO

O Global Mapper v15 possui uma ferramenta de análise chamada “*Simulate Water Level Rise/Flooding*” onde é possível selecionar a altura da cota de inundação a partir da cota de base desejada. Assim, essa ferramenta considera a mancha de inundação desde a base até a cota desejada, não considerando apenas a cota mais alta dando falso entendimento das áreas atingidas pela mancha de inundação.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A cota de 9.74 metros, foi obtida através dos dados registrados pela ANA, logo é um dado real tido para análise comparativa do que foi relatado em campo para com o que foi obtido no software. Os pontos obtidos com as cotas seguem na tabela abaixo:

Tabela 1 - Pontos coletados nas áreas atingidas pela inundação - 2014

Ponto	Coordenadas	Cota Terreno	Cota Inundação
Ponto 1	Y: 7115274,64 X: 296056,015	547,15	548,08
Ponto 2	Y: 7114549,929 X: 295653,385	543,37	544,72

Fonte: Dados coletados em campo utilizando GPS TOPCOM

O ponto 1 está localizado na entrada do parque de exposições de Francisco Beltrão Jayime Canet Junior, na esquina da rua Curitiba com a rua Peru.

Já o ponto 2 está localizado na rua Santo Fregonese, no posto de saúde do bairro Vila Nova.

As cotas de inundação de ambos os pontos foram obtidos a partir da cota do terreno somado à altura da lâmina de água na data da cheia.

Ao analisar o ponto 1 com a cota da mancha de inundação gerada para 9,74 metros pelo Global Mapper v15, observou diferença de 34 centímetros para menos do

que foi obtido em campo. Já para o Ponto 2, a diferença foi de 3,02 metros para mais da cota obtida em campo. Essas diferenças como mencionadas anteriormente, são originadas da base de dados utilizada no trabalho: as curvas de nível utilizadas são do ano 2000, logo, Francisco Beltrão passou por algumas mudanças nesse período, além disso, para a geração da mancha de inundação não foram consideradas obras, construções, estruturas, apenas a topografia do terreno.

Logo, observa-se que ao utilizar essa metodologia somente para a obtenção das cotas de cheia geradas através do Global Mapper v15, pode-se subestimar ou superestimar as cotas de cheias. Isso deve-se à complexidade do comportamento hidrológico da bacia, e também, à limitação do programa quanto aos dados que podem ser inseridos no mesmo.

