

ANNA CAROLINA GASTMAIER MARQUES

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO DE UMA LAGOA NATURAL
EM ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP)
URBANA E A INFLUÊNCIA DOS NÍVEIS FREÁTICOS NAS
CONSTRUÇÕES**

Projeto de Pesquisa apresentado à Comissão do Trabalho de Formatura do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Unesp, Campus de Rio Claro, como parte das exigências para o cumprimento da disciplina Trabalho de Formatura no ano letivo de 2018”

Orientador: César Augusto Moreira

Rio Claro – SP

(2018)

ANNA CAROLINA GASTMAIER MARQUES

ESTUDO HIDROGEOLÓGICO DE UMA LAGOA
NATURAL EM ÁREA DE PRESERVAÇÃO
PERMANENTE (APP) URBANA E A INFLUÊNCIA
DOS NÍVEIS FREÁTICOS NAS CONSTRUÇÕES

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto
de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de
Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista
Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau
de Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. César Augusto Moreira (orientador)

Lívia Portes Innocenti Helene

Fernanda Teles Gomes Rosa

Rio Claro, 30 de NOVEMBRO de 2018

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

M357e

Marques, Anna Carolina Gastmaier

Estudo hidrogeológico de uma lagoa natural em área de preservação permanente (APP) urbana e a influência dos níveis freáticos nas construções / Anna Carolina Gastmaier Marques. -- Rio Claro, 2018

43 p. : il., tabs., fotos + 1 CD-ROM

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: César Augusto Moreira

1. impacto em construções. 2. lagoa natural. 3. eletrorresistividade. 4. geofísica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu orientador César Augusto Moreira por toda a paciência, dedicação e ajuda. Com toda a certeza fiz a escolha certa quando pedi sua orientação e aceitei a proposta para realização deste trabalho. Graças ao conhecimento compartilhado, descobri grande afinidade com a área de pesquisa.

A Renata Paes e Antônio Elton, agradeço por toda a ajuda e força nos trabalhos de campo.

Aos meus pais, Anna Maria e Manuel Agostinho, agradeço por todo o apoio e aos meus irmãos Jorge André e Irina, agradeço por, mesmo de longe, estarem sempre prontos para me ouvir, me darem tanta força e me ensinarem que as melhores aventuras da nossa vida acontecem quando saímos de nossa zona de conforto e só assim descobrimos nossos caminhos.

A melhor amiga que a Unesp me deu, Júlia Martins, agradeço por todos os momentos compartilhados e por ter sido, desde que nos conhecemos em 2014, minha principal companheira.

Ao Victor Seixas agradeço por todos esses anos que esteve comigo, me apoiando, me incentivando e sendo meu companheiro.

RESUMO

A urbanização e o crescimento desordenado de cidades provocam transformações no meio ambiente, na paisagem e nas estruturas hidrogeológicas, atingindo, por vezes, áreas ambientalmente sensíveis e vulneráveis. Este trabalho propõe a investigação da estrutura hidrogeológica do loteamento Santa Clara II, no município de Rio Claro (SP), partindo de uma lagoa natural central, caracterizada por legislação ambiental como Área de Preservação Permanente (APP). A caracterização da APP urbana de aquíferos suspensos permite diagnosticar os níveis de degradação ambiental e de preservação, assim como a vulnerabilidade de áreas de nível freático aflorante e raso e consequentes ocorrências de alagamentos intensificados pelos índices de compactação do solo. Por meio de ensaios de tomografia elétrica ao longo das principais ruas do residencial, foi realizada a obtenção de medidas de resistividade elétrica em diversas profundidades, sendo, este parâmetro físico, amplamente variável entre medidas em solos secos ou saturados. O estudo hidrogeológico a partir do processamento dos dados geofísicos proporciona a geração de seções e mapas de resistividade elétrica, produtos que integrados à análise de conservação da APP, permitem diagnosticar a influência da lagoa e do lençol freático raso nas construções do loteamento residencial.

Palavras-chave: impacto em construções, lagoa natural, eletrorresistividade, geofísica

ABSTRACT

The urbanization and the disorganized cities growth, results on environmental modification, landscape and hydrogeological structure, affecting environmentally sensitive and vulnerable areas. This study proposes the investigation of the hydrogeological structure of the residential lotissement Santa Clara II of Rio Claro (SP), based on a natural central lake, characterized by the environmental legislation as Permanent Preservation Area (PPA). Through electric tomography applied in the main streets in residential construction, the data measurement of electrical resistivity were collected at various depths, as these physical parameter extremely variable, indicating dry and water-saturated soil. The geophysical data processing provides electrical resistivity maps. The electrical resistivity maps and the conservation PPA analysis allows the influence diagnosis of the lake and shallow groundwater on buildings of the residential lotissement.

Keywords: construction impact, natural lake, eletroresistivity, geophysics

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS.....	10
3. LOCALIZAÇÃO E HISTÓRICO DA ÁREA	11
3.1. ASPECTOS CLIMÁTICOS.....	14
3.2. GEOLOGIA REGIONAL	15
3.3. HIDROGEOLOGIA	16
4. TAXA DE INFILTRAÇÃO E COBERTURA VEGETAL.....	18
5. VULNERABILIDADE DE AQUIFERO	20
6. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	22
7. MATERIAIS E MÉTODOS	23
7.1. ELETORRESISTIVIDADE	23
7.2. GEOFÍSICA APLICADA A ESTUDOS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	25
8. METODOLOGIA	28
9. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
11. REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

A ampliação acelerada e desordenada de áreas urbanas resulta em impactos ambientais com influência direta em Áreas de Preservação Permanente (APP), instituídas pelo Código Florestal de 2012 como áreas protegidas, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, o solo, a biodiversidade e o bem-estar das populações humanas. A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece um raio mínimo de cinquenta metros ao redor de nascentes, ainda que intermitentes e, ao redor de lagos e lagoas naturais, em metragem mínima de trinta metros, para as que estejam em áreas urbanas (BRASIL, 2002).

Apesar dos grandes avanços na legislação ambiental brasileira e na consciência ecológica, ainda é defasada a prática, devido a inexistência da demarcação oficial das APP. A demarcação destas áreas poderia evitar o licenciamento ambiental indevido e viabilizar a promoção efetiva da fiscalização ambiental, que hoje conta com a deficiência do Estado, em uma país de dimensões continentais (RIBEIRO *et al.*, 2005).

Identificar, localizar e quantificar Áreas de Preservação Permanente são tarefas importantes para subsidiar o planejamento urbano relacionado à ocupação e ao uso do solo (BARROS *et al.*, 2003). A organização do território e delimitação das APP no Plano Diretor, além da estruturação e publicação do zoneamento ecológico-econômico nos municípios, norteiam o planejamento de loteamentos e a expansão urbana, a fim de minimizar os impactos ambientais e sociais gerados pela edificação desordenada.

Uma zona fundamental para a preservação da qualidade da água e a diversificação de habitats em uma bacia hidrográfica é o ecossistema ripário que constitui uma interface entre o ambiente terrestre e o aquático. Esse ambiente é composto por fatores geológicos, climáticos, hidrológicos que em interação com os fatores bióticos definem uma heterogeneidade de ambientes (RODRIGUES, 2000). O ecossistema ripário é formado pelas matas ou florestas ciliares à corpos de água e nacionalmente protegido pelas APP.

Segundo Tucci (2003), países em desenvolvimento como o Brasil, realizam a urbanização e as obras de drenagem de forma insustentável, com grande impacto no ciclo hidrológico e hidrogeológicos, com supressão de áreas de recarga e de nascentes. A ocupação das áreas marginais, caracterizadas como APP, traz riscos a população e desencadeia inúmeros problemas ambientais, como a ocorrência de inundações, movimentos de massa, erosão e

assoreamento. Frederice *et al.* (2010) apresenta o diagnóstico ambiental como ferramenta de caracterização quanto a aspectos geológico-geotécnicos para essas áreas.

A caracterização do meio físico decorrente de estudos de geologia relacionados ao ambiente urbano surge da necessidade de planejar a ocupação e o uso do território de modo a garantir o bem-estar social das comunidades e o pleno desenvolvimento de suas atividades econômicas e culturais (OLIVEIRA, 1996).

A integração de dados de caracterização da APP e do estudo hidrogeológico visa a caracterização do impacto mútuo decorrente da construção em áreas de nível freático raso, a partir do diagnóstico de preservação ambiental da área de estudos e o levantamento hidrogeológico por meio da aplicação do método geofísico de eletrorresistividade.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho propõe a realização de estudos relativos ao impacto de expansão urbana e instalação de residencial ao redor de uma área de preservação permanente (APP) localizada no município de Rio Claro (SP), a partir da análise da legislação federal, que estabelece áreas mínimas de preservação ao redor de lagoas e nascentes, seguido por estudo hidrogeológico a partir de levantamentos geofísicos (Eletrorresistividade) em períodos de seca.

Avaliar a área que efetivamente deve ser preservada em termos de legislação, quanto ao impacto da expansão urbana sobre a APP, a fim de subsidiar estudos de impacto estrutural (recalques, umidades e trincas) em residências sobre áreas com nível freático raso.

3. LOCALIZAÇÃO E HISTÓRICO DA ÁREA

A área de estudos consiste numa lagoa natural localizada na região noroeste da área urbana da cidade de Rio Claro (SP) (Figura 1), de coordenadas $22^{\circ}24'25.07''\text{S}$ e $47^{\circ}33'42.70''\text{O}$.

Figura 1 - Mapa de localização



Fonte: Elaborado pelo autor

O município de Rio Claro, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, possuía, em 2016, população estimada de 201.473, atingindo um crescimento de 8% referente ao último censo realizado em 2010. Além disso, o município conta com uma área de 498,422 km², dado de 2015, e densidade demográfica de 373,69 hab/km². Pertencente a Bacia do Rio Corumbataí, junto aos municípios de Analândia, Corumbataí, Charqueada, Ipeúna,

Itirapina, Piracicaba e Santa Gertrudes, o município de Rio Claro contempla a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos das Bacias do Piracicaba, Capivari e Jundiá, UGRHI 5, representada pela porção paulista das Bacias PCJ.

Esta área fazia parte da zona rural do município até 2007, quando passou a integrar a área urbana e foi incorporada por uma construtora local a “Escala Empreendimentos Imobiliários LTDA”, para loteamento e instalação de condomínio residencial denominado “Santa Clara 2” (Figura 2).

O bairro é caracterizado como uma área de expansão urbana horizontal, próximo ao distrito industrial do município. Atualmente este condomínio possui 219 residências e estimativa populacional de 4 pessoas por lote, totalizando 876 pessoas.

Figura 2 – Histórico de ocupação da área



Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo o Plano Diretor de Rio Claro (2007), o território da cidade divide-se em 5 Unidades Regionais de Planejamento (URP), onde o condomínio estudado se encontra na URP 3 denominada “Distrito Industrial - Cachoeirinha”, como “Zona de Proteção”. Estas zonas, segundo Artigo 25 do Plano Diretor, “[...] são as porções do território municipal nas quais as categorias de uso permitidas são definidas pela Lei de Zoneamento Urbano, em função do interesse público e social de preservação, restauração e/ou uso sustentável do patrimônio paisagístico e ambiental”. A URP 3 é subdividida em 3 Mesozonas, sendo o bairro estudado localizado na Mesozona 3. Junto a subdivisão, a área é denominada ZP-3J e deve respeitar os seguintes parâmetros de uso e ocupação do solo, segundo a Lei Complementar Nº 082 (2013) do município: R1, C1, S1, E1, com taxa de ocupação máxima de 70% e taxa mínima de permeabilidade do solo de 10%. Os parâmetros são definidos pela Lei Nº 3806 (2007), que dispõe sobre a revisão do Plano Diretor do Município de Rio Claro, como:

- I. *R1 – residencial unidomiciliar: edificações destinadas à habitação permanente, correspondendo a um domicílio por lote ou unidade autônoma;*
- II. *C1 – comércio varejista de âmbito local: estabelecimentos de venda direta ao consumidor de produtos que se relacionam ao consumo doméstico, não se constituindo em fonte geradora de tráfego, ruído, incômodo ou poluição ambiental;*
- III. *S1 – serviços de âmbito local: estabelecimento destinado à prestação de serviços à população, cuja atividade possa adequar-se aos padrões de uso residencial no que diz respeito às características de ocupação do lote, de acesso de tráfego, níveis de ruído e vibrações, não se constituindo em fonte geradora de tráfego, incômodo ou poluição ambiental;*
- IV. *E1 – institucional diversificado: instituições destinadas à saúde, educação, cultura, lazer ou administração pública, visando o atendimento da população de um bairro ou pequeno conjunto de bairros, cujas características não impliquem excessiva concentração de pessoas e de veículos ou em níveis de ruídos acima dos parâmetros ambientais estabelecidos.*

Centralizada no bairro há a presença de uma lagoa natural, cercada pelas avenidas M 45 SC e M 51 SC, e rua M 02 SC, e lotes em fase final de ocupação iniciada em 2010.

Segundo Artigo 35 da Lei Municipal nº 3806 (2007), “[...] VII - nos casos em que a gleba indicada para parcelamento do solo apresentar ocorrência de Área de Preservação Permanente – APP, o percentual correspondente não entrará no cálculo das áreas públicas

(verdes/sistema de lazer e institucionais), e VIII - os lotes não poderão ser confinantes com APP, com faixas “non aedificandi” de qualquer espécie e com sistemas de áreas verdes e de lazer, devendo ser separados dos mesmos pelo sistema viário”.

A área apresenta topografia basicamente plana, com cotas de 624 a 636 metros, com inclinação radial para a lagoa, que define a cota mais baixa em grande parte do residencial, além da inexistência de uma rota de fluxo superficial da lagoa para cotas mais baixas a norte. A porção norte em fase de ocupação inicial possui topografia com declividade para uma nascente (cota 616 metros) e em sentido oposto ao da lagoa.

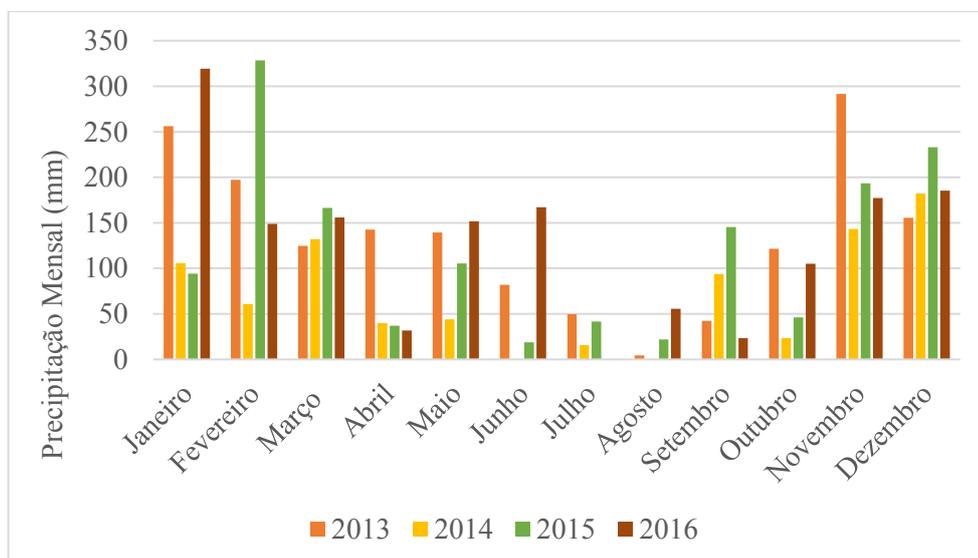
3.1. ASPECTOS CLIMÁTICOS

O clima da região de Rio Claro pode ser considerado tropical com duas estações definidas (TROPMAIR, 1992):

- De abril a setembro é o período seco, ocorrem 15 a 20 dias de chuva com um total de 180 a 200 mm de chuva, e temperatura média de 17°C;
- De outubro a março é o período chuvoso, ocorrem 55 a 60 dias de chuva com um total de 1200 mm, e temperatura média de 22°C.

Os dados pluviométricos foram disponibilizados pelo Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Unesp de Rio Claro (SP), o Gráfico 1 ilustra os níveis médios mensais de 2013 a 2016 e o município apresentou uma média de 1.350,1 mm de chuva, entre os anos de 2013 a 2016 (Figura 3).

Figura 3 - Precipitação mensal de 2013 a 2016 em milímetros de chuva (mm)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Tabela 1 - Precipitação mensal e anual de 2013 a 2016 em milímetros de chuva (mm)

Ano	2013	2014	2015	2016
Janeiro	256,2	105,6	94	319,4
Fevereiro	197,4	60,8	328,5	148,8
Março	124,6	131,93	166,3	156
Abril	142,6	39,9	37	31,7
Mai	139,5	43,9	105,4	151,5
Junho	81,9	0	18,7	167,2
Julho	49,7	15,7	41,7	0,3
Agosto	4,3	0	22,1	55,6
Setembro	42,1	93,8	145,3	23,4
Outubro	121,6	23,4	46,3	105,1
Novembro	291,7	143,3	193,3	177,3
Dezembro	155,4	182	232,9	185,3
Precipitação Anual (mm)	1607	840,33	1431,5	1521,6

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

A existência de ciclicidade em termos de anos chuvosos e seco no município foi observada por Santos, 1986/1987, onde ano mais seco foi o de 1921 com 655 mm de chuva e o mais chuvoso foi de 1976 com 2144 mm de chuva.

3.2. GEOLOGIA REGIONAL

O município de Rio Claro está localizado geologicamente no flanco nordeste da Bacia Sedimentar do Paranano representada por rochas sedimentares e vulcânicas das eras Paleozóica, Mesozóica e Cenozóica (ZAINÉ, 1995).

A área de estudo em questão é formada pelo contato entre as formações geológicas Rio Claro e Corumbataí. Nesta localidade, é comum a extração de água subterrânea dos arenitos da Formação Rio Claro, assentado sobre a Formação Corumbataí, em profundidades inferiores a 18 metros (OLIVA e KIANG, 2002).

A Formação Corumbataí pertence ao Grupo Passa Dois e é constituída por argilitos, siltitos e folhelhos, com intercalações de arenitos. A Formação Corumbataí foi depositada em ambiente marinho raso. Na região do município de Rio Claro é admitida uma espessura máxima de 130 m (ZAINÉ, 1995).

A Formação Rio Claro possui espessura máxima de 30 metros. Em dados de sondagem foi verificada espessura de ordem de 25 m a 30 m, com o nível de água subterrânea na base da formação, no contato com a Formação Corumbataí. Os arenitos desta formação comumente possuem intercalações de lentes argilosas e conglomeráticos (ZAINE, 1995). Como consequência da predominância de rochas areníticas a infiltração da água da chuva é rápida e torna os solos pobres e ácidos (TROPMAIR, 1992).

3.3. HIDROGEOLOGIA

Segundo o DAEE (1981), o município de Rio Claro está assentado sobre os grupos Passa Dois e Tubarão e intrusivas básicas. As zonas aquíferas que ocorrem no Grupo Passa Dois armazenam água tanto por porosidade de interstícios como de fissuras, dependendo da litologia e situação estrutural local (OLIVA e KIANG, 2002).

No município de Rio Claro, ocorrem dois sistemas principais de águas subterrâneas, um raso e um profundo. O primeiro consiste em um aquífero livre pouco profundo, com vazão entre 17 m³/h e 25 m³/h, constituído pelos materiais pouco consolidados da Formação Rio Claro. A região estudada no presente trabalho está localizada nesta formação. O segundo sistema consiste em sedimentos do Grupo Tubarão, mais especificamente da Formação Tatuí e das camadas do Subgrupo Itararé, que consiste em um aquífero confinado, com profundidades que variam em torno de 200 m, com vazão entre 20 m³/h e 37 m³/h.

A Formação Rio Claro se associa a um solo predominantemente arenoso, espesso, num relevo de colinas amplas e com baixa densidade de drenagem. Dentro deste contexto, há a existência de lagoas, formadas em depressões suaves, por vezes fechadas ou ligadas pela superfície à rede de drenagem (ZAINE, 1995).

O nível d'água subterrâneo está situado entre 2,01 m (região sudoeste do município) e 25,33 m (região norte do município), sendo que, entre esses valores existe uma ampla variação das profundidades, prevalecendo os níveis com profundidade inferiores a 18 m (OLIVA e KIANG, 2002). Os altos potenciométricos possuem fluxo centrífugo e estão basicamente distribuídos na região norte da área, coincidentes com as lagoas da Fazenda São José e a Lagoa do Cacareco. Essas lagoas representam aquíferos suspensos, com profundidades que vão de 1 m a 2 m, onde o fluxo das águas superficiais infiltradas é bloqueado por níveis de materiais com baixa permeabilidade, tais como camadas argilosas, comuns em ambiente fluvial.

Dados de sondagem elétrica vertical apresentados por Oliva (2002), apontam que ao entorno do bairro Santa Clara II foram monitorados três pontos (SEV-38, SEV-45 e SEV-04), onde a profundidade do nível d'água é 13,7 m, 3,51 m e 15,27 m respectivamente, sendo a mais próxima da área de estudo a SEV-45.

O formato de uma bacia hidrográfica tem seu papel fundamental no seu comportamento hidrológico. A partir do comparativo de bacias com características semelhantes, Villela e Mattos (1975), identificaram que as bacias com forma mais circular apresentam tendência de gerar picos de enchente mais elevados em relação às bacias alongadas. As bacias circulares apresentam diversas drenagens com comprimentos semelhantes, o percurso dos escoamentos é mais curto, com respostas concentradas em eventos de chuva (VILLELA e MATTOS, 1975).

A partir do processamento de cartas topográficas disponibilizadas no site da EMBRAPA, no software Quantum Gis versão 2.18, foi possível determinar as curvas de nível do residencial e, conseqüentemente, evidenciar o formato circular do relevo, que propicia o fluxo centrífugo da drenagem em direção a lagoa natural (Figura 4).

Figura 4 – Curvas de nível



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

4. TAXA DE INFILTRAÇÃO E COBERTURA VEGETAL

O solo possui propriedades físicas que influenciam nas taxas de infiltração e dinâmica sub-superficial e superficial de escoamento.

Segundo Lima (1986), as características do meio permeável, meio poroso onde ocorre a infiltração, são governadas pelo tipo de solo, sua textura e estrutura, a quantidade e o tipo de argila que este contém, a espessura e a profundidade de suas camadas mais permeáveis e o uso a que foi submetido.

A taxa de infiltração permite classificar o solo em 4 grupos distintos, segundo o Soil Conservation Service (SCS, 2007), a partir do teor de argila e areia no solo e seus respectivos graus de saturação (Tabela 1).

Tabela 2 – Descrição dos grupos hidrológicos de solos

Grupo	Descrição
A	Solos com teor de argila menor que 10% e mais que 90% de areia. Possuem baixo potencial de escoamento superficial quando completamente úmidos e a água transita no perfil livremente. Não há rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5m;
B	Solos com teor de argila entre 10 e 20% e de 50 a 90% de areia. Possuem de baixo a moderado potencial de escoamento superficial quando completamente úmidos e não há impedimento de água nas camadas do solo. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas é quase sempre presente camada mais densificada que a camada superficial;
C	Solos com teor de argila entre 20 e 40% e menos que 50% de areia. Possuem de moderado a alto potencial de escoamento superficial quando completamente úmidos e a percolação da água no perfil é restrita. Nota-se a cerca de 60cm de profundidade camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade;
D	Solos com teor de argila maior que 40% e menos que 50% de areia. Possuem alto potencial de escoamento superficial e a transição da água no perfil é restrita ou muito restrita. Camada densificada a uns 50cm de profundidade ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados.

Fonte: Elaborado por MORAES *et al.*, 2012

O levantamento pedológico realizado na quadrícula de São Carlos, na escala de 1:100.000 (PRADO *et al.*, 1981), exalta a existência de três tipos de solos, podzólico vermelho, latossolo vermelho-amarelo e latossolo roxo de textura argilosa a muito argilosa. A região estudada no presente trabalho apresenta latossolo vermelho-amarelo, atingindo profundidades máximas de 10 a 12 metros, correspondente ao solo de alteração da Formação Rio Claro.

Em seu estudo, Lima (1986) relaciona o meio permeável, onde ocorre a infiltração, principalmente a porosidade, isto é, com o tamanho e com a distribuição dos poros presentes. Em solos arenosos, os poros são relativamente estáveis, formados por partículas que não são facilmente desintegradas pela ação das gotas de chuva, nem tão pouco sofrem expansões ao contato com a umidade.

Em solos argilosos, durante a chuva, a desintegração dos agregados sofre dilatação de volume ao contato com a umidade, devido a presença de material coloidal. O impacto das gotas da chuva, as expansões e o acúmulo de partículas finas nos poros, conduzem uma rápida deterioração da permeabilidade dos solos argilosos, em comparação aos arenosos (LIMA, 1986). Além disso, a capacidade de infiltração dos solos pode ser alterada por fatores externos as propriedades físicas, entre eles a presença de vegetação e a compactação do solo.

Segundo Tucci e Clarke (1997), a vegetação tem um papel fundamental no balanço de energia e no fluxo de volumes de água. A parcela inicial da precipitação é retida pela vegetação, portanto, quanto maior for a área de folhagem, maior a área de retenção da água precipitada, que é evaporada após a chuva. A partir do momento que este volume retido nas plantas é totalmente evaporado, as plantas passam a perder umidade para o ambiente através da transpiração, retirando umidade do solo através das raízes. Lima (1986) expõe que em locais onde o lençol freático é superficial, como em zonas ripárias (mata ciliar), planícies costeiras, áreas alagadiças, entre outras, a cobertura florestal provoca, pela evapotranspiração, um rebaixamento do lençol freático.

Além do ciclo de evapotranspiração, a presença de vegetação é particularmente importante na manutenção das condições de porosidade do solo, por conta do desenvolvimento das raízes e pela presença de matéria orgânica (serapilheira), este último fornecendo proteção contra o impacto das gotas de chuva, reduzindo a compactação e a desagregação (LIMA, 1986). A compactação do solo reduz sua porosidade total, afetando a porosidade não capilar, por consequência a penetração da água através da superfície pode ser prejudicada pelo entupimento dos poros, e embora o solo apresente excelentes condições internas de transmissão e de armazenamento de água, as condições de superfície podem reduzir as taxas de infiltração.

Áreas florestadas apresentam maior taxa de infiltração, quando comparada a áreas sem cobertura vegetal ou cultivadas, devido as taxas de compactação. A alteração da superfície da bacia tem impactos significativos sobre o escoamento, podendo ser classificadas quanto ao tipo de mudança, ao tipo de uso da superfície ou a forma de desmatamento (TUCCI e CLARKE, 1997).

5. VULNERABILIDADE DE AQUÍFERO

Segundo o mapeamento da CETESB (1997), a vulnerabilidade de um aquífero significa sua maior ou menor susceptibilidade de ser afetado por uma carga poluidora. É um conceito inverso ao de capacidade de assimilação de um corpo d'água receptor, com a diferença de o aquífero possuir uma cobertura não saturada que proporciona uma proteção adicional. A caracterização da vulnerabilidade do aquífero pode ser melhor expressa por meio dos seguintes fatores:

- Acessibilidade da zona saturada à penetração de poluentes;
- Capacidade de atenuação, resultante de retenção físico-química ou de reação de poluentes.

Os aquíferos, em diferentes áreas do território nacional, estão sujeitos aos impactos da extração descontrolada e da ocupação indisciplinada do solo, que põem em risco a qualidade das águas. Ainda existe uma atitude generalizada de subestimar os riscos de poluição das águas subterrâneas, traduzida pela falta de políticas voltadas para a sua proteção (CETESB, 1997).

O levantamento de dados necessários para a caracterização da vulnerabilidade do aquífero pode ser observada na tabela a seguir relativo as condições naturais, segundo Foster e Hirata, (1988) (Tabela 3).

Tabela 3 - Lista de dados e informações necessárias para a caracterização da vulnerabilidade.

Vulnerabilidade do Aquífero	Informações Necessárias
Ocorrência da Água Subterrânea	<ul style="list-style-type: none"> • Existência de aquífero • Qualidade hidroquímica da água subterrânea
Acessibilidade hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de ocorrência de água subterrânea • Profundidade da água subterrânea • Capacidade de infiltração do solo • Conteúdo de umidade da zona não saturada/retenção específica • Condutividade hidráulica vertical do aquífero ou aquítarde
Capacidade de Atenuação	<ul style="list-style-type: none"> • Espessura do solo e textura • Distribuição e tamanho dos grãos (fissuras) • Mineralogia da matriz (argila/óxidos de Fe e Al/conteúdo de matéria orgânica) • Porcentagem de argila

Fonte: Adaptado Foster e Hirata, 1988

Foster e Hirata (1988) propõem um modelo para a avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero, englobando os três parâmetros mencionados acima, é obtido o índice de vulnerabilidade com variação dependente das características hidrogeológicas da localidade. Ressalta-se que a metodologia se refere a aquíferos de depósitos sedimentares.

6. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

A legislação brasileira define Área de Preservação Permanente (APP) como uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

A resolução estabelece a APP em zonas rurais ou urbanas as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente desde a borda da calha do leito regular. A largura mínima de cinquenta metros ao redor de nascentes, ainda que intermitente e, ao redor de lagos e lagoas naturais, metragem mínima de trinta metros, em zonas urbanas, e cem metros em zonas rurais, exceto para o corpo de água com até 20 hectares de superfície, cuja faixa marginal deve ser de 50 m (BRASIL, 2012).

De mesmo modo, áreas urbanas consolidadas são definidas como aquelas que atendem aos seguintes critérios (CONAMA, 2002):

- a) Definição legal pelo poder público;
- b) Existência de, no mínimo, quatro dos seguintes equipamentos de infra-estrutura urbana:
 - I. Malha viária com canalização de águas pluviais;
 - II. Rede de abastecimento de água;
 - III. Rede de esgoto;
 - IV. Distribuição de energia elétrica e iluminação pública;
 - V. Recolhimento de resíduos sólidos urbanos;
 - VI. Tratamento de resíduos sólidos urbanos; e
- c) Densidade demográfica superior a cinco mil habitantes por km².

A legislação em vigor no ano de loteamento da área de estudo da zona rural era a Resolução CONAMA 303/2002, onde já estava prevista as metragens mínimas de área de proteção marginal à lagoa iguais a Lei 12.651/2012.

Em imóveis rurais é obrigatória a regularização do Cadastro Ambiental Rural (CAR), que é um registro eletrônico com o intuito de formar uma base de dados estratégica para o controle, monitoramento e combate ao desmatamento das florestas e demais formas de vegetação nativa do Brasil, bem como para planejamento ambiental e econômico dos imóveis rurais (BRASIL, 2012).

7. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo consiste inicialmente no levantamento da legislação que normatiza a preservação de áreas de nascentes e lagoas, para uma clara definição de limites e critérios. Posteriormente foi adquirido dados relativos ao histórico pluviométrico de 12 meses para a região de estudos, em subsídio a determinação dos meses de maior e menor pluviosidade.

Ambos os trabalhos serviram ao planejamento de estudos geofísicos por aplicação do método da Eletrorresistividade. Foram planejados diversos ensaios de tomografia elétrica ao longo das principais ruas do residencial, com o objetivo de obtenção de medidas de resistividade elétrica em diversas profundidades. Sendo, este parâmetro físico, amplamente variável entre medidas em solos secos ou saturados.

O processamento dos dados geofísicos proporciona a geração de seções e mapas de resistividade elétrica, que serão calibrados com dados de nível freático medidos em campo. Ao final, são esperados mapas de resistividade correlacionáveis com a superfície freática.

A realização de ensaios no período de seca deve proporcionar uma estimativa do lençol freático raso mesmo em situações de baixa pluviosidade. Este produto será cruzado com a atual área de ocupação ao redor da lagoa, para verificação de atendimento a legislação relativa à APP.

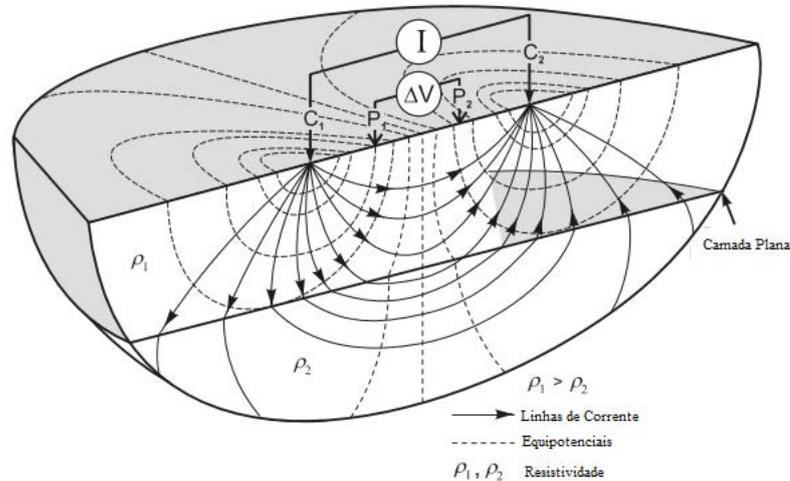
As residências eventualmente construídas em locais com nível freático raso serão objeto de análise local quanto a danos estruturais como umidades e trincas.

7.1. ELETORRESISTIVIDADE

O método de eletrorresistividade é baseado na introdução de correntes elétricas artificiais no solo, que geram uma diferença de potencial (ddp) passível de ser medida. Geralmente é utilizado no estudo de descontinuidades horizontais e verticais nas propriedades elétricas em subsuperfície e também na detecção de corpos tridimensionais de resistividade elétrica contrastante (KEAREY et al., 2002).

Utiliza fontes artificiais para produzir um campo elétrico potencial sob o solo, a partir de uma corrente elétrica introduzida por dispositivo eletródico (C_1 e C_2) e utilizando-se outros dois pontos para medição do campo, sendo hastes metálicas ou eletrodos impolarizáveis, (P_1 e P_2) (Figura 5). A corrente elétrica pode ser direcionada como corrente contínua ou alternada de baixa frequência (0,1 – 30 Hz).

Figura 5 - Princípio do método da Eletrorresistividade medida pelo arranjo de quatro eletrodos.



Fonte: KNÖDEL, *et al.*, 2007.

O objetivo de criar e medir o potencial elétrico do campo é determinar a distribuição da resistência espacial (ou sua condutividade) no solo, sendo referida como resistividade aparente (KNÖDEL *et al.*, 2007).

O potencial elétrico (ΔV) produzido pela corrente elétrica (I) neste campo é aplicado à Lei de Ohm considerando o espaçamento entre os eletrodos, representado por um fator denominado K , permite medidas do parâmetro resistividade aparente (ρa) para vários níveis de profundidade (Equação 1):

$$\rho a = K \frac{\Delta V}{I} \Omega.m \quad (1)$$

A corrente elétrica (I) é injetada no solo através de um par de eletrodos metálicos, e a diferença de potencial (ΔV) relacionada a esta corrente é medida por meio de um segundo par de eletrodos (BORTOLIN e MALAGUTTI FILHO, 2010). A partir de medições do potencial elétrico na superfície é possível determinar a existência de corpos minerais e reconhecer estruturas geológicas e identificar a presença de água (TELFORD *et al.*, 1990).

A aplicação desta metodologia é fundamentada nos diferentes valores de resistividade elétrica passíveis de cada material, geológico ou não (BORTOLIN e MALAGUTTI FILHO, 2010).

No presente estudo, é disposto o arranjo Schlumberger (Equação 2):

$$K = \pi \cdot n \cdot (n + 1) \cdot a ,$$

$$n > 3 \quad (2)$$

Para a medição, o equipamento utilizado foi o resistivímetro Terramete LS, fabricado pela ABEM (Suécia), com resolução de $1 \mu\text{V}$. Este equipamento é calibrado para medidas de resistividade por meio de ciclos periódicos de corrente alternada de baixa frequência, que permite a filtragem de ruídos do sinal adquirido (Figura 6).

Figura 6 – Preparação das linhas de campo.



Fonte: Arquivo pessoal, 2018

7.2. GEOFÍSICA APLICADA A ESTUDOS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Os trabalhos e artigos apresentados evidenciam a eficiência da aplicação de métodos geofísico de eletrorresistividade na investigação de perfis geológicos e águas subterrâneas.

Na região do Aterro Metropolitano Centro, no município de Salvador, Estado da Bahia, foram realizadas sondagens elétricas verticais de resistividade, de polarização induzida e medidas superficiais de potencial espontâneo, permitindo avaliar as condições hidrológicas subterrâneas na região do novo aterro sanitário, antes da sua efetiva utilização (CAVALCANTI

et al., 2002). As sondagens serviram de base para efetuar o zoneamento litológico da Formação Barreiras, definir a configuração da topografia do substrato cristalino e a ocorrência de zonas fraturadas nestas rochas, e mapear o nível estático do aquífero, mapeando a topografia do substrato aquífero, a conformação do nível do lençol freático e os padrões gerais da circulação subterrânea de água na formação, constituindo um referencial para checar danos ambientais futuros relacionados à disposição de resíduos urbanos.

Na região metropolitana de Belém, Estado do Pará, foram aplicados métodos geofísicos, perfilagem geofísica de poço e SEV, com o objetivo de analisar a distribuição e a geometria de aquíferos na região. Como resultado foram evidenciados dois grandes conjuntos, um de até 160 m de profundidade, constituído por corpos arenosos interdigitados a pelitos. Outro conjunto de aquíferos identificado a partir de 160 m de profundidade até 300 m aproximadamente, é constituído por areias com níveis argilosos, sendo a melhor ocorrência de água potável da região, com grande volume de armazenagem e livre de estorvos antrópicos superficiais, servindo ao abastecimento público (MENDES *et al.*, 2002).

Na mesma linha de identificação e mapeamento de falhas, junto ao fornecimento de dados de estratigrafia e profundidade da zona saturada em áreas onde não existem informações diretas, aplica a Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e Caminhamento Elétrico (CE), Elis *et al.* (2004) desenvolveram o estudo geofísico na Bacia de Sergipe, no município de Maceió, Estado de Alagoas. Os resultados dos ensaios confirmaram a existência de zonas mais condutoras, caracterizando falhas normais que delimitam os blocos estruturais escalonados e a sucessão de camadas sedimentares com variações nos teores de areia e argila, que influenciam o comportamento do sistema de águas subterrâneas.

O mapeamento de contatos geológicos, para identificação falhas e fraturas, além do mapeamento de plumas de contaminação e estruturas ou corpos representados pela heterogeneidade lateral de resistividade, a fim de otimizar os trabalhos de campo para locação de poços, foi realizado no município de Lindóia, Estado de São Paulo, a partir de levantamentos geofísicos de eletrorresistividade a partir de sondagem elétrica vertical (SEV), arranjo *Schlumberger*, e caminhamento elétrico (CE) (MADRUCCI *et al.*, 2005). A primeira investiga as variações verticais em subsuperfície. O CE possui objetivo de investigar horizontalmente a uma ou várias profundidades aproximadamente constantes com medidas efetuadas ao longo de perfis.

A fim de avaliar a influência de propriedades pedogeomorfológicas de solos tropicais na infiltração e percolação de água pelos horizontes superficiais dos solos, para o estudo de

Morais *et al.* (2008), nos municípios de Ouro Preto e Belo Horizonte, no Estado de Minas Gerais, foram realizados ensaios de monitoramento a partir de solução salina saturada de cloreto de sódio, além da eletrorresistividade de corrente contínua. Como resultado, a metodologia aplicada foi eficiente em avaliar o fluxo em zonas não saturadas, além da influência de macroporos biológicos na percolação. Foi constatado que a percolação é mais rápida em encosta de forma convexa do que na de forma côncava, o que as tornam áreas mais favoráveis a recarga de aquíferos.

Na microbacia do distrito de Andes, no município de Bebedouro, no Estado de São Paulo, foi realizada investigação geofísica integrada a dados de poços tubulares para o estudo das características hidrogeológicas das Formações Adamantina e Serra Geral, devida a alta exploração de água subterrânea para uso agrícola e possível relação ao aumento na atividade sísmica local (CARLOS *et al.*, 2012), a fim de estudar o perfil estratigráfico, profundidade da zona saturada, espessura do arenito, profundidade do topo e da base do basalto e obtenção dos valores de resistência transversal. O CE foi utilizado para imageamento contínuo de perfis para mapear as unidades geológicas e as possíveis estruturas. Sondagens TDEM (*Time Domain Electromagnetic*) utilizadas para estudar o perfil estratigráfico e as estruturas dentro do basalto, fraturas horizontais e possíveis arenitos intertrapianos e/ou zonas interderrames. O método de sísmica de refração foi utilizado para imageamento das unidades geológicas. Os estudos aplicados estimam a espessura do arenito, a profundidade da zona saturada e o topo do basalto. A base do basalto em contato com a Formação Botucatu foi identificada pelas SEVs e soldagens TDEM, consistentes com informações de um poço profundo. O conjunto de informações geradas auxilia no gerenciamento do aquífero, tanto no ponto de vista de exploração quanto preservação.

8. METODOLOGIA

A aquisição de dados geofísicos, a partir da introdução de correntes elétricas artificiais no solo, por meio do método de eletrorresistividade, sob arranjo Schlumberger permitiram caracterizar o perfil geológico da área de estudo. Com o intuito de caracterizar as estruturas geológicas de sustentação da lagoa natural, foram dispostas 4 linhas de campo com comprimentos variados e espaçamento regular de eletrodos de 4 metros (Tabela 4 e Figura 7).

Tabela 4 – Relação de linhas de campo.

Número da linha	Número de eletrodos	Comprimento de linha (metros)
1	40	160
2	38	152
3	23	92
4	36	144

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Figura 7 – Disposição das linhas de campo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

9. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios geofísicos foram processados pelo software Res2Dinv que elabora o perfil (distância x profundidade) a partir do modelo de inversão dos dados obtidos em campo.

A padronização de escala e cores permite analisar as áreas de maior e menor saturação do solo ou graus variáveis de umidade. As cores frias, de 12,5 Ω .m a 31,1 Ω .m, representam os níveis mais altos de saturação do solo em camada geológica de arenito argiloso, enquanto as áreas com resistividade entre 70 Ω .m e 3.000 Ω .m, cores mais quentes, representam o arenito nos níveis mais baixos de saturação. Dados de resistividade obtidos próximos a 5 Ω .m representam bolsões de argila saturada.

Todas as linhas de campo foram dispostas no limiar entre a Área de Preservação Permanente, o calçamento e o asfalto do loteamento residencial.

As linhas 1 e 2 apresentam os índices mais altos de resistividade, com valores que vão de 482 Ω .m e chegam a 3.000 Ω .m próximos a superfície, caracterizados como arenito seco. Na linha 1 a ocorrência está entre 20 m e 60 m e na linha 2 entre 72 m a 84 m, em ambos os casos não ultrapassam a profundidade de 3 m. Na linha 3 há também a ocorrência de alta resistividade, por volta dos 482 Ω .m, entre 56 m e 64 m e novamente de 76 m a 80 m, em profundidade rasa que não ultrapassa 2 m.

A linha 1 possui uma camada de cerca de 10 m próxima a superfície de arenito argiloso saturado, correspondente às delimitações preto pontilhadas (Figura 8), com resistividades que variam de 31,1 Ω .m a 193 Ω .m, sustentada pela camada de argilito saturada com valores de resistividade inferiores a 30 Ω .m. Entre as distâncias de 32 m a 44 m e 64 m a 80 m, é verificada a existência de bolsões de argila de baixa resistividade, com valor próximo a 5 Ω .m, delimitação branco pontilhada na Figura 6.

A linha 2 apresenta o mais extenso bolsão de argila, com cerca de 22m de comprimento, entre as distâncias de 88m e 110m, e profundidade de 15 m, entre as elevações de 610m a 625m.

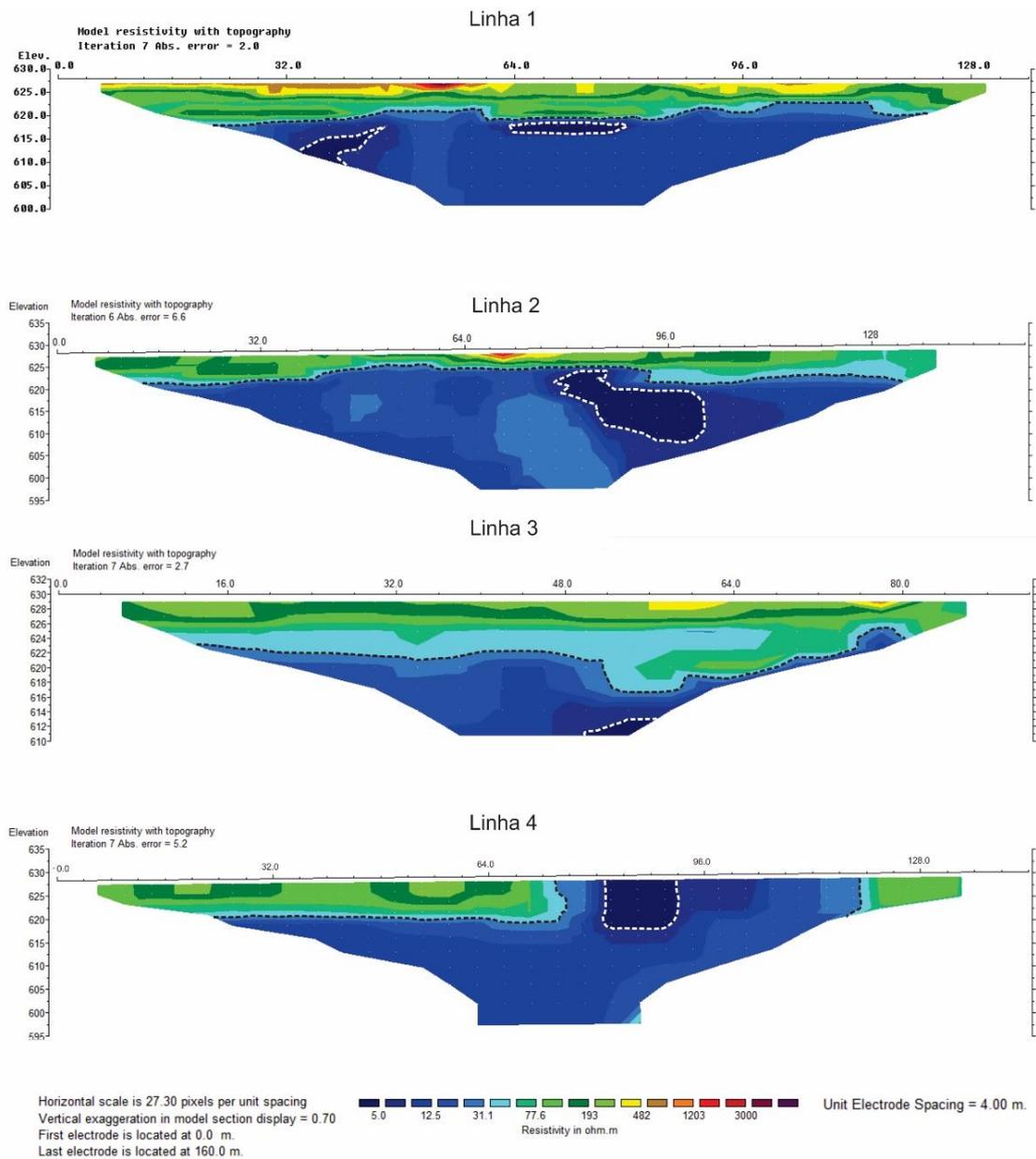
Na linha 3, a camada de solo formada por arenito argiloso saturado é a mais espessa, quando comparada as outras linhas, com profundidade variante de 6 m a 12 m.

Na linha 4 ocorrem áreas de baixa resistividade e alta saturação próximas a superfície, com resistividade de 5 Ω .m a 12,5 Ω .m entre as distâncias de 76 m a 120 m. Nesta linha é possível caracterizar argila aflorante entre as distâncias de 80 m a 92 m. A existência da argila em camada superficial retarda a infiltração da água pluvial para camadas mais profundas e favorece o escoamento superficial para áreas de solo arenoso circundantes, por conta de sua

elevada probabilidade de saturação. Esta característica, em situações de fortes chuvas, propicia alagamentos e inundações na região.

A existência dos bolsões de argila em camadas superficial, sub-superficial e profundas sustentam a zona alagada formada na região, dada a baixa taxa de infiltração que a argila saturada apresenta, propiciando o acúmulo de água onde a formação do relevo e as cotas de nível favorecem o escoamento radial em direção a lagoa.

Figura 8 – Modelos de inversão de resistividade



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

A linha 4 foi executada a oeste da lagoa e seu detalhamento em superfície está delimitado na Figura 9.

Figura 9 – Características da Linha 4



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

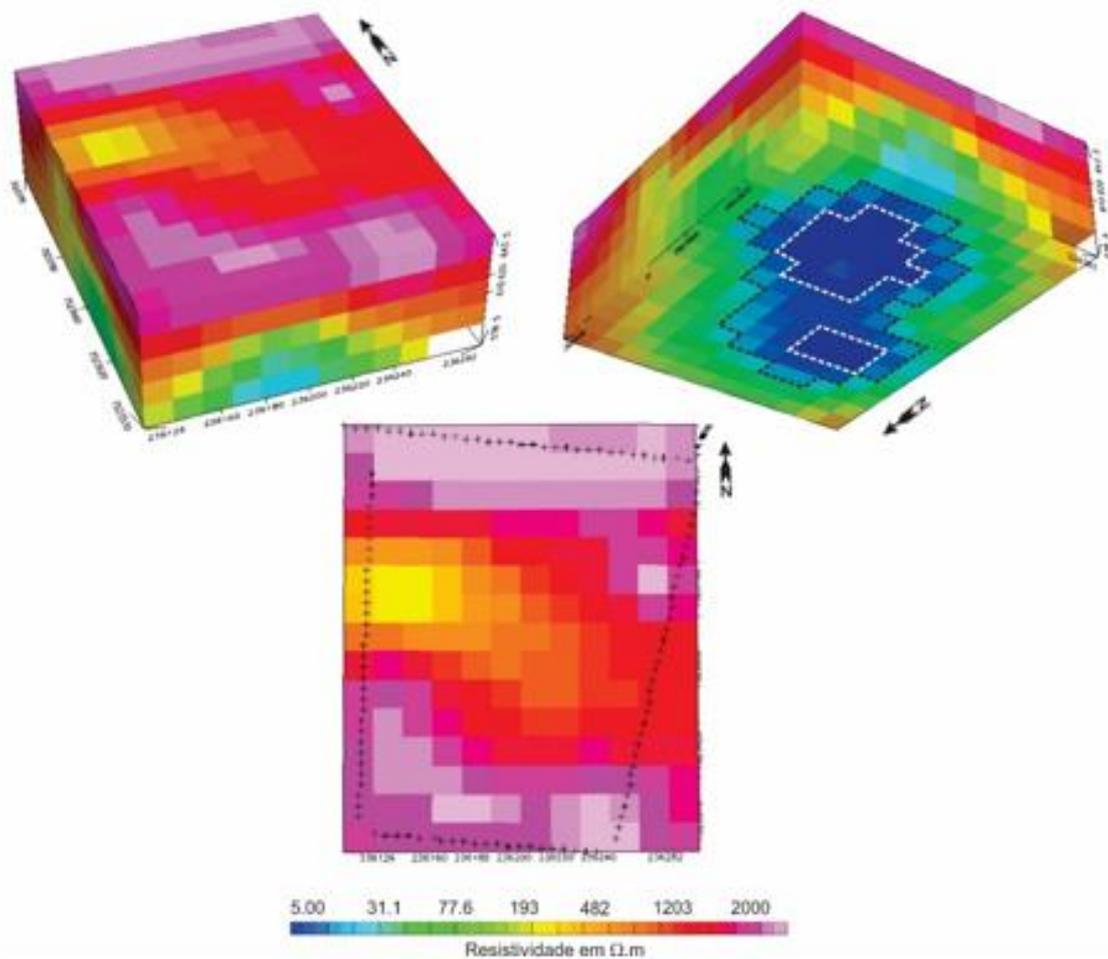
Compreender a proximidade do afloramento de argila com as casas permite diagnosticar a área quanto a probabilidade de alagamentos e alto índice de umidade em superfície. Com o intuito de identificar a estrutura de sustentação da lagoa natural, os dados de resistividade adquiridos pelas 4 linhas de campo foram novamente interpolados para mapeamento 3D, onde a escala de cores se manteve a mesma dos valores de inversão 2D.

Os modelos 3D de mapeamento foram gerados pelo programa Oasis Montaj, plataforma Geosoft (versão 6.4). Para obter o modelo tridimensional, o produto numérico de inversão bidimensional dos dados de cada seção foi reunido em planilha única, de dados da leitura ao

longo das linhas de campo, espaçamento entre as linhas, a profundidade modelada pela inversão e o valor de resistividade elétrica e cargabilidade.

Os perfis tridimensionais apontam a área de baixa resistividade, formada por argila, imediatamente abaixo da lagoa, reafirmando a estrutura de sustentação e a baixa taxa de infiltração das águas pluviais, permitindo o reconhecimento integrado da área de estudo (Figura 10).

Figura 10 – Modelo de inversão de resistividade em interpolação 3D

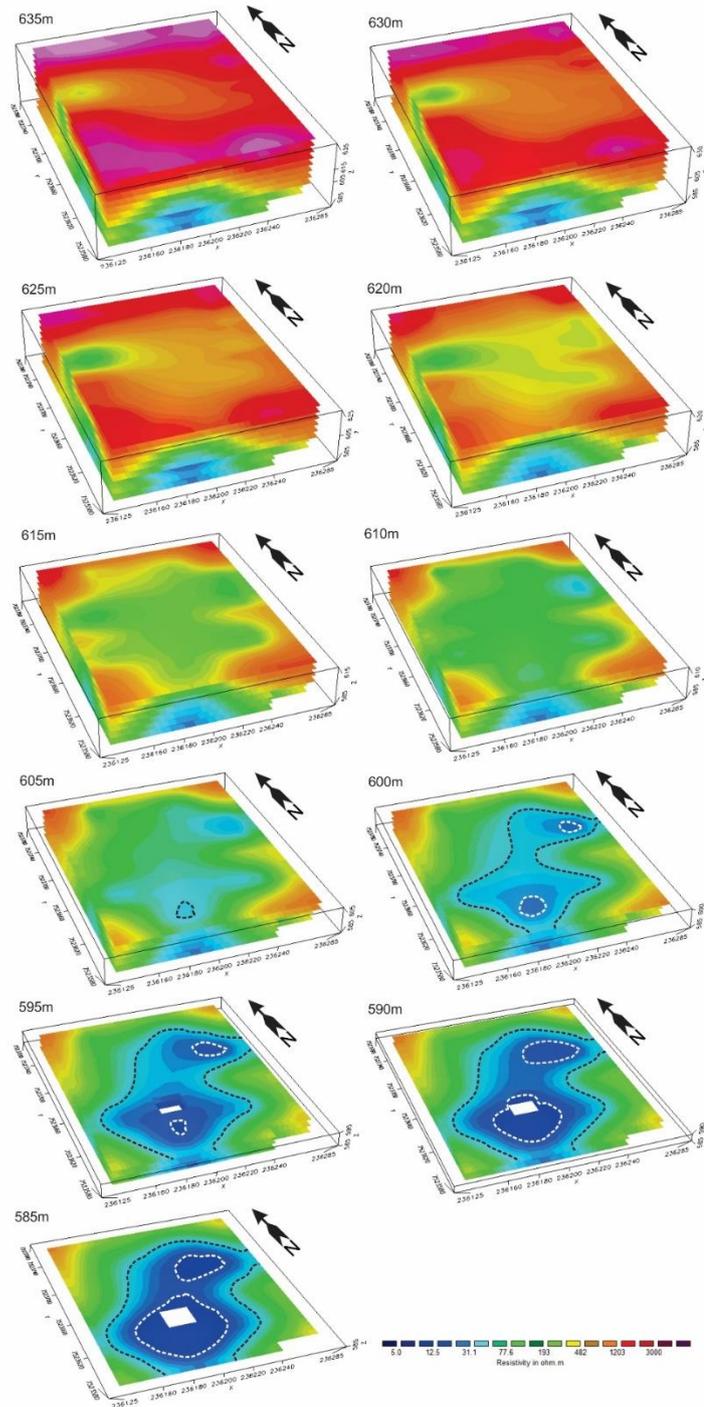


Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Os mapas de profundidade permitem compreender a variação lateral em diferença de elevação de 5 m em 5 m. Os cortes apresentados na Figura 11 demonstram que os índices de maior resistividade ocorrem apenas nas porções mais rasas do solo e a sentido norte e sul da lagoa, linhas 1 e 3 de campo, chegando a cerca de 2.000 $\Omega.m$, característico de solo arenoso.

Em sentido leste-oeste, os valores de resistividade medidos pelas linhas 2 e 4 apresentam grande saturação no solo e nível freático raso. A estrutura de sustentação da lagoa formada por argila de baixa resistividade aparece novamente nos mapas de profundidade e está delimitada pelas linhas branco-pontilhadas.

Figura 11 – Mapas de profundidade para resistividade



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Nos modelos de inversão de resistividade 3D e nos mapas de profundidade é observado uma região central de alta resistividade. Esta região é naturalmente preenchida pela água do aquífero suspenso e tem alto índice de saturação, porém neste caso, a interpolação das linhas de campo, que possuem resistividade alta próxima a superfície, distribuem estes valores por toda região.

A existência de afloramentos de argila e zonas de baixa resistividade caracterizadas pela alta saturação em arenito argiloso, que favorece a ocorrência de alagamentos e inundações, torna essencial a delimitação da APP seguindo a norma vigente. A mata ciliar possui papel fundamental ao facilitar a infiltração da água no solo e como agente protetor da qualidade da água, agindo como uma barreira física evitando a contaminação e degradação da lagoa natural.

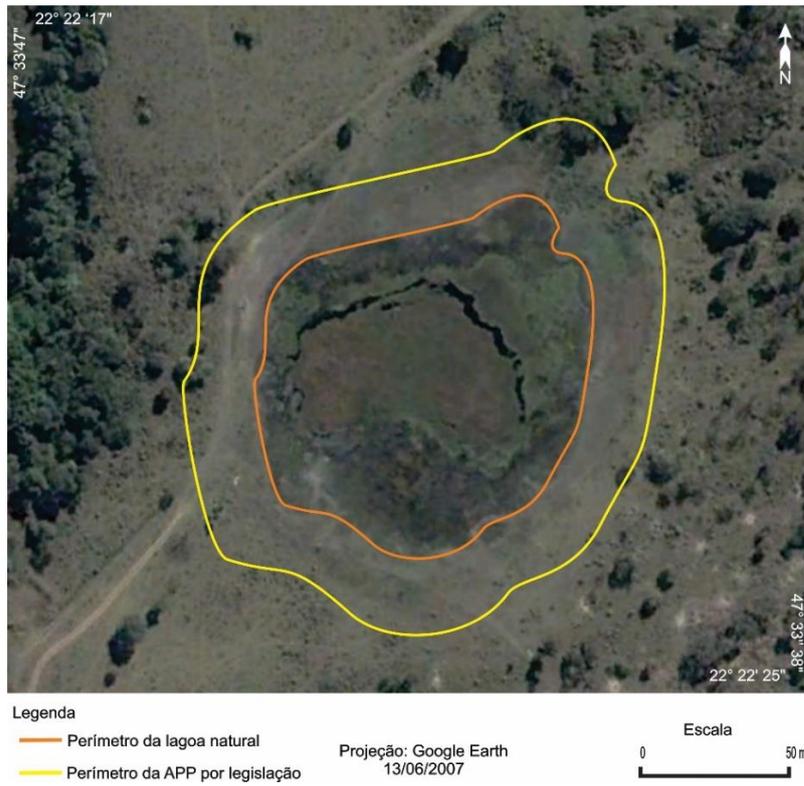
A delimitação da APP para proteção da lagoa natural, em caso de projetos de loteamentos residenciais, deveria objetivar a delimitação das áreas de alagamento e de nível freático raso, a fim de afastar os lotes de áreas úmidas e propícias a inundações.

Em zonas rurais a APP de lagoas naturais possui metragem mínima de 50 m e em áreas urbanas consolidadas metragem de 30 m. A Figura 12 ilustra a área de estudo ainda pertencente a zona rural do município no ano de 2007, assim como, os limites de metragem da APP em 30 m e perímetro da lagoa. A imagem data do mês de junho, mês pertencente da época de estiagem na região, estação climática em que o nível de água não abrange a área máxima de alagamento devido aos baixos índices de pluviosidade.

A Figura 13 limita a APP em 50 m considerando a área de estudos como zona rural e permite a comparação entre as faixas marginais de 30 m e 50 m.

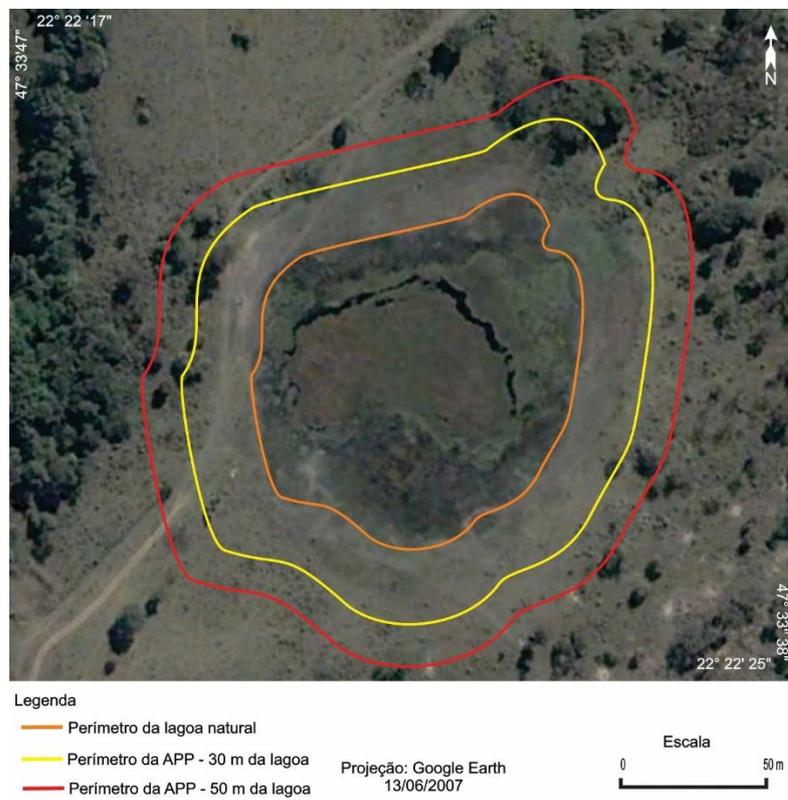
A preservação do raio mínimo de 30 m, para área urbana, definido pela legislação vigente ao redor da lagoa natural não foi respeitada pela empresa responsável pelo loteamento do residencial, como pode ser visualizado na Figura 14. Esta figura tem como base a imagem de satélite datada de 27 de julho de 2018, mês com os menores índices de pluviosidade na região e quando a lagoa apresenta o nível de água mais baixo, devido à alta taxa de evaporação da água em meses de seca.

Figura 12 – Delimitação da APP em 30 metros



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Figura 13 - Delimitação da APP em 50 metros e comparação das faixas marginais



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Figura 14 – Delimitação da APP



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Como é possível visualizar nas imagens de satélite apresentadas neste trabalho, a APP delimitada pelas ruas e avenidas do bairro apresenta grau de degradação, com diversas áreas de baixa cobertura vegetal e solo exposto, o que favorece a erosão em sentido radial para a lagoa.

Apesar do mais baixo nível de água da lagoa, devido a época de seca, é observado que diversas parcelas da APP foram suprimidas pelo arruamento do residencial, o que pode apresentar diversos prejuízos para as construções mais próximas, visto que a área possui alta saturação de água no solo, ou seja, altos índices de umidade.

Altos índices de umidade no solo trazem patologias como trincas e rachaduras nas construções e umidade nas fundações. O aparecimento de trincas e rachaduras ocorre por conta da baixa capacidade de suporte do solo saturado quando confrontado com o peso das

construções. No residencial é possível encontrar diversas casas com trincas e rachaduras, como as apresentadas nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 – Trincas em construção



Fonte: Arquivo pessoal, 2018

Figura 16 – Rachadura em residência



Fonte: Arquivo pessoal, 2018

Os dados de resistividade elétrica constataam a presença de bolsões e afloramentos de argila por toda a área da lagoa, todavia em profundidades mais rasas a oeste e leste da lagoa, o que favorece alagamentos e inundações nas áreas marginais. Outro agravante está nas taxas de cobertura vegetal na APP.

Enquanto a leste da lagoa, ao longo da Linha 2 de campo, é possível visualizar pelas imagens de satélite que a região possui maior número de espécies arbóreas e conseqüentemente maior preservação, a oeste, Linha 4, o cenário é oposto. Os dois fatores, alto índice de umidade do solo e baixo índice de preservação da APP, tornam as construções da região oeste mais vulneráveis a patologias.

A integração dos métodos de processamento dos dados de eletrorresistividade, assim como, as imagens de satélite e visitas em campo, permitem diagnosticar a influência do nível freático raso nas construções. Na área de estudo diversos problemas afetam a qualidade de vida da população, que acaba prejudicada por adquirir um terreno desfavorável para construção. O diagnóstico realizado permite compreender que as residências localizadas nas vias principais do loteamento, ao entorno da lagoa, estão em zonas saturadas e de grande umidade do solo.

A existência de bolsões de argila em diferentes profundidades em adição ao substrato argiloso de suporte da lagoa, impossibilitam que obras de engenharia para rebaixamento do nível freático ou drenagem da lagoa sejam soluções definitivas para inibir o alto grau de saturação do solo.

Soluções socioambientais podem ser levantadas a partir do diagnóstico realizado. O aumento da área de preservação permanente, com manutenção da cobertura vegetal ou a desapropriação dos terrenos e construções devem ser considerados.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocupação desordenada causada pela urbanização por diversas vezes não respeita as metragens estabelecidas pela legislação para conservação das Áreas de Preservação Permanente, não sendo exceção as áreas loteadas por empresas para o município.

O licenciamento ambiental possui a função de estabelecer os limites e critérios para a construção nos loteamentos, dando enfoque a preservação ambiental e a manutenção da qualidade de vida da população que residirá no local.

As ferramentas de planejamento determinam o uso e ocupação do solo, áreas de expansão urbana e preservação de áreas naturais. Os métodos de investigações geofísicas podem auxiliar na caracterização física preliminar e na remediação de áreas degradadas, assim como subsidiar estudos para diagnósticos ambientais. Por apresentar métodos não intrusivos, de investigação rápida e baixo custo de operação são alternativas viáveis, apesar de requererem atenção quanto a possíveis interferências das ondas eletromagnéticas devido a urbanização, como torres de transmissão e postes de energia.

Os resultados dos dados adquiridos em campo por meio do método de Eletrorresistividade determinam a existência de bolsões de argila e solo areno-argiloso saturado em áreas próximas as residências, responsáveis pelