

# GEOTECNOLOGIAS NA DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE À OCORRÊNCIA DE VAZAMENTOS EM REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Vanessa Amadi Barros RAUEN<sup>1</sup>, Carlos Henrique GROHMANN<sup>2</sup>,  
Sidney Schaberle GOVEIA<sup>2</sup>, Camila Leonardo MIOTO<sup>3</sup>, Leandro Bonfietti MARINI<sup>3</sup>,  
Antonio Conceição PARANHOS FILHO<sup>3</sup>, Márcio Henrique de Toledo ALMEIDA<sup>1</sup>

- (1) Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Guarulhos. Avenida Emilio Ribas, 1247, Bairro Gopouva, CEP 07020-010. Guarulhos – SP. Endereços eletrônicos: vanessaamadi@gmail.com; marcioohenri@terra.com.br.  
(2) Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências, Rua do Lago, São Paulo, São Paulo, Brasil. Endereços eletrônicos: guano@usp.br; sidneysgoveia@gmail.com.  
(3) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Laboratório de Geoprocessamento para Aplicações Ambientais, Unidade 7A, Cidade Universitária, s/n, 79070-900, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. Endereços eletrônicos: ea.mioto@gmail.com; leandrobolfietti@gmail.com; antonio.paranhos@pq.cnpq.br.

Introdução  
Materiais e Métodos  
Área de Estudo  
Dados Vetoriais  
Elaboração das Cartas Temáticas  
Resultados e Discussões  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências bibliográficas

**RESUMO:** Pretendeu-se com este trabalho elaborar cartas de vulnerabilidade para o Município de Guarulhos, visando elaborar um mapa que identifique áreas vulneráveis à ocorrência de vazamentos de água e auxiliar companhias de saneamento na definição de áreas prioritárias para o controle de vazamentos, bem como acidentes geológicos induzidos por estes. Os mapas foram elaborados pela metodologia de álgebra desenvolvida em ambiente SIG, através da definição de fatores desencadeantes e seus respectivos pesos conforme a influência na deflagração dos eventos estudados. Para a análise da vulnerabilidade à ocorrência de vazamentos da rede de abastecimento de água foram utilizados na álgebra de mapas os fatores de idade, pressão da rede e número de manutenções recorrentes. Os maiores valores ocorreram nas redes que já haviam sofrido manutenções recorrentes, porém ao lançarmos no mapa os acidentes geológicos que foram levantados, estes estiveram associados a áreas de alta ou média vulnerabilidades. Portanto, pode-se concluir que os demais fatores analisados (idade e pressão) tiveram maior influência na deflagração desses eventos. Assim é possível concluir que a metodologia aplicada mostrou-se satisfatória aos objetivos propostos. Salienta-se que a metodologia pode ser integralmente desenvolvida em programas livres e gratuitos de SIG, facilitando desta maneira o acesso por órgãos públicos.

**Palavras-chave:** geotecnologias, álgebra de mapas, saneamento, Guarulhos.

**ABSTRACT:** The objective of this research is to develop maps of vulnerability for the city of Guarulhos, to identify vulnerable areas to spillage and help sanitations companies to define priority areas for leakage control and also the occurrence of geological accidents induced by these. The maps were produced using the methodology of map algebra developed in GIS environment, in which triggering factors and their respective weights were defined as the influence on the outbreak of the studied events. For the analysis of vulnerability to the occurrence of leaks in water supply network we used map algebra factors of age, network pressure and number of recurring maintenance. The highest vulnerability occurred in networks that had already suffered recurring maintenance, but as we launched to the map the geological accidents that were surveyed, these were associated with areas of high or medium vulnerabilities. Thus, it can be concluded that other factors analyzed (age and pressure) had greatest influence in the initiation of these events. Thereby it can be concluded that the methodology applied was satisfactory to the proposed objectives. It is important to mention that the methodology can be fully developed free programs in GIS, which facilitate the access to public agencies.

**Keywords:** Geotechnologies, Map Algebra, Sanitation, Guarulhos.

## INTRODUÇÃO

O ano de 2014 tornou-se memorável para os habitantes do Estado de São Paulo, já que os mesmos sofreram com a pior média pluviométrica para este período em 84 anos de monitoramento. A vazão afluyente ao Sistema Cantareira, responsável por abastecer mais de

oito milhões de pessoas na região metropolitana do Estado, foi 60% inferior ao menor valor registrado (ANA & DAAE, 2014).

A situação do Sistema Produtor Alto Tietê também se mostrou preocupante, ao passo que abastece aproximadamente quatro milhões de

pessoas e, em agosto do referido ano, apenas 16% de seu volume total estava disponível (SABESP, 2014).

Segundo a *International Water Association - IWA* (2002), as perdas em sistemas de abastecimento de água tornaram-se, neste século, a principal preocupação das companhias de saneamento, não só do Brasil, mas no mundo todo. O Brasil apresenta índice de atendimento de água superior a 80%, porém grande parcela da água tratada não chega às torneiras em função de perdas ao longo do sistema de distribuição. Estima-se que no ano de 2013, em média 37% do total da água tratada no Brasil foi perdida durante sua distribuição (SNIS, 2014).

Dentro deste cenário e tendo como realidade global a escassez hídrica, trabalhar com o controle de vazamentos de água torna-se essencial para garantir a sustentabilidade dos sistemas de abastecimento, de forma que, ao combater vazamentos, assegura-se que maior porcentagem da água que entra no sistema possa chegar até o usuário final.

Assim, através do estudo para redução das perdas físicas é possível minimizar os impactos causados pelos vazamentos e rompimentos de tubulações, diminuindo os custos de produção da água tratada - mediante redução do consumo de energia, de produtos químicos e outros - mitigando as consequências dessas perdas sobre o meio físico (Silva, 1998).

Em Guarulhos, o grande número de manutenção de vazamentos identificados pelo SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto) acontece principalmente devido (Savino & Francisco, 2005):

- À ocorrência de locais com pressões elevadas acima da capacidade de resistência das tubulações;
- À intermitência no abastecimento, ocasionando vazamento por fadiga, pois as redes de distribuição ficam vazias por um período e no outro são pressurizadas, muitas vezes com pressões elevadas para atingir o pleno abastecimento;
- Aos acidentes causados por escavações ou por cargas excessivas que solicitam o

pavimento em determinado trecho de rede;

- À execução de curvas e conexões sem ancoragem apropriada;
- Ao assentamento inadequado de tubulações;
- À demora na manobra de registros, causada pela deficiência ou inacessibilidade aos mesmos, ou por atraso no atendimento;
- Às falhas inerentes aos materiais das tubulações;
- À ausência, limitação ou falha no sistema de monitoramento de pressões/vazões e outros parâmetros hidráulicos, tais como nível em reservatórios, em pontos estratégicos, para uma operação eficiente e segura da malha de adução e distribuição de água.