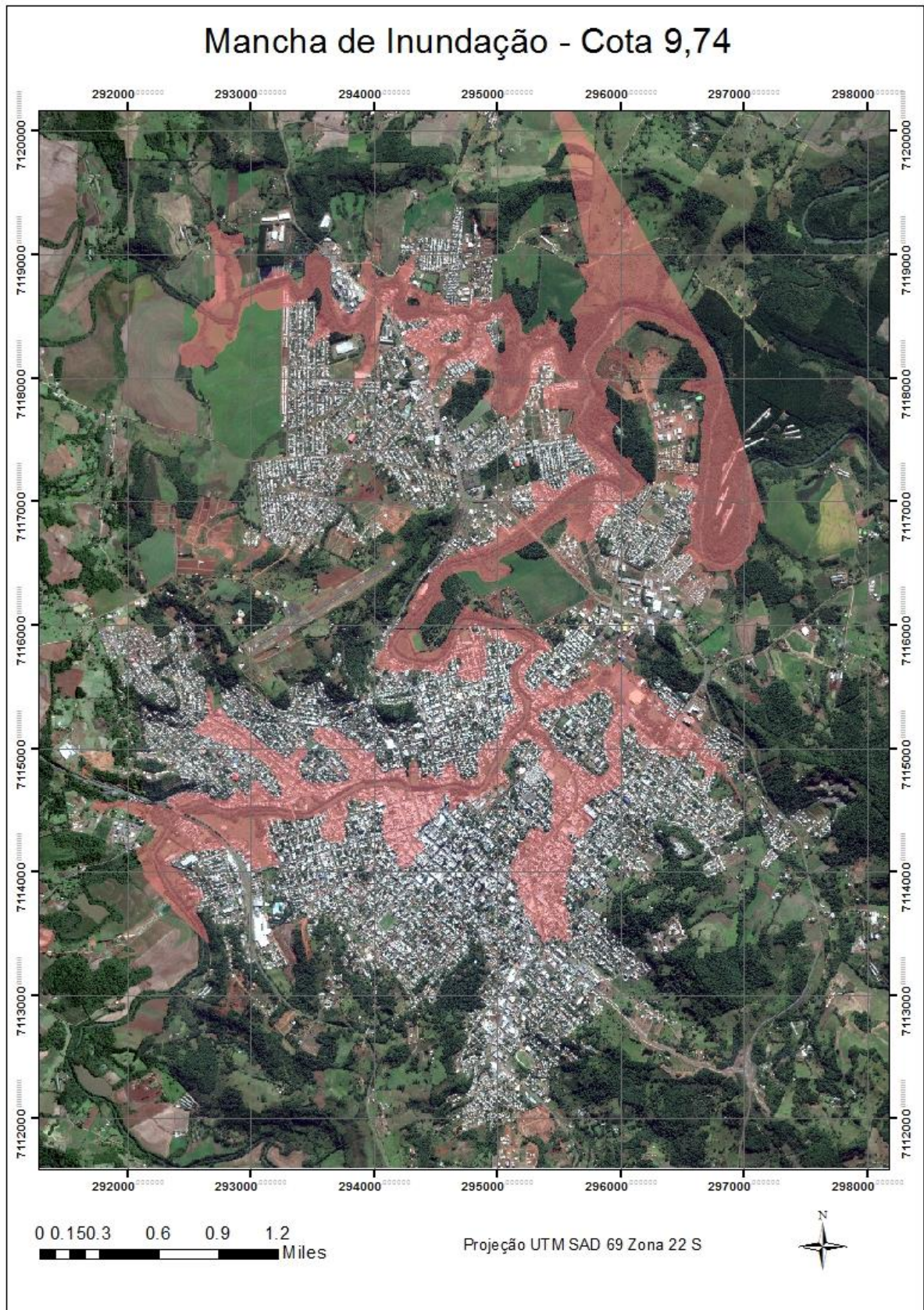


Figura 1 - Mancha de Inundação para cota de 9,74 metros.

Além disso, foram quantificadas as áreas das manchas de inundação geradas para as diferentes cota de inundação. Com isso, identifica-se a diferença em quilômetros quadrados da mancha. Na tabela 2 é demonstrado o significativo avanço da mancha de inundação através da área da mesma, ou seja, um avanço horizontal da mancha.

Tabela 2 - Análise qualitativa das manchas de inundação

Cota de Inundação (metros)	Área total da Mancha (km ²)
9,74	7,2187
10,24	7,6345
10,74	7,9922
11,24	8,3908
11,74	8,7235

