

MAPEAMENTO DOS COLAPSOS E SUBSIDÊNCIAS DO SOLO EM TERESINA - PI

**Maria Tereza BARRADAS (1); Érico GOMES (2); Aécio, CARVALHO(3); Carla Iamara
VIEIRA(4)**

(1) IFPI, Praça da Liberdade, 1597 Centro, (86)3215-5208, e-mail: terezabarradas@hotmail.com

(2) IFPI, Praça da Liberdade, 1597 Centro, (86)3215-5208, e-mail: ericorg@uol.com.br

(3) IFPI, Praça da Liberdade, 1597 Centro, (86)3215-5208, e-mail: aecio.cargo@gmail.com

(4) IFPI, Praça da Liberdade, 1597 Centro, (86)3215-5208, e-mail: iamara06@hotmail.com.

RESUMO

O município de Teresina está localizado na Bacia Sedimentar do Parnaíba, sobre rochas sedimentares integrantes das Formações Piauí, Pedra de Fogo e sedimentos recentes. Predomina na zona urbana de Teresina a ocorrência de litotipos da Formação Pedra de Fogo, que é constituída de arenitos, siltitos, argilitos, margas, sillexitos e lentes de calcários. Os calcários e margas da Formação Pedra de Fogo são suscetíveis de sofrerem dissolução e podem estar condicionando os processos de colapso e subsidência que ocorrem de forma ampla, na região central de Teresina. Devido a cidade apresentar um histórico de problemas relacionados à afundamentos de terreno, foi elaborado o SIG com finalidade de consistir em base de dados inicial para futuramente agregar a demais estudos e possivelmente entender dos processos geradores dos afundamentos, que ocorrem em Teresina para poder identificar os setores de riscos. O SIG ArcGIS foi utilizado como ferramenta de apoio para o desenvolvimento da metodologia do trabalho sendo considerado como um dos principais softwares desenvolvidos para a realização de mapeamento, dando o poder de visualizar, explorar, examinar e analisar dados geograficamente. Após a elaboração da aplicação, foi possível realizar consultas a partir de tabelas de atributos, além da elaboração de mapas temáticos que comprovaram a influência da exploração de água subterrânea, da infiltração de águas superficiais e/ou vazamentos de rede de abastecimento de água e da urbanização, na ocorrência de colapso ou subsidência do solo ou rocha.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica, Formação pedra de fogo, ambientes cársticos

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Teresina desenvolveu-se principalmente sobre rochas sedimentares incluídas na Formação Pedra de Fogo (Permiano), que consiste de horizontes alternados de arenitos médios a finos com estratificação cruzada, níveis descontínuos de silexito e horizontes carbonáticos. Na base da Formação Pedra de Fogo, ocorrem os arenitos brandos, caulíníticos finos, que são muito friáveis (PIMENTEL, 2008). Os sedimentos carbonáticos dessa Formação são suscetíveis a processos de dissolução e podem estar condicionando os processos de colapso que ocorrem de forma ampla, na região central da cidade de Teresina.

Vestena (2002) cita como exemplo as cidades brasileiras de Cajamar (SP), Sete Lagoas (MG), Almirante Tamandaré (PR) e Colombo (PR) que sofreram afundamentos cársticos, tendo o rebaixamento do nível freático como um dos fatores que desencadeou o processo de colapso/subsidência de solo, em que foi agravado pelo desconhecimento das características e grandeza da exploração de água subterrânea.

Através da utilização das tecnologias do Geoprocessamento e do SIG é possível mapear e reconhecer as áreas de ocorrência dos desabamentos em Teresina, identificar se as áreas abauladas estão interligadas dentro de uma mesma formação geológica e diagnosticar os possíveis riscos que elas podem trazer.

A aplicação do Geoprocessamento permitirá a obtenção de um banco de dados contendo todos os dados relevantes de todos os afundamentos ocorridos, garantindo uma rapidez na obtenção da informação e uma visão precisa da distribuição dos eventos, sendo de grande auxílio na tomada de decisão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Geoprocessamento

O Geoprocessamento é um conjunto de tecnologias destinadas à coleta, processamento, análise e disponibilização de informação com referência geográfica. Visando produção de informação e ganho de conhecimento acerca de um determinado assunto.

O objetivo principal do Geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas determinem as evoluções espaciais e temporais de um fenômeno geográfico e as inter-relações entre diferentes fenômenos (INPE, 1998).