Desde 2005, a instituição tem se mobilizado para diminuir as perdas de água no sistema e conseguiu evoluir de aproximadamente 56% para 35% em 2013 (SNIS, 2014). As ações têm se concentrado, principalmente, em melhorar a qualidade das instalações pelo maior rigor no acompanhamento de obras e manutenções, controle do sistema de abastecimento pela telemetria, diminuição do tempo de manutenção de vazamentos e diminuição de pressões elevadas na rede.

Nesse sentido, a adoção de técnicas computacionais auxilia na tomada de decisões, por meio de um melhor planejamento de ações, gerenciamento e operacionalização dos sistemas de abastecimento de água, pelo fato de antecipar (através das simulações) o comportamento do sistema, cooperando para diminuir o impacto causado pelas perdas de água.

Portanto, objetivou-se neste trabalho verificar áreas suscetíveis à ocorrência de vazamentos de água na rede de abastecimento do Município de Guarulhos, estado de São Paulo, de modo a contribuir para a identificação de áreas prioritárias, tanto para o controle de vazamentos, quanto para acidentes induzidos por estes. Para a realização desta atividade, foram empregadas geotecnologias, como cartas temáticas, dados vetoriais e álgebra de mapas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

O Município de Guarulhos localiza-se no setor nordeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), distando, aproximadamente, 17

km da capital. Sua área é de 319 km<sup>2</sup>, abrigando uma população superior a 1,2 milhões de habitantes, o que o torna o segundo município paulista em população (Figura 1).

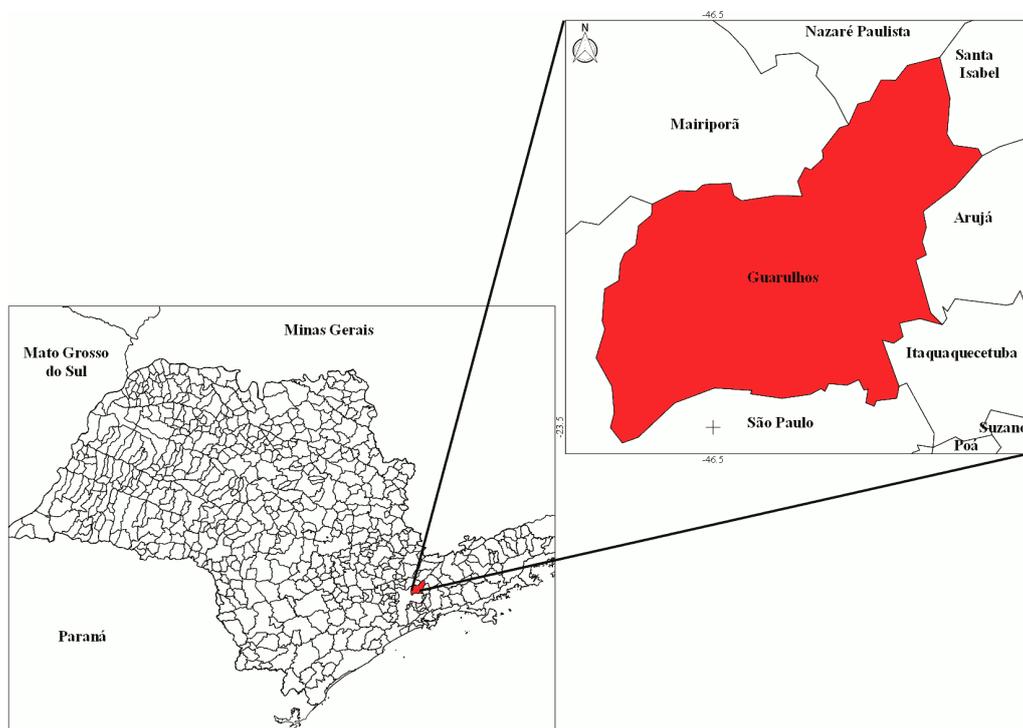


Figura 1. Localização Guarulhos.

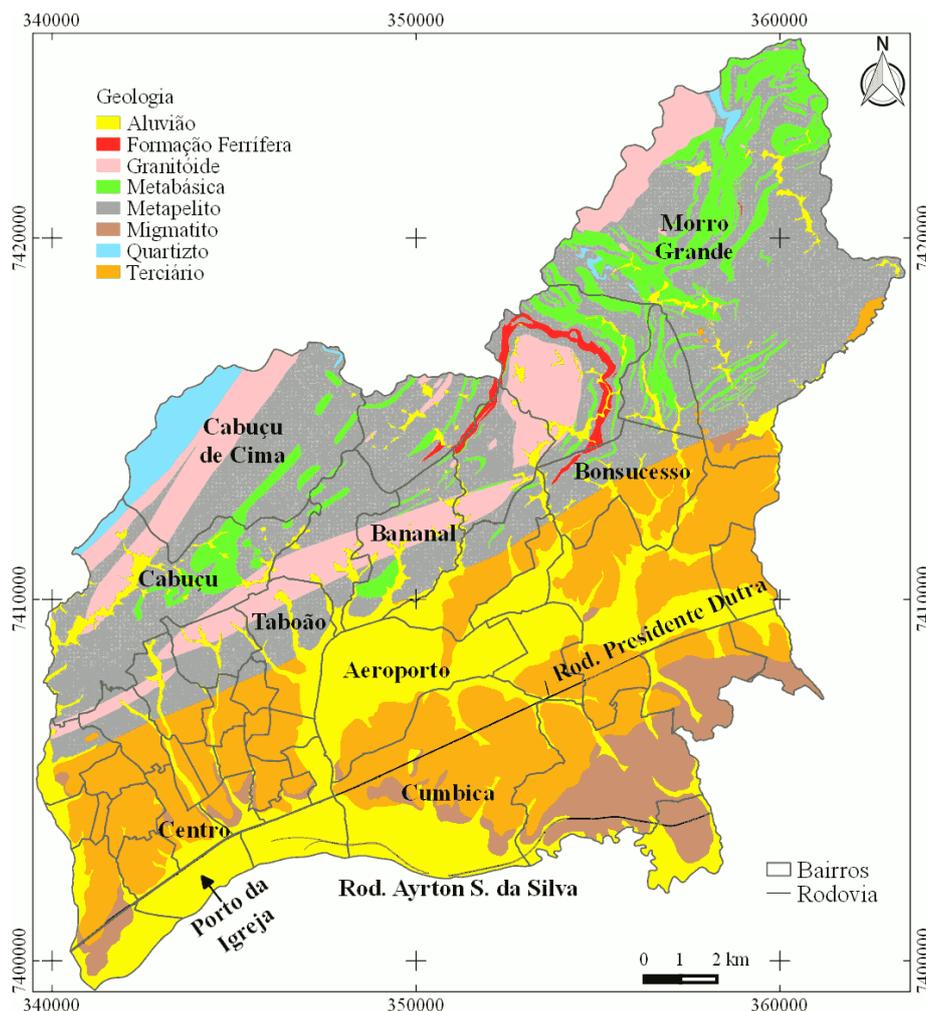
Em relação às características naturais, tem-se que o Município de Guarulhos está contido em duas grandes unidades geológicas: embasamento cristalino de idade Pré-cambriana e sedimentos Terciários e Quaternários pertencentes à Bacia de São Paulo (Figura 2).