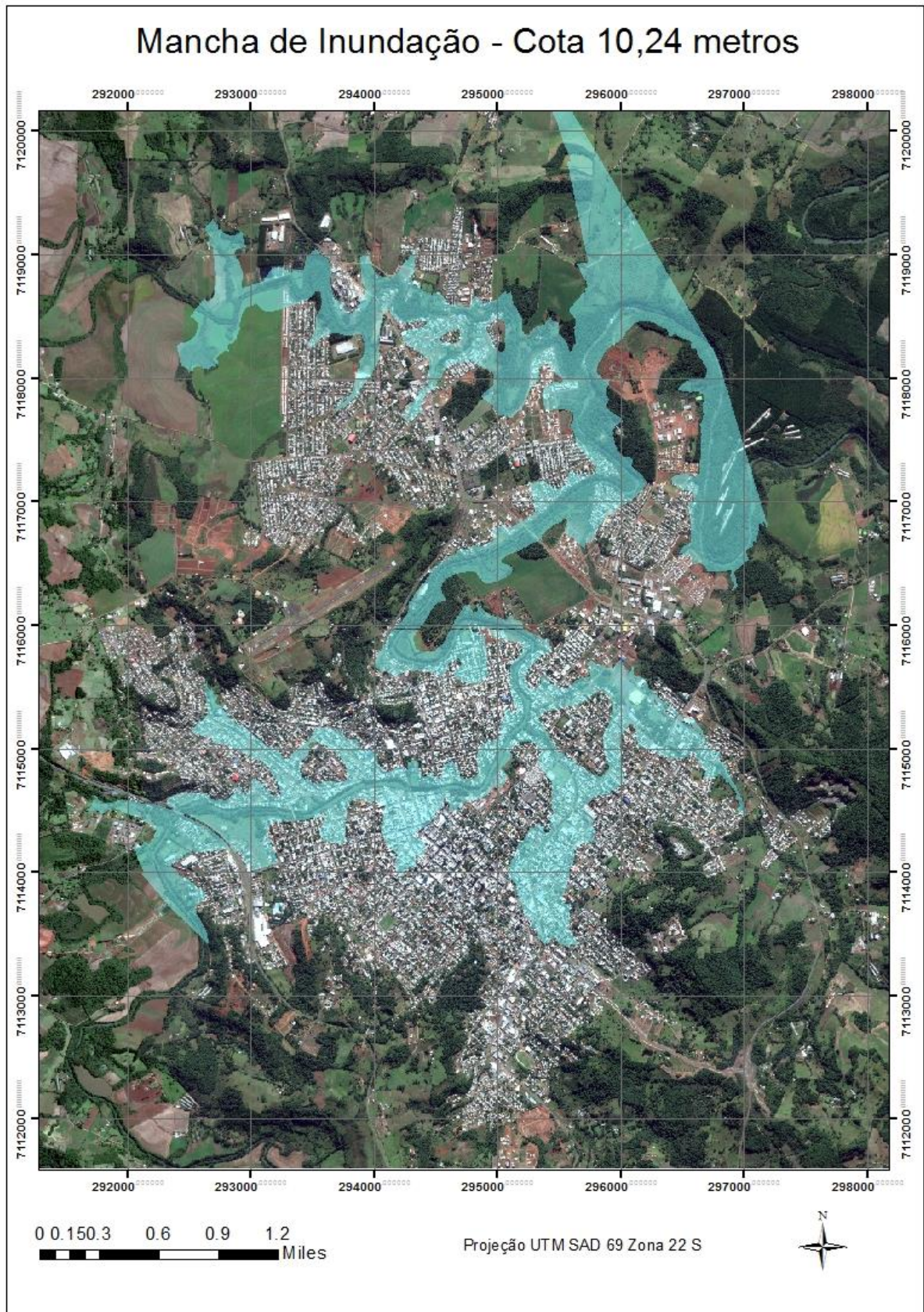


Figura 2 - Mancha de Inundação para cota de 10,24 metros.