2.2 Sistema de Informação Geográfica

A informação geográfica se relaciona a locais específicos, possuindo um sistema de referência ou localização espacial através de um sistema de coordenadas. Este processo resultou no desenvolvimento e evolução de sistemas que ficaram conhecidos como SIG (MIRANDA, 2005).

O SIG processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) enfocando análises espaciais e modelagens de superfícies. Associado às representações cartográficas, armazena informações descritivas em um banco de dados. Desta forma, um dado geográfico é constituído por uma localização geográfica (coordenadas) e atributos associados a ele.

Pode ser usado por empresas de telecomunicações, pode auxiliar na avaliação de impactos ambientais, contaminação de aquíferos e solo, processos de desertificação, erosão, e muitos outros (MIRANDA, 2005). Aplica-se também no setor de transporte, agricultura, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias.

2.3 Geologia Local

O As unidades geológicas da Bacia Sedimentar do Parnaíba que afloram na área da cidade de Teresina são as Formações Piauí e Pedra de Fogo, pertencentes ao Grupo Balsas.

A Formação Piauí possui, entre outras, a sucessão inferior, composta de arenitos cor-de-rosa, médios, maciços ou com estratificação cruzada e intercalações de folhelho vermelho, e a superior, formada de arenitos vermelhos, amarelos, finos a médios, contendo intercalações de folhelhos vermelhos, calcários e finas camadas de sílex. Siltitos e lentes conglomeráticas também ocorrem. Essa unidade pertencente ao período permiano (VAZ ET AL., 2007).

A unidade geológica da Bacia Sedimentar do Parnaíba de maior expressão geográfica é a Formação Pedra de Fogo. É basicamente constituída por uma alternância de silexitos, calcários, arenitos e siltitos, que afloram

com frequência nos topos dos baixos planaltos e nas encostas mais escarpadas (rampa ou aclave de terrenos) do relevo local, sob a forma de relevo ondulado originando morros de bordas íngremes ou escarpadas (Correia Filho, 1997).

2.4 Ambientes Cársticos

São caracterizados pela dissolução das rochas carbonáticas, sendo que estas constituem o principal material de origem das áreas cársticas, em razão de sua natureza para desenvolver feições de dissolução. Também pode ser formado por evaporitos e margas. Texeira *et al.* (2001) descrevem que a dissolução dessas rochas é causada pelas águas subterrâneas. Entre as rochas mais favoráveis à carstificação encontram-se as carbonáticas (calcários, margas, mármore e dolomitos).

As águas de chuva (H_2O) interagem com o gás carbônico (CO_2) do ar produzindo um ácido fraco, o ácido carbônico (H_2CO_3). Essas águas assim levemente acidificadas, ao encontrar um maciço calcário fraturado, penetram por essas discontinuidades e vão lentamente, através do tempo geológico, dissolvendo a rocha e produzindo vazios que podem evoluir para grandes fendas, cavernas e canais por onde fluem as águas interiores (GUERRA, 2007).

Os colapsos e subsidências (figura 1) de solo e rocha são decorrentes da evolução dos relevos cársticos, do grau de dissolução da rocha e da evolução de cavidades no subsolo. Para Texeira *et al.* (2001) os colapsos da superfície ocorrem devido ao abatimento do teto de cavernas ou outras cavidades em profundidade. A subsidência do terreno é lenta, enquanto que os colapsos são rápidos.

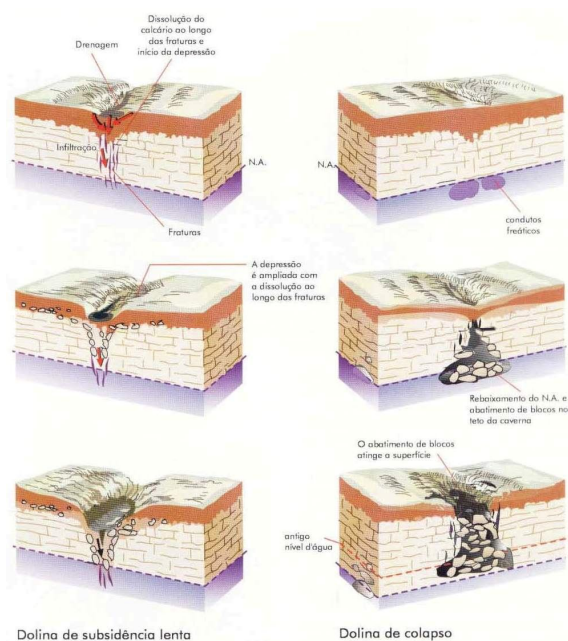


Figura 1 – Subsidências e colapso de solo. Fonte: Texeira *et al.* (2001)