A principal estrutura existente no município é a Falha do Rio Jaguari, transcorrente, posicionada ao centro do território, com direção SW-NE, que expressa claramente a formação do graben da Bacia de São Paulo, que indica um limite nítido entre os terrenos predominantemente cristalinos, Pré-cambrianos, que formam um horst a norte associado ao Domínio São Roque e um graben a sul associado ao Domínio Embu.

Em relação aos aspectos de declividade, tem-se que valores superiores a 60% encontram-se principalmente na região norte, por ser uma região serrana, sendo classificada

como declividade forte ondulada (Figura 3). Na região central do município, têm-se declividades variando de plana a ondulada.

O abastecimento de água no município é realizado pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), o qual foi criado em 30 de junho de 1967 sob a forma de autarquia municipal, com personalidade jurídica de direito público. A vazão média de distribuição é de 4,165 m<sup>3</sup>/s, de acordo com os dados coletados em janeiro de 2012, referentes ao ano de 2011. O índice de atendimento é de 98%, abastecendo em torno de 345 mil ligações. As tubulações do sistema são predominantemente de ferro fundido e PVC, havendo também uma pequena quantidade de outros materiais, como o polietileno de alta densidade (PEAD) (SAAE, 2014).



**Figura 2.** Mapa Geológico de Guarulhos (adaptado de Oliveira et al., 2009). Há um contato abrupto entre as rochas Cenozoicas que constituem a Planície Costeira e as rochas Pré-cambrianas que suportam o relevo da Serra do Mar no município.

O sistema possui cerca de 2.200 km de redes, 23 centros de reservação e mais de 50 unidades de bombeamento (estações elevatórias e *boosters*). Do total da vazão distribuída, 3,636 m<sup>3</sup>/s (87%) são importados da Sabesp e 0,529 m<sup>3</sup>/s (13%) produzidos com recursos hídricos provenientes de fontes próprias do SAAE. Entretanto, o município sofre ainda com a insuficiência de recursos hídricos, agravada pelo alto índice de perdas de água no sistema (PMG, 2012).

Assim sendo, o município recorre ao sistema de rodízio de água (interrupções programadas no fornecimento) para atender toda a população, o que provoca intermitência na rede e, por conseguinte, agrava o problema de vazamentos devido a grande variação de

pressão na rede, que aumenta os esforços na parede da tubulação.

### Dados vetoriais

Neste trabalho, para a identificação das áreas suscetíveis a vazamentos, foram utilizados dados de pressão máxima na rede, idade de instalação das tubulações e recorrência de manutenções. Estes dados foram apontados por técnicos da autarquia como sendo algumas das principais causas de rompimentos de tubulações no município.

Com o intuito de validar os resultados e auxiliar na análise dos mapas finais levantaram-se junto ao SAAE Guarulhos acidentes geológicos enquadrados nos eventos estudados.