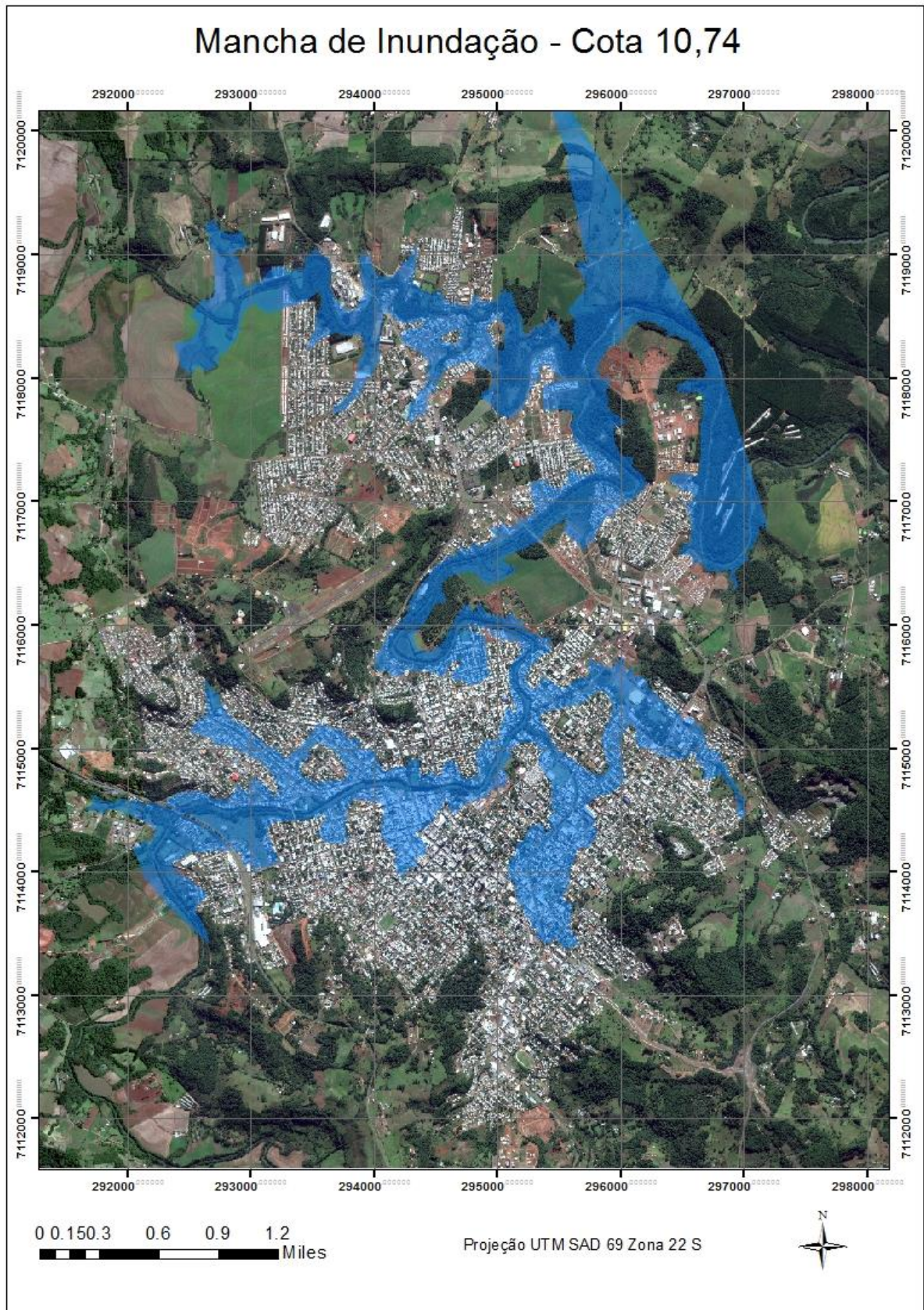


Figura 3 - Mancha de Inundação para cota de 10,74 metros.