As consequências principais do uso e da ocupação desordenada de áreas cársticas são: as mudanças rápidas nos regimes hidrológicos superficiais e subterrâneos (desaparecimento de fontes, diminuição na vazão dos cursos de água, inundações), impermeabilização do solo, vibrações (indução dos acidentes geotécnicos - subsidências e colapso de solo e rocha), poluição rápida do aquífero, entre outros. Assim, os problemas de colapso e subsidência em áreas cársticas podem ocorrer tanto sob condições naturais da evolução da morfologia cárstica, como podem ser acelerados pelas atividades antrópicas (VESTENA, 2002).

A extração de água subterrânea em áreas urbanizadas ocasiona o rebaixamento do nível d'água que é um dos principais fatores da aceleração de subsidências e colapsos, a partir da evolução de cavidades do solo. Texeira *et al.* (2001) destacam que um dos processos que desencadela o abatimento de cavidades em profundidade é a perda da sustentação que a água subterrânea exerce sobre as paredes dos vazios, pelo rebaixamento do nível freático.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

Este trabalho foi realizado em Teresina, capital do Estado do Piauí, localizada à margem do Parnaíba, possuindo uma área de 1.756 km², população de 802.537 habitantes e coordenada de 05°05'21,16''S e 42°48'05,86'' (IBGE, 2009).

3.2 Trabalho de campo

Na pesquisa de campo foi realizada a coleta de coordenadas dos locais, onde ocorreram os afundamentos, e de informações a respeito dos danos e descrição de como aconteceu. Foi utilizando o GPS 76 Garmin, que pode proporcionar uma acurácia de até 3 metros.

Também foi utilizado o DATUM WGS84 que atualmente é compatível com o SIRGAS2000, Sendo que o SIRGAS 2000 está passando por um período de transição até que seja exigido por lei em todos os projetos.

3.3 Definição do software a ser utilizado

O ArcGIS é um SIG que tem como função fazer a interação de dados espaciais de diversas fontes em um ambiente gráfico, ou seja, gerar mapas para responder perguntas previamente escolhidas. Suas potencialidades como SIG abrange os procedimentos adequados para a visualização, exploração e análise de informação espacial (PARKINSON, 2009).

O ArcGIS usa modelos de dados de SIG para representar a geografia e provê todas as ferramentas necessárias para criar e trabalhar com o dados geográficos. Isto inclui ferramentas para todas as tarefas de SIG: editando e automatizando dados, mapeando cartograficamente tarefas, administrando dados, realizando análise geográfica, administrando dados avançados e desenvolvendo dados e aplicações na Internet.

3.4 Desenvolvimento do projeto

A partir dos dados de campo, foram definidos quais os tipos de feições e atributos seriam utilizados para serem relacionados com os dados espaciais. Foram montadas tabelas, no *excel*, dos afundamentos com identificador dos pontos, coordenadas, processo de como ocorreu os abalos, localização, danos, descrição e fonte de informação.

No ArcGIS o foco está numa base de dados relacional, identificada como *personal geodatabases*. O modelo de armazenamento *personal geodatabases* está baseado no modelo relacional padrão de tabelas e informação de atributos. Um *feature dataset* é uma coleção de *feature classes* com topologias e relações espaciais definidas pelo usuário, que são armazenadas dentro do *personal geodatabases* (figura 2).

Algumas vantagens de um Geodatabase:

- gerenciamento de dados GIS centralizado;
- topologia flexível, baseada em regras;
- edição de dados mais precisa;
- anotações ligadas a feições;
- feições personalizadas (é possível determinar o nome da feição, seu tipo de geometria, o número de atributos, o tipo e o valor padrão associado a cada atributo, as informações principais para exibição no mapa, a escala de visualização e a simbologia relacionada a cada faixa de escalas)
- controle de Versões.
- evita erros de incompatibilidade de feições com datum e sistema de referência diferentes.