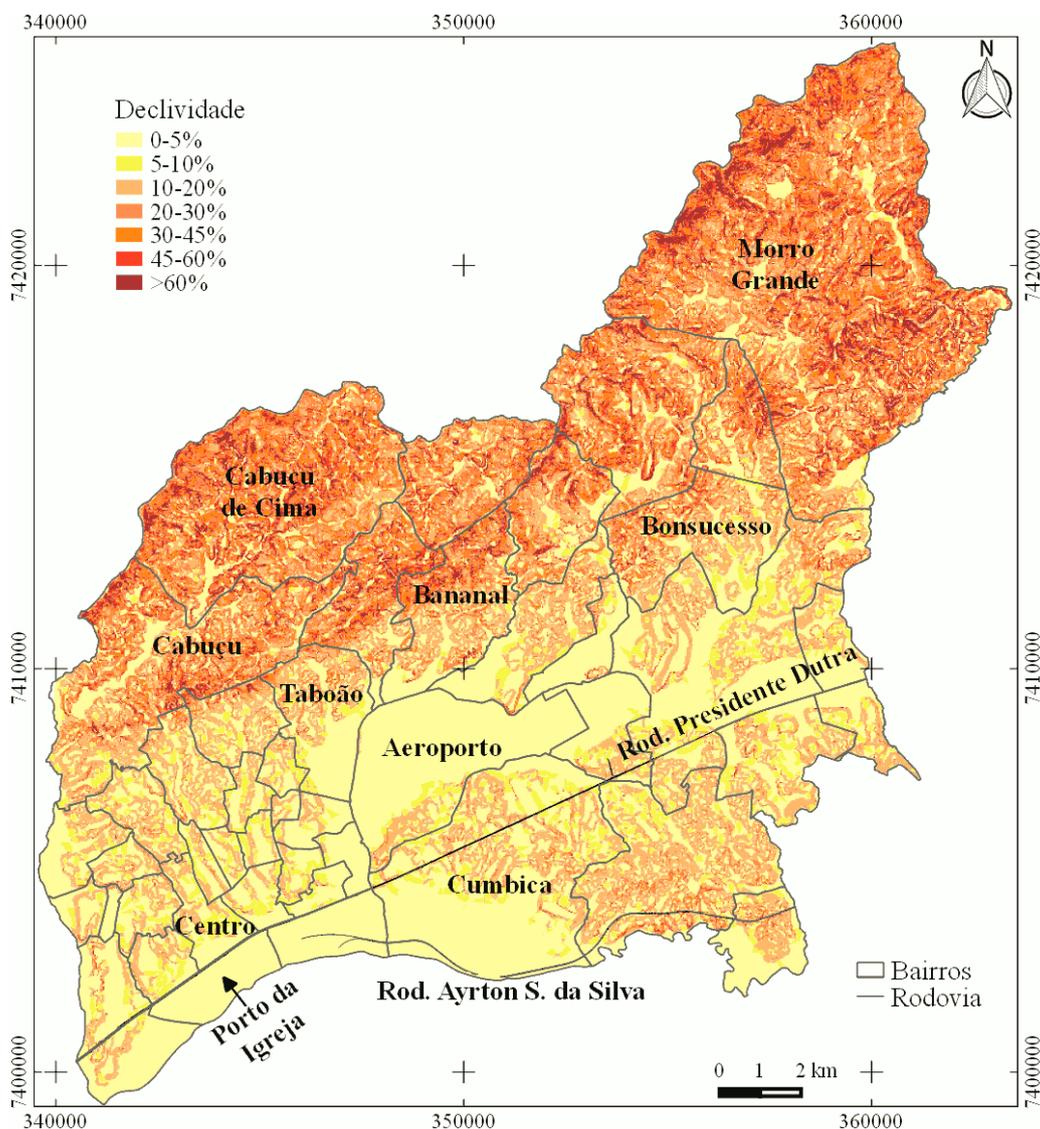


Figura 3. Mapa de declividade de Guarulhos (adaptado de Oliveira et al., 2009). As altas declividades se concentram na região serrana ao norte.

### Elaboração das cartas temáticas

A partir dos dados vetoriais, geraram-se as cartas temáticas, as quais serviram de parâmetros para a realização da álgebra de mapas, onde cada fator de cada carta teve um peso atribuído, de acordo com sua importância à ocorrência de vazamentos.

Assim, para a identificação da vulnerabilidade à ocorrência de vazamentos foi realizado o somatório dos pesos de idade e manutenção da rede, com intuito de atribuir maior valor de vulnerabilidade às redes que já haviam sofrido manutenções.

Após a elaboração deste mapa prévio com os valores de idade e manutenção, foram acrescentadas à álgebra de mapas as informações de pressão simulada do município através da malha de polígonos Voronoi e assim

foi realizada a média aritmética para identificação das classes de vulnerabilidade.

A equação a seguir ilustra a operação realizada:

$$\frac{(Idade + Manutenções) + Pressão}{2}$$

Em seguida, o valor resultante dos pesos foi distribuído em 5 classes de vulnerabilidade:

- Muito baixa (de 1,2 a 1,8 de vulnerabilidade).
- Baixa (de 1,8 a 2,4 de vulnerabilidade).
- Média (de 2,4 a 3,0 de vulnerabilidade).
- Alta (de 3,0 a 3,6 de vulnerabilidade).
- Muito alta (maior ou igual a 3,7 de vulnerabilidade).

Com estes valores elaborou-se o mapa de vulnerabilidade à ocorrência de vazamentos na

rede de abastecimento de água do Município de Guarulhos.

### **Pressão na rede**

Os dados de pressão na rede foram obtidos pelos estudos desenvolvidos para o SAAE de Guarulhos de modelagem hidráulica da rede – “Estudos e projetos de implantação das Zonas de Medição e Controle (ZMCs)” (SAAE, 2008). Através do mesmo foram gerados diversos modelos que representam a rede de abastecimento de água do município por meio de trechos (que representam as tubulações) ligados a nós e demais dispositivos da rede (reservatórios, bombas e válvulas).

Com esses modelos foram realizadas simulações pelas quais é possível obter informações da carga hidráulica nos nós e vazões nos trechos ao longo do dia, que são alterados conforme a variação de consumo. Foram efetuadas simulações para todos os setores de abastecimento de água de Guarulhos no instante de menor consumo (que ocorre geralmente durante à noite), onde se obtém as maiores pressões nas redes de distribuição devido ao menor consumo e à menor perda de carga nas mesmas.

Os modelos foram então simulados por meio do *software* WaterCAD V8i (Bentley

WaterCAD, 2010) e foram gerados valores de pressão para cada nó que foram exportados para o formato *shapefile*, a fim de serem utilizados na álgebra de mapas em SIG (sistema de informação geográfica).

A partir dos pontos gerados, criou-se um Diagrama de Voronoi no *software* Quantum GIS 2.0 (QGIS Development Team, 2013), para representar as áreas de influência de cada um dos pontos de pressão. Os polígonos Voronoi são gerados de forma automática e constituem uma técnica para definição de áreas de influência, de tal forma que as bordas de polígonos adjacentes encontram-se equidistantes de seus respectivos pontos geradores (no caso os nós do modelo hidráulico da rede) (Rezende et al., 2000).

Para a redução de vazamentos, o SAAE tem como objetivo a redução da pressão em até 35 mca (equivalente a 350 KPa). Desta forma, admitiu-se o peso máximo para valores acima desta meta (Tabela 1). A pressão mínima determinada por norma NBR 12218/1994 é de 10 mca (100 KPa) na entrada do hidrômetro, portanto definiu-se o menor peso para 15 mca (150 KPa), valor satisfatório de pressão para atendimento dos usuários.

**Tabela 1.** Pesos estabelecidos para cada classe de pressão.

Classes	Pesos
Abaixo de 15 mca	1,2
De 15 a 35 mca	2,0
Acima de 35 mca	3,0

### **Faixa etária da tubulação**

Dentre os principais fatores que influenciam as perdas físicas nas redes de distribuição de água está a condição física da infraestrutura, que inclui o fator de idade da rede. Após a instalação da tubulação, com o decorrer dos anos esses tubos são atacados por fenômenos de natureza química relativa aos minerais presentes na água ou presentes no solo.

Assim, Azevedo Neto et al. (1998) evidenciam que, em uma tubulação de ferro fundido, por exemplo, podem surgir reentrâncias (devido à corrosão) ou protuberâncias, conhecidas como “tubérculos”. Outra situação comumente encontrada é a deposição progressiva de substâncias contidas

nas águas e formação de camadas aderentes, incrustações, que ocorrem em casos de águas muito duras, com teores elevados de certas impurezas, sendo o mais comum a deposição progressiva de cálcio em águas calcáreas. Essas condições agravam-se com o tempo, contribuindo para o aumento de vazamentos.

Para este trabalho, os dados de idade da rede foram retirados do estudo de “Serviços Técnicos de Engenharia para Atuar no Controle e Redução de Perdas do Sistema de Abastecimento de Água de Guarulhos” (SAAE, 2012) (Tabela 2). O levantamento dos dados de idade da rede realizado neste estudo considerou os dados contidos no Sistema de Informação Geográfica (SIG) do SAAE.