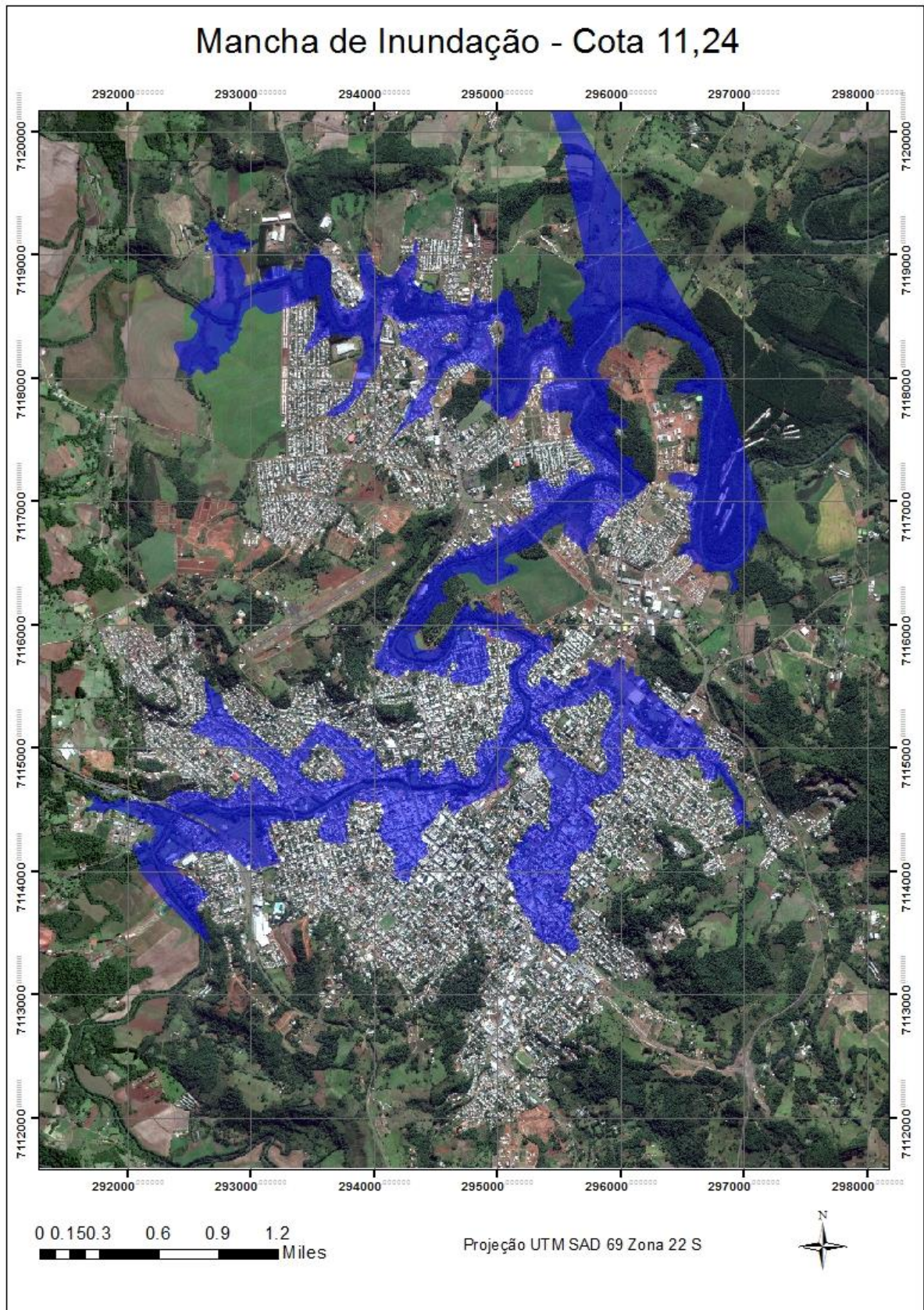


Figura 4 - Mancha de Inundação para cota de 11,24 metros.