Primeiramente é necessário que seja definido o sistema de projeção e o DATUM no projeto, para em seguida inserir a tabela dos afundamentos que foi georreferenciada. A partir dessa tabela é gerado um *feature class* de pontos, “Afundamentos”, que se encontra dentro do *dataset* “Mapeamento”, sendo especificada sua referência espacial. Através dos dados do IBGE, e utilizando a ferramenta *clip*, foi possível delimitar a área urbana de Teresina que serviu de base para definir as outras *features*, como geologia e poços tubulares da

base de dados do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS, 2006), ambos disponibilizados pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

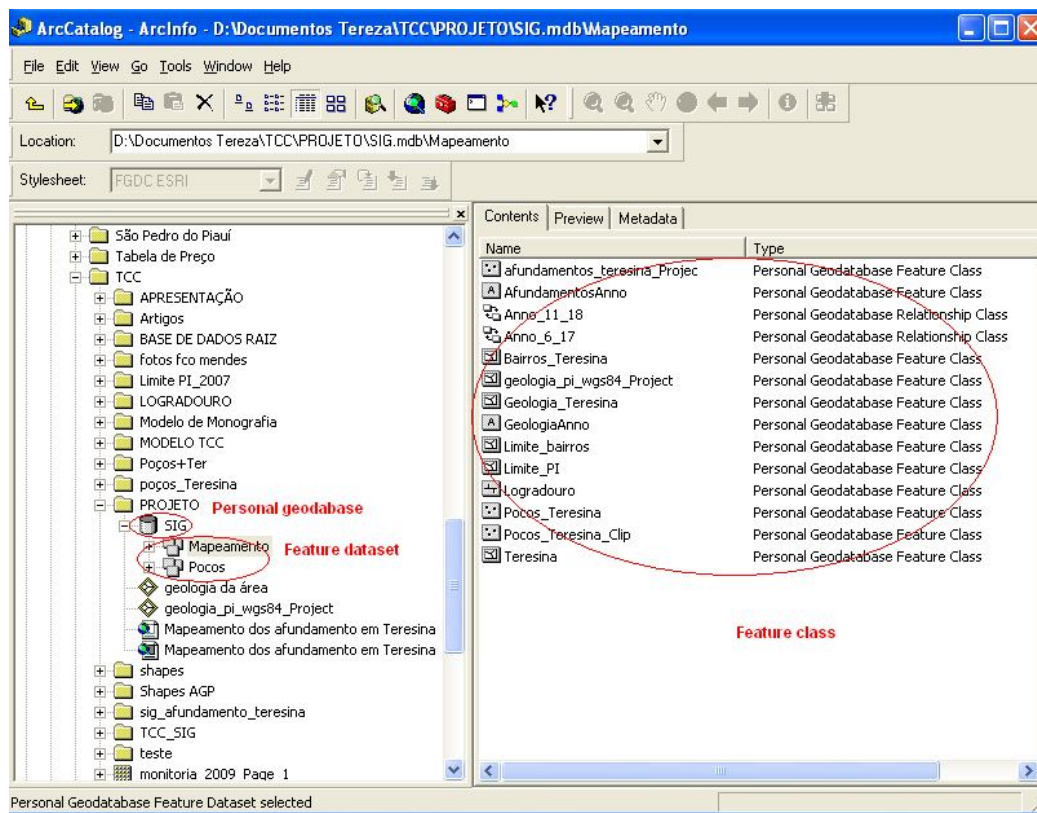


Figura 2 – organização do geodatabase

Em seguida foram definidas as simbologias, as *data frames* que iriam complementar o mapa e a escala que proporcione uma melhor visualização, no caso, 1:50.000, assim é foi possível transformar os *labels* em *Annotations*. Como outras classes de feição, a *feature* anotação tem atributos, elas podem ser associadas a uma referência espacial, fixadas de acordo com a escala definida e são listadas na tabela de conteúdos do ArcMap como uma camada.

Depois de construída a informação geográfica pretendida é necessário a criação de uma saída gráfica que mostre aquilo a que foi proposto no início do trabalho, ou seja, definir o *layout* do mapa.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos quinze pontos descritos, quatorze estão associados à perfuração de poços para o abastecimento de água, sendo relatados pelos técnicos que, na época dos acontecimentos trabalhavam em empresas de sondagens para água subterrânea. Esses técnicos tinham lembrança dos locais e dos problemas construtivos vivenciados durante a perfuração de poços, com a ocorrência de colapsos de solo, tombamento e afundamento da sonda, rachaduras de construções, ruas e esvaziamento de piscinas.