**Tabela 2.** Faixa etária das redes x extensão – Município de Guarulhos. Fonte: SAAE (2012).

<b>Faixa etária das redes</b>	<b>Extensão (km)</b>	<b>%</b>
Até 05 anos	88,80	3,94
06 a 10 anos	218,57	9,69
11 a 15 anos	194,27	8,61
16 a 20 anos	292,57	12,97
21 a 25 anos	225,23	9,99
26 a 30 anos	229,33	10,17
31 a 35 anos	144,97	6,43
36 a 40 anos	60,25	2,67
Acima de 40 anos	14,22	0,63
Idade não informada	788,95	34,90
<b>Total</b>	<b>2.255,16</b>	<b>100</b>

Para o estabelecimento dos pesos, considerou-se o peso máximo para as redes com idade acima de 20 anos, devido às características operacionais do sistema de distribuição de água de Guarulhos (pressões elevadas e intermitência no abastecimento), que

contribuem para diminuir a vida útil das tubulações.

Para as redes sem informação foi considerado o peso máximo também, já que são consideradas as redes mais antigas e sem cadastro (Tabela 3).

**Tabela 3.** Valores estabelecidos para as faixas etárias da rede de água.

<b>Classes</b>	<b>Pesos</b>	<b>Classes</b>	<b>Pesos</b>
01 a 05 anos	1,2	26 a 30 anos	3
06 a 10 anos	2	31 a 35 anos	3
11 a 15 anos	2,5	36 a 40 anos	3
16 a 20 anos	2,8	Acima de 40 anos	3
21 a 25 anos	3	Sem informação	3

### ***Manutenções recorrentes***

Considerando-se que as perdas reais no sistema de distribuição de água são constituídas basicamente por vazamentos nas paredes de tubulações, conexões e seus acessórios, a análise de manutenções recorrentes torna-se importante para estabelecer áreas vulneráveis à ocorrência de vazamentos.

A avaliação dos eventos de manutenção em redes do SAAE foi elaborada a partir do relatório fornecido pela companhia: “Serviços Técnicos de Engenharia para Atuar no Controle e Redução de Perdas do Sistema de

Abastecimento de Água de Guarulhos” (SAAE, 2012).

O levantamento destes eventos foi realizado a partir do banco de dados da autarquia, utilizado na gestão dos serviços de manutenção. Para isto, especializaram-se, por meio dos eixos de logradouros, os eventos de manutenção recorrentes de redes.

A Tabela 4 ilustra os valores estabelecidos para a vulnerabilidade das faixas de manutenção. O peso máximo foi atribuído para as redes que possuíam acima de quatro eventos de manutenção, pois indicam redes com maior propensão à ocorrência de vazamentos.

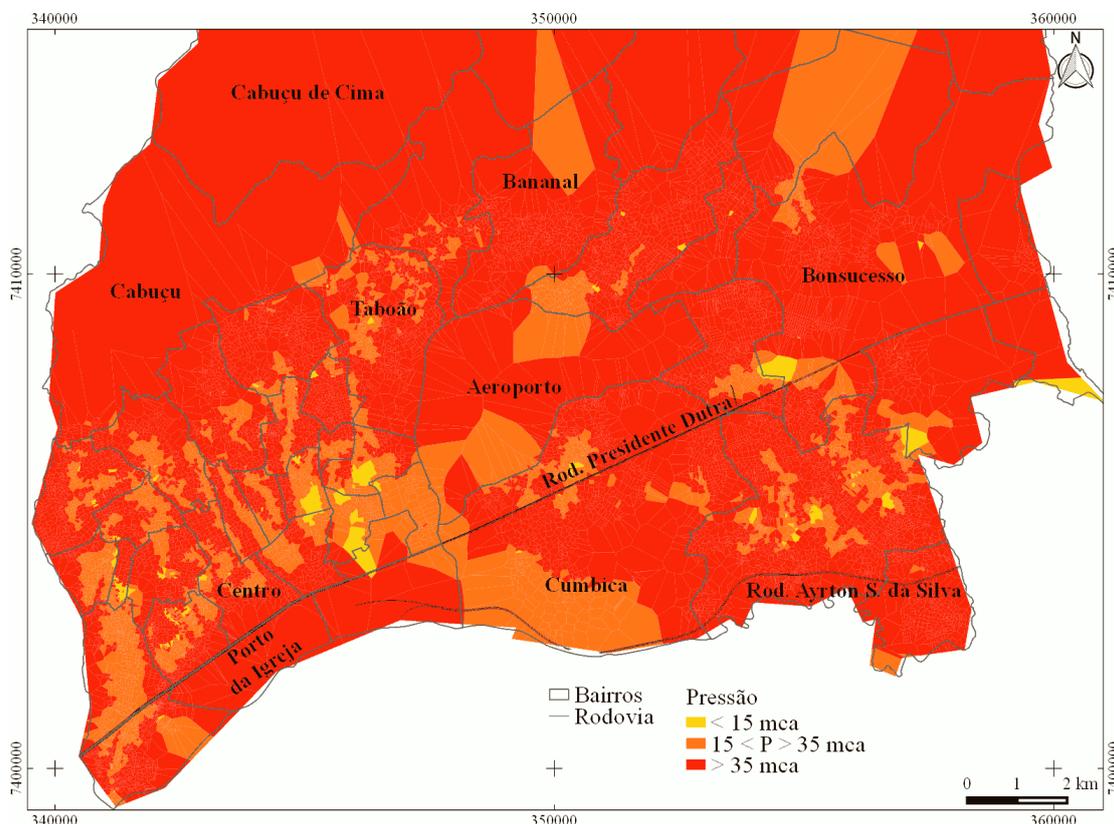
**Tabela 4.** Pesos estabelecidos para as faixas de manutenção na rede.

<b>Classes</b>	<b>Pesos</b>
01 a 03 manutenções	2
Acima de 04 manutenções	3

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Diagrama de Voronoi obtido através do Quantum GIS 2.0 (QGIS Development Team, 2013) e que representa as áreas de influência de cada um dos pontos de pressão é apresentado na

Figura 4. Nota-se que a maior parte do município encontra-se com valores de pressão acima de 35 mca.



**Figura 4.** Diagramas de Voronoi dos valores de pressão para o Município de Guarulhos. Nota-se que na maior parte do município a pressão é maior que 35 mca.