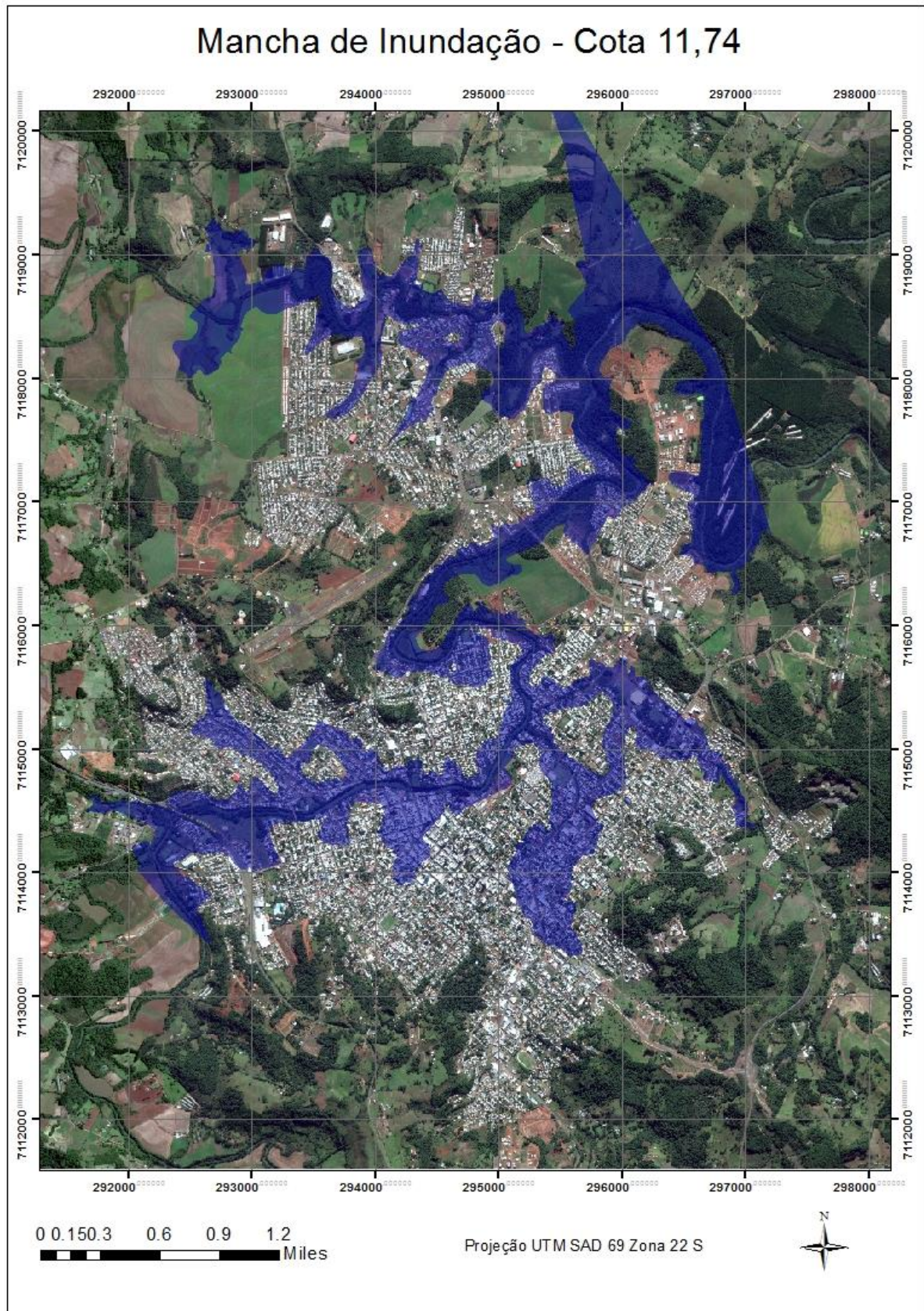


Figura 5 - Mancha de Inundação para cota de 11,74 metros.