Foram também relatados problemas ocorridos durante a execução e manobras de sondagem, tais como, queda livre da composição, perda da água de perfuração, perda da lama de perfuração, entre outros problemas.

Assim, incluindo os locais onde ocorreram problemas na execução de poços tubulares, dois eventos de afundamento de terreno merecem destaque; o primeiro, ocorrido em 1999 na rua Simplicio Mendes (foto 1) e o mais recente ocorrido em 31 de julho de 2008, na rua Francisco Mendes (fotografia 2). Esse último evento causou apenas danos materiais, tendo em vista a sua ocorrência no período noturno. O local mais afetado foi o prédio da APAE onde funciona uma creche, cujos banheiros e sala de aula foram danificados, além da queda do muro da instituição.



Fotografia 1 - Rua Simplício Mendes, 1999 (PIMENTEL, 2008).



Fotografia 2 – Casa com rachaduras na rua Francisco Mendes, 2008 (Fonte: arquivo CREA-PI).

5 CONCLUSÃO

Através do mapa geológico, é possível constatar que Teresina desenvolveu-se principalmente sobre rochas sedimentares pertencentes à Formação Pedra de Fogo (anexo 1).

A ação dos esforços tectônicos pode originar fraturas que deixam espaços significativos no subsolo, muitas vezes imperceptíveis por estarem parcialmente preenchidos por sedimentos e recobertos pelo solo e construções. Nesses espaços vazios podem acontecer infiltrações lentas ou aceleradas, dependendo do tipo de solo.

A ocorrência de afundamentos de terreno na forma de subsidência ou colapso relacionado com a evolução de cavidades no subsolo se inclui como mais um dos problemas geotécnicos influenciado pelo processo de urbanização acelerada. Esses problemas também são ocasionados por mal de ocupação de áreas de risco à inundação, invasão de áreas de preservação permanente e ocorrência de processos erosivos.

A exploração de água subterrânea de forma intensa e prolongada, a infiltração de águas superficiais e/ou vazamentos de rede de abastecimento de água e a urbanização acelerada e sem planejamento, consistem nos principais fatores da deflagração e evolução de cavidades que, por colapso ou subsidência do solo ou rocha, podem refletir na superfície na forma de afundamentos.

Para que não ocorram mais desastres é necessário que algumas medidas sejam tomadas:

- mapeamento e reconhecimento das características geotécnicas das ocorrências de carstes e setorização de riscos.

- diagnostico das reais causas geotectônicas de cada afundamento já ocorrido na cidade;
- classificação das áreas de maior ou menor risco;
- cadastramento de poços tubulares, monitoramento do bombeamento das águas subterrâneas (definição das profundidades limites e seguras para evitar o rebaixamento do nível dos lençóis freáticos);
- saneamento básico das águas superficiais e esgotos;
- estudo geofísico da área, em que é possível investigar a estrutura das formações rochosas, avaliar a estabilidade do solo, localizar lençóis de água e visualizar com precisão, o local e a profundidade onde se encontra a água subterrânea;
- fiscalização e disciplinamento para uso e ocupação do solo (construções civis e abastecimento de água).

REFERÊNCIAS

CORREIA FILHO, F. L. **Projeto Avaliação de Depósitos Minerais para a Construção Civil PI/MA**. Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 1997.

CREA-PI. [Sem título]. 2008. 2 fotografias, color., 640 × 480 mm.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **SIAGAS**: Sistema de Informação de Águas Subterrâneas. Disponível em: <www.cprm.gov.br>. Acesso em: jan./jun. 2006.

GERRA, A. J. T. G.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 7.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Barasil, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE: **Cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 10 dez. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. INPE. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2. Ed. São Paulo: INPE, 2008.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Brasília: Embrapa, 2005.

PARKINSON, J.; PARRISH, J; RAMSETH, B. **Análise Avançado com ArcGIS**. Tradução de Imagem. ESRI, 2009.

PIMENTEL, J. **Contribuição para o Entendimento dos Processos de Colapso e Subsidência de Solo em Teresina**. CPRM - Serviço Geológico do Brasil – DEGET/DHT, 2008.

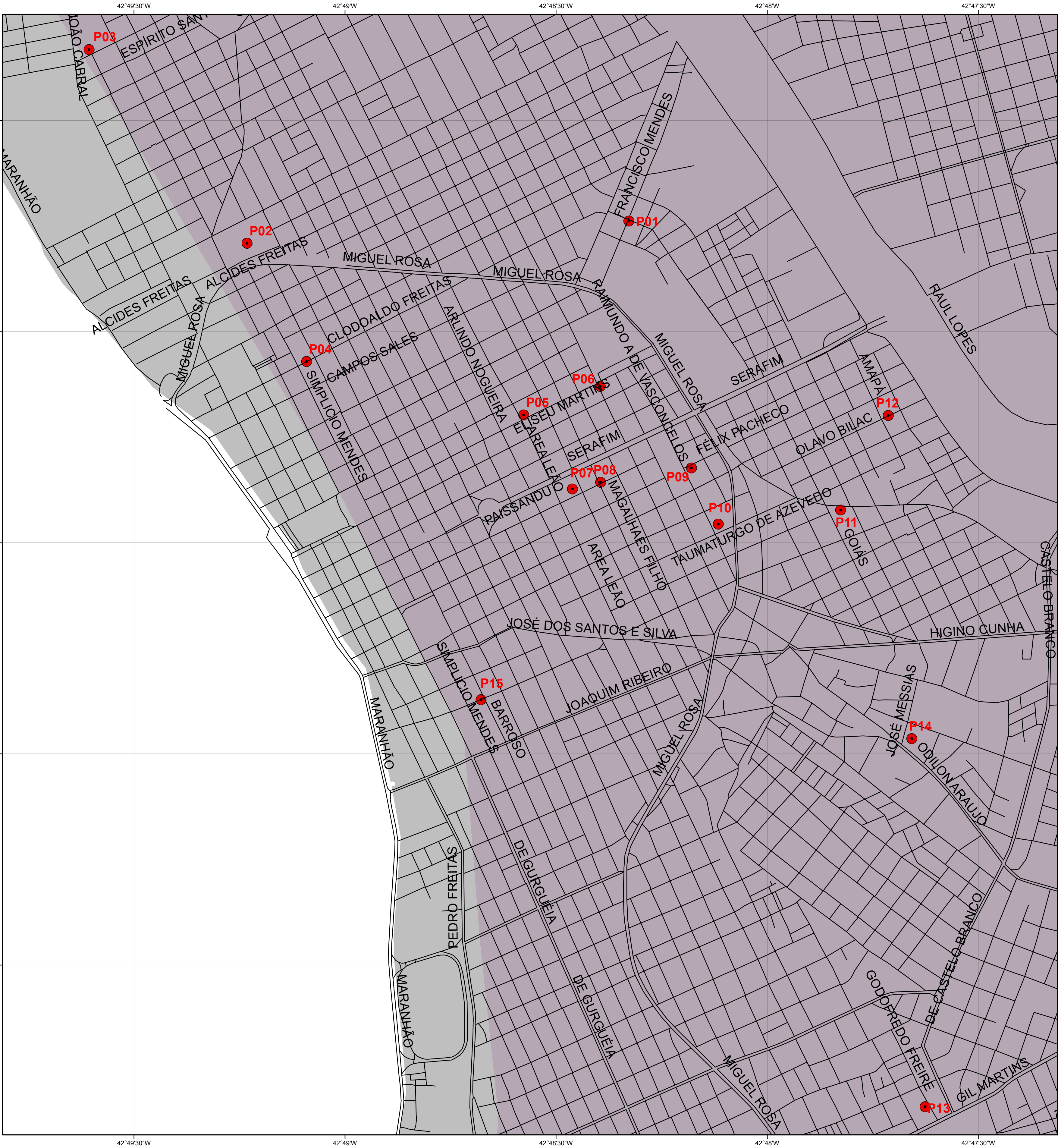
TEIXEIRA, W. *et al.* **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2001.

VAZ. P. T. *et. al.* **Bacia do Parnaíba**. Petrobras, Rio de Janeiro, 2007. v. 15, n. 2, p. 253-263.

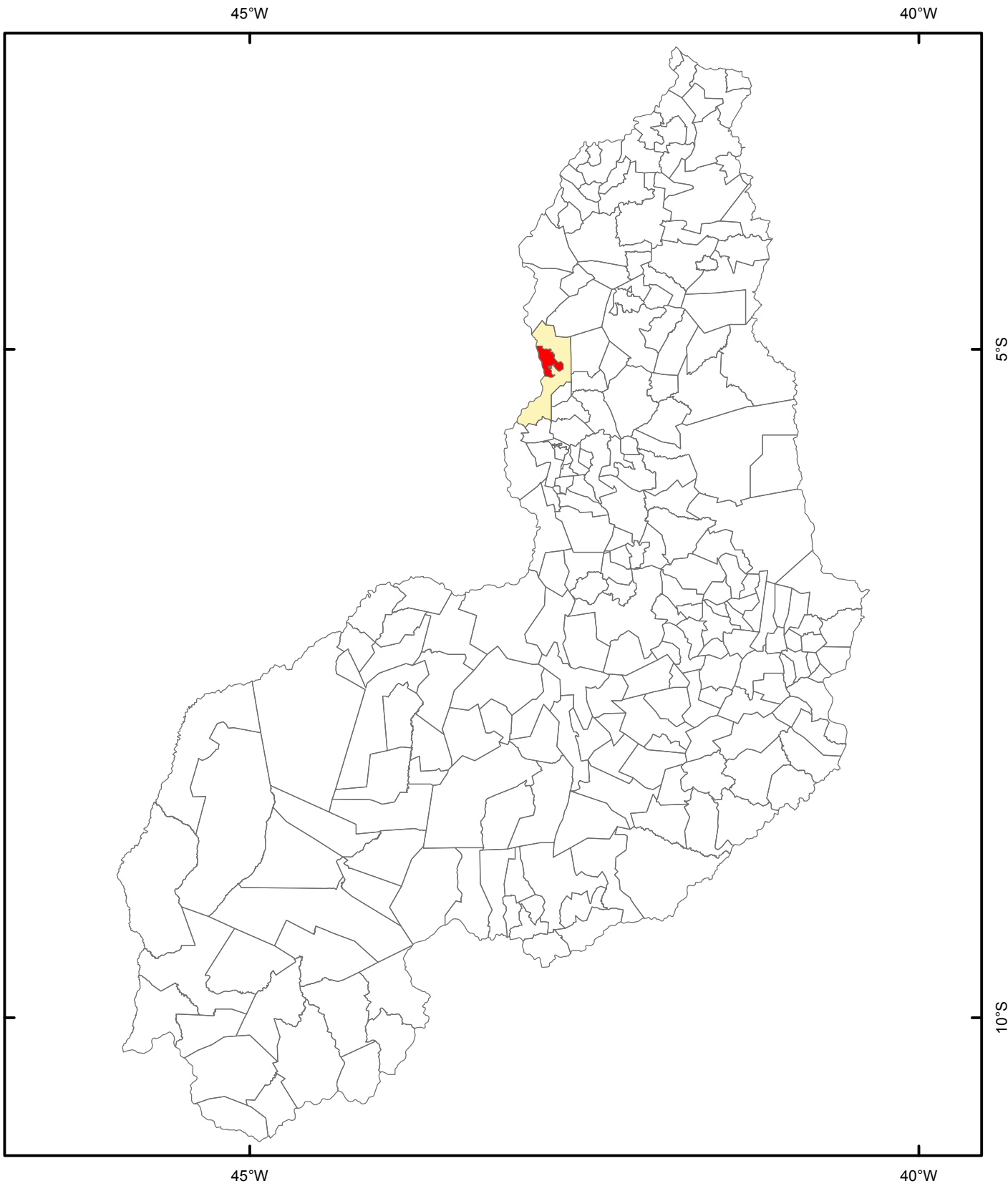
VESTENA, L. R.; KOBIYAMA, M.; SANTOS, L J. C. **Considerações Sobre Gestão Ambiental em Áreas Carste**. RA' EGA (UFPR), v. 4, n. 6, p. 81-94, 2002.

ANEXO

PONTOS DE AFUNDAMENTO DO SOLO EM TERESINA - PI



MAPA DE LOCALIZAÇÃO



LEGENDA

- Afundamentos
- Logradouros
- Área urbana
- Teresina
- Piauí
- C2pi - Formação Piauí
- P12pf - Formação Pedra de Fogo



Escala: 1:10.000

Sistema de Projeção Geográfica
Datum: WGS84