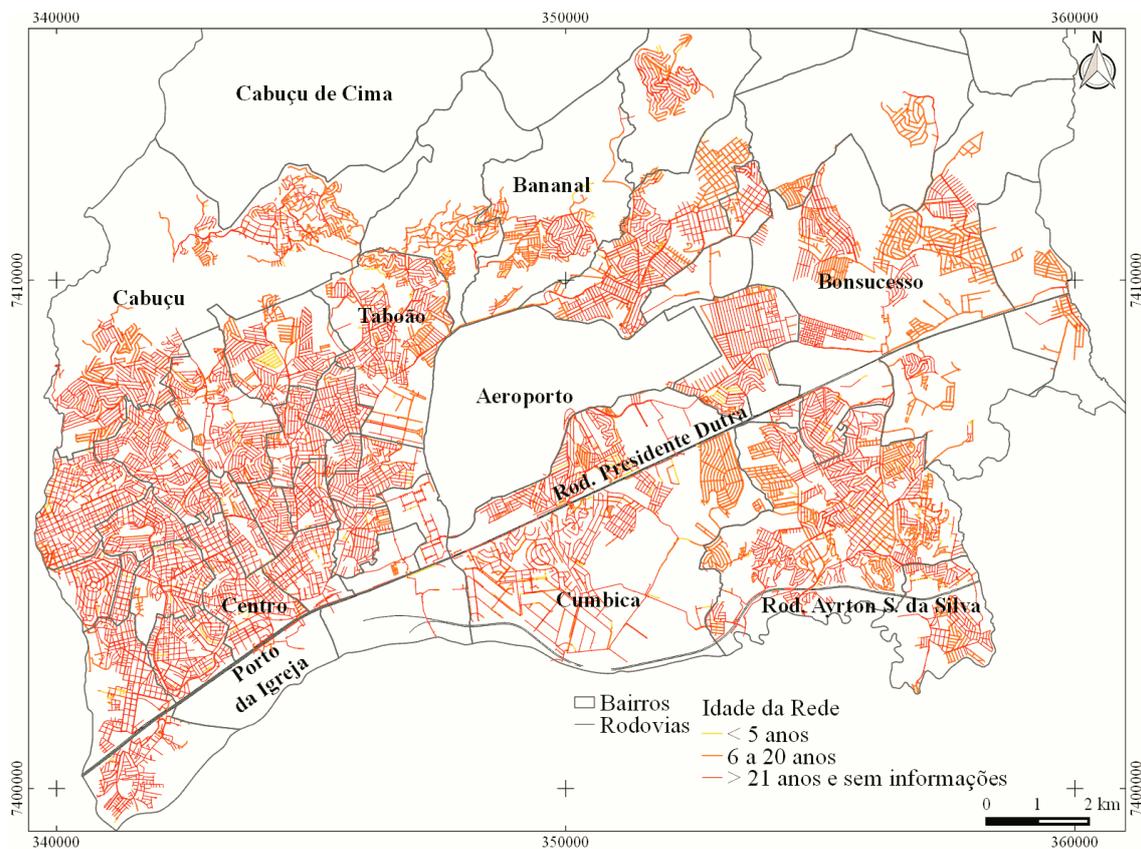
Quanto à questão da influência da pressão na ocorrência de quebras salienta-se que com o passar dos anos a maioria dos setores de abastecimento tiveram várias mudanças nos seus limites. Portanto, a situação das pressões atuais em muitos casos é bem diferente das situações de anos atrás. O processo de instalação intensiva de válvulas redutoras de pressão é relativamente recente, ou seja, a grande parte das tubulações já estava operando há mais de 30 anos. Desta forma o modelo representa uma situação de pior caso quanto aos valores de pressão.

Em relação às redes, tem-se que em Guarulhos as redes mais antigas encontram-se na região central do município pelo fato de ser a primeira área a ser urbanizada, sendo a região a concentrar também a maioria das redes sem

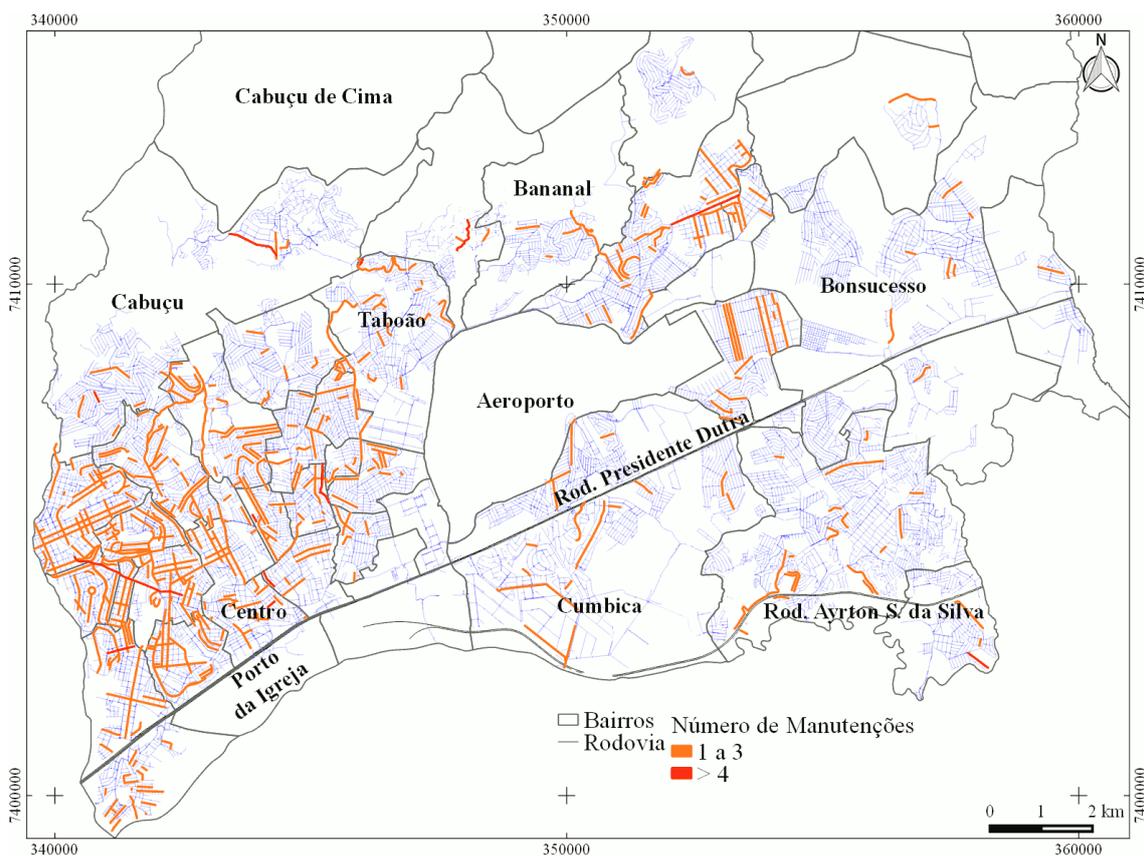
informação de idade (Figura 5). Esse fato ocorre em função dessas redes antigas não terem sido cadastradas e por isso não haver informação disponível no Sistema de Informação Geográfica do SAAE.

A carta de distribuição do número de manutenções na rede de distribuição de água do SAAE de Guarulhos é apresentada na Figura 6.

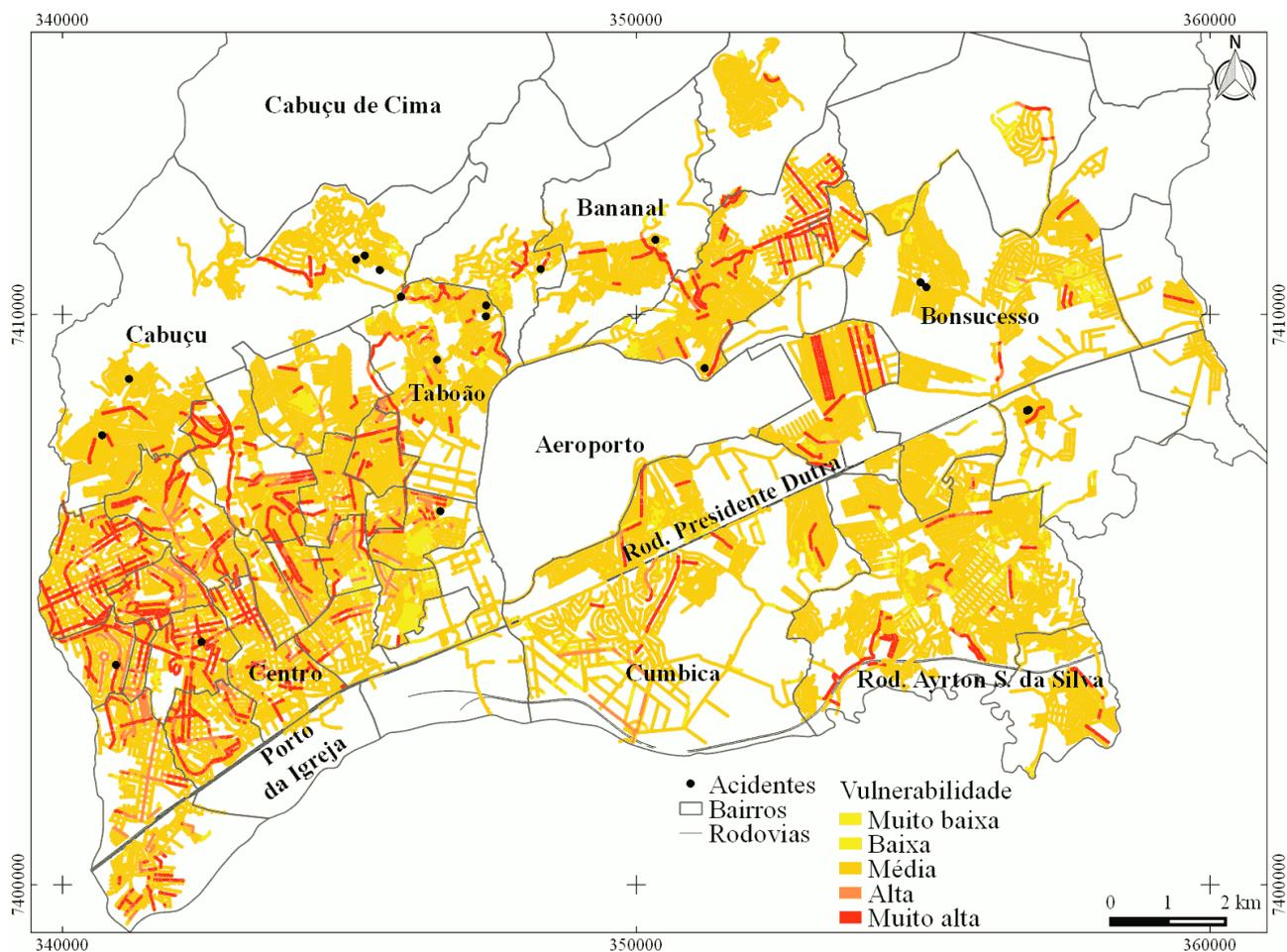
Por fim, a carta de vulnerabilidade à ocorrência de vazamentos é apresentada na Figura 7, juntamente com os eventos de acidentes geológicos levantados no município. Pela análise do mapa gerado, identifica-se que a maior parte das redes com vulnerabilidade alta e muito alta encontra-se na região central, área onde se deu inicialmente a urbanização do município.



**Figura 5.** Distribuição das faixas etárias da rede de água de Guarulhos. Percebe-se que grande parte da tubulação não possui informações quanto à idade.



**Figura 6.** Espacialização do número de manutenções na rede de distribuição de água em Guarulhos.



**Figura 7.** Carta de vulnerabilidade à ocorrência de vazamentos na tubulação de distribuição de água do Município de Guarulhos, SP. É interessante destacar que os casos aqui descritos referentes ao Município de Guarulhos foram retirados de processos administrativos de sinistros abertos dentro do SAAE para ressarcimento de danos causados aos cidadãos.

Assim, tem-se vulnerabilidade alta a vazamentos em áreas onde a infraestrutura começou a ser instalada e, portanto, onde a rede de abastecimento é mais antiga. O grande percentual de redes na classe de média

suscetibilidade se deu pelo fato dessas redes ainda não terem sofrido manutenções recorrentes e possuírem pressões elevadas (Tabela 5).

**Tabela 5.** Valores encontrados para cada classe de vulnerabilidade à ocorrência de vazamentos.

Redes- Suscetibilidades a Vazamentos	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
Muito baixa	1	2
Baixa	10	10
Média	70	74
Alta	5	5
Muito alta	8	9
<b>Total</b>	<b>93.9</b>	<b>100</b>

Pela análise do mapa gerado, nota-se que a maioria dos acidentes ocorreu em áreas de média vulnerabilidade (bairros Cabuçu e Taboão), influenciados principalmente pelas altas pressões da rede geradas em função de ser uma área abastecida por meio de bombeamento,

pelo fato de ser uma região com altas declividades, característica predominante da região ao norte.

Ao se analisarem os acidentes que ocorreram nesta área, notam-se que possuem a tipologia de movimentos de massa, ilustrados nas Figuras 8

e 9 de acidentes que ocorreram nestas áreas ao norte do município.

O acidente comprometeu dois imóveis no Parque Continental, bairro situado ao norte de Guarulhos, próximo ao bairro do Cabuçú. A Figura 8 mostra o local da ocorrência de

vazamento na rua e grande trinca na base da escada, que indica o movimento do solo. Oliveira et al. (2009) afirma que o bairro está entre as ocupações com maiores incidências de risco a escorregamentos.



**Figura 8.** Local do rompimento da rede de abastecimento de água e comprometimento de imóvel próximo. Fonte: SAAE Guarulhos.

O bairro do Recreio de São Jorge é reconhecidamente problemático quanto ao risco de escorregamentos (Gomes, 2008; Uzan, 2008) aliado ao fato da idade da tubulação de

água existente ter sido instalada há mais de 20 anos, provocou um acidente que comprometeu dois imóveis em maio de 2013 (Figura 9).



**Figura 9.** Movimentação do solo em imóvel no Recreio São Jorge, Guarulhos. Fonte: SAAE Guarulhos.

## CONCLUSÕES

O emprego das geotecnologias na realização de análises ambientais vem crescendo cada vez mais, principalmente por se mostrarem excelentes ferramentas no auxílio à tomada de decisão e por permitirem a utilização de dados de diversas fontes e formatos. Desse modo, a aplicação das geotecnologias pode atuar como

suporte para a formação de medidas de intervenção, recuperação e prevenção de danos ambientais, propiciando melhores formas de explorar o ambiente em que se vive, de modo a diminuir os impactos causados e prevenir impactos futuros.

A análise da carta de vulnerabilidade à ocorrência de vazamentos permite concluir que as redes com maior vulnerabilidade foram determinadas principalmente pelo fator de manutenções recorrentes. A maioria dos casos de acidentes levantados encontra-se em redes com vulnerabilidade média, demonstrando que os demais fatores (idade e pressão) têm maior influência na deflagração desses eventos. Além

disso, tem-se que a maior parte dos vazamentos ocorreu em locais de declividade média a alta encontradas na região norte do município.

Para trabalhos futuros é sugerido que a análise estenda-se a outros fatores que propiciam o aparecimento de vazamentos, como por exemplo, tipo de material da rede, intermitência do sistema e influência do tráfego.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto) de Guarulhos – SP. A CAPES pela bolsa de Doutorado de C. L. Mioto. Ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa (Processo 305300/2012-1) de A.C. Paranhos Filho e de C. H. Grohmann (Processo 306294/2012-5) e a de PIBIC de L. B. Marini.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA & DAAE. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS & DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Nota Conjunta ANA/DAEE. 2014. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/outorgaefiscalizacao/GTAGCantareira.aspx>>. Acessado em : 18ago2014.
2. AZEVEDO NETTO, J.M.; FERNANDES, M.F.; ARAUJO, R de.; ITO, A.E. Manual de Hidráulica. Editora: Edgard Blucher Ltda, 8ª Edição, São Paulo, 669 p., 1998.
3. BENTLEY WATERCAD V8i. Users Manual. Haestad Methods Inc. 2010.
4. GOMES, G L.C.C. Análise Geoambiental de áreas de risco a escorregamentos nos loteamentos do Recreio São Jorge e Novo Recreio, Município de Guarulhos – SP. Guarulhos, 2008. 97 p. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) - Centro de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão, Universidade Guarulhos.
5. IWA. International Water Association. Industry as a Partner for Sustainable Development. United Kingdom, 56 p. 2002. Disponível em: [http://www.ircwash.org/sites/default/files/IWA-2002-Water\\_0.pdf](http://www.ircwash.org/sites/default/files/IWA-2002-Water_0.pdf). Acessado em: 18ago2014.
6. OLIVEIRA, A.M.S.; ANDRADE, M.R. M.; SATO, S.E.; QUEIROZ, W. Bases Geoambientais para um Sistema de Informações Ambientais do Município de Guarulhos. Guarulhos: Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Guarulhos, v. 4, 178 p. 2009.
7. PMG. Prefeitura Municipal de Guarulhos. Plano Municipal de Água e Esgoto. 108 p., 2012. Disponível em: <http://www.saaeguarulhos.sp.gov.br:8081/Download/PMAE%20-%20C3%8DNTESE%20PUBLICA%20-%20FINAL%20-%20WORD%2097-2003.pdf>. Acessado em: 03set2014.
8. QGIS Development Team. Versão 2.0. 2013. Disponível em <http://qgis.osgeo.org>.
9. REZENDE, F.A.V.S.; ALMEIDA, R.M.V.; NOBRE, F.F. Diagramas de Voronoi para a definição de áreas de abrangência de hospitais públicos no Município do Rio de Janeiro. Caderno de Saúde Pública, v. 16, n. 2, p. 467-475, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/csp/v16n2/2096.pdf>. Acessado em: 03set2014.
10. SABESP. Situação dos mananciais. 2014. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br>>. Acessado em: 01ago2014.
11. SAVINO, R.H. & FRANCISCO, P.C. Prevenção e atendimento a sinistros ocorridos em decorrência do rompimento de adutoras, redes de distribuição, ramais de água e retorno de esgoto sanitário em residências. A experiência do serviço autônomo de água e esgoto de Guarulhos, SP. In: 35ª ASSEMBLÉIA NACIONAL DA ASSEMAE, 35. Belo Horizonte, 2005, 8 p. Disponível em: <http://servicos.semasa.sp.gov.br/admin/biblioteca/docs/PDF/35Assemae026.pdf>. Acessado em: 01ago2014.
12. SAAE. Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Guarulhos. Estudos e projetos de implantação das Zonas de Medição e Controle (ZMCs), 2008.
13. SAAE. Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Guarulhos. Serviços Técnicos de Engenharia para Atuar no Controle e Redução de Perdas do Sistema de Abastecimento de Água de Guarulhos, 2012.
14. SILVA, R.T. Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água. Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria de Política Urbana. Brasília, 1998.
15. SNIS. Sistema Nacional De Informações Sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Ministério das cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. 2014. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/>. Acessado em: 08ago2014.
16. UZAN, E.F. Questão de moradia: áreas de riscos naturais no Recreio de São Jorge e Novo Recreio, Guarulhos – SP. São Paulo, 2008. 122 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Disponível em: [http://www.sapiencia.pucsp.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=7753](http://www.sapiencia.pucsp.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=7753). Acessado em: 03set2014.

*Manuscrito recebido em: 28 de Setembro de 2015*

*Revisado e Aceito em: 15 de Abril de 2016*