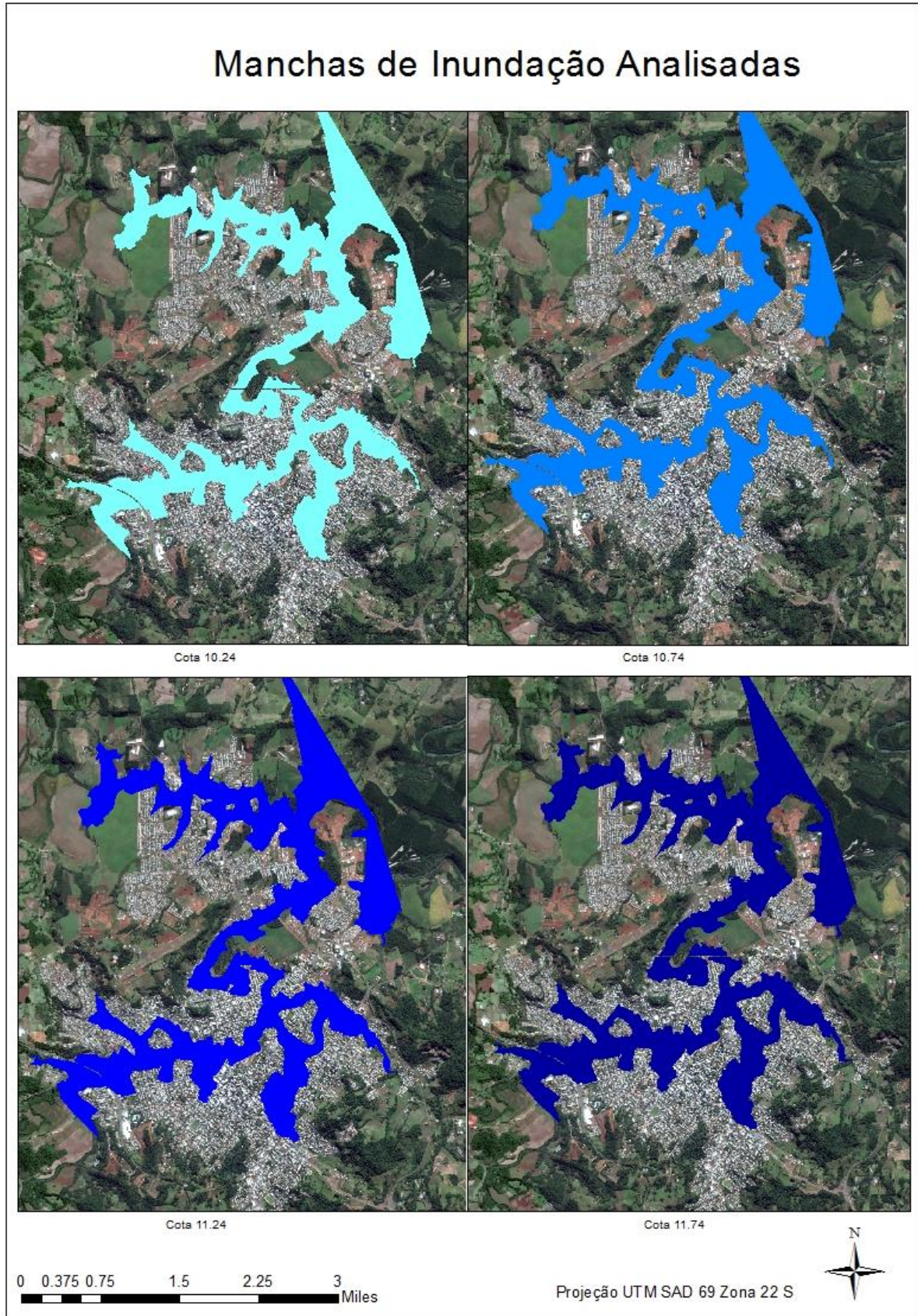


Figura 6 - Manchas geradas no software Global Mapper v15.

Com isso, este estudo procurou demonstrar que as ferramentas de geoprocessamento são uma grande alternativa e ferramenta para delimitação de áreas susceptíveis à inundações, além de grande importância para planejamento urbano.

Muitos problemas relacionados às inundações poderiam ter sido evitados caso tivessem sido planejados ou premeditados. Podemos testemunhar obras recém construídas provenientes de gastos públicos, sem utilização ou investimentos imobiliários sendo desvalorizados por pelo simples fato de não ter sido planejado em relação às enchentes.

Como foi dito anteriormente, a mancha de inundação levou em consideração a topologia do área de estudo, obtida pela TIN gerada a partir das curvas-de-nível de equidistância de um metro.

A partir disso, a ferramenta de geração da mancha de inundação considerou apenas essa topologia, não considerando objetos em 3D, como casas, prédios, e demais construções, por exemplo. Logo, alguns locais atingidos diferenciaram dos resultados obtidos em campo, de forma considerável e outras nem tanto.

Além disso, as curvas obtidas são do ano 2000, ou seja, a área urbana de Francisco Beltrão passou por algumas modificações em seu relevo, principalmente envolvendo loteamentos e topo de morros. Porém, as áreas onde a mancha de inundação atingiu, são áreas já ocupadas no ano 2000 e que não houveram modificações significativas a ponto de alterar o resultado.

Apesar de haver diferença entre os pontos em campo e gerado pelo programa, a ferramenta mancha de inundação demonstrou potencial para estudos hidrológicos e prevenção e alarme de cheias. Além disso, a mesma é de grande importância para determinação áreas atingidas ou susceptíveis à inundação.

Para futuros trabalhos, indica-se maior quantidade de pontos de verificação para realizar análise estatísticas destes dados. Além disso, dados atualizados e coerentes são essenciais para chegar à um resultado significativo e confiável da mancha de inundação. Para geração da mancha de inundação e estudos de bacias hidrográficas, programas como ArcGIS e Hec-RAS trabalhados em conjuntos são indicados, devido sua facilidade de trabalho e as ferramentas que possuem, sendo o Hec-RAS voltado

apenas para estudos hidráulicos, considerando variáveis de grande importância para estudos hidráulicos e que não são encontrados em outros programas.

7. REFERÊNCIAS

BERTI SARLAS, T. L. **Elaboração de Manchas de Inundação para o Município de Santa Rita do Sapucaí, Utilizando SIG**. 2010. 131 p.. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia, UNIFEI. Itajubá, 2010.

BHERING, Silvio Barge; SANTOS, Humberto Gonçalves dos (Ed.); EMBRAPA FLORESTAS; EMBRAPA SOLOS; INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Mapa de solos do estado do Paraná**: legenda atualizada. 1 ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Florestas: Embrapa Solos: Instituto Agrônômico do Paraná.

CÂMARA, Gilberto; ALMEIDA, Cláudia Maria de. **Geomática**: modelos e aplicações ambientais. Brasília, DF: EMBRAPA, 2007. 593 p.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CHADWICK, Andrew; MORFETT, John. **Hidráulica em engenharia civil e ambiental**. Lisboa: Instituto Piaget, c 1998. 675p.

DONHA, Annelissa G; SOUZA, Luiz C. de P; SUGAMOSTO, Maria L. Determinação da Fragilidade Ambiental Utilizando Técnicas de Suporte à Decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, V. 10, n. 1, p. 175-181, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662006000100026>. Acesso em: junho de 2014.

ELEUTHÉRIO DA LUZ, Constantino. **Tendências Granulométricas dos Sedimentos de Fundo no Rio Marrecas, Região Sudoeste do Paraná**. 2011. 76 p. Dissertação de Mestrado em Geografia. UNIOESTE – Universidade do Oeste do Paraná. Francisco Beltrão, 2011.

FERREIRA GOMES, Luís M. et al. **Estudos Hidrogeoambientais com Objectivo a uma Nova Unidade Termal em Santa Comba Dão**. CONGRESSO DA ÁGUA: ÁGUA, SEDE DE SUSTENTABILIDADE!, 8, 2006, Figueira da Foz. Disponível em: <http://deca.ubi.pt/arquivo/fg_artigos/textos/Agua_e_o_Ambiente/2006_8CongAgua_Paper177-StaCombaDao.pdf>. Acesso em: maio de 2014.

GARCIA, Joaquin Ignacio Bonnacarrère; PAIVA, EMCD. Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia do Arroio Cancela-RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 4, p. 99-108, 2006.

GLOBALGEO. Global Mapper. 2014. Disponível em: <<http://www.globalgeo.com.br/global-mapper/>>. Acesso em: julho de 2014.

GRIBIN, John E. **Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 494 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/2379E>>. Acesso em: junho de 2014.

JHA, Abhas K.; BLOCH, Robin; LAMOND, Jessica. **Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century**. World Bank Publications, 2012.

JÚNIOR, José Edson Falcão de Farias; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. **Análise Comparativa do Tempo de Concentração: um estudo de caso na bacia do rio cônego, município de Nova Friburgo/RJ**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19. Maceió, 2011.

MARQUES, David M. L. da Motta; TUCCI, Carlos E. M. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2001. V. 2.

MONI SILVA, Ana P. **Elaboração de Manchas de Inundação para o Município de Itajubá, Utilizando SIG**. 2006.105 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia, UNIFEI. Itajubá, 2006.

MONI SILVA, Ana P; BARBOSA, Alexandre, A. **Validação da Função Mancha de Inundação do SPRING**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.21.46.50/doc/5499-5505.pdf>>. Acesso em: Junho de 2014.

OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; WEHR, T.R.; BORGES, L.B.; SARMENTO, P.H.L.; GRILBER, N. P. **Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidades no estado de Goiás e Distrito Federal**. Pesquisa Agropecuária Tropical, 35(1), p.13-18, 2005. Disponível em:

<<https://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/2277>>. Acesso em 10 de maio de 2014.

POMPÊO, Cesar Augusto. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000.

PORTO, Rubem La Laina; FILHO, KamelZahed; SILVA, Ricardo Martins. **Medição de Vazão e Curva-Chave**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2001.

SILVA, João Paulo Pacheco. **Mapeamento de inundações no Brasil: proposta de gestão ambiental através de um sistema de informações geográficas**. SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNESP RIO CLARO: “Teorias e Metodologias da Geografia: tendências e perspectivas”, 9, Rio Claro. Anais do IX Seminário de Pós-Graduação em Geografia da UNESP Rio Claro, Rio Claro, p. 861-873, 2009. Disponível em: <<http://sites.google.com/site/seminarioposgeo/anais>>. Acesso em: julho de 2014.

SISTEMA brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA, Serviço de Produção da Informação, 2006. 306 p.

SPRING – **Sistema de Processamento e Informações Georreferenciadas**. 2014. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/>>. Acesso em: abril de 2014.

SULEIMAN, Hélio César; BARBASSA, Ademir Paceli. **Mapeamento preliminar de áreas urbanas de inundação**. REVISTA CIÊNCIA & ENGENHARIA. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia – UFU. 2005, V. 14, n. 2. p. 51-58. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/cieng/article/view/545/2689>>. Acesso em: junho de 2014.

TUCCI, Carlos E. M. **Inundações urbanas**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2007. 389 p. (coleção ABRH de Recursos hídricos; v.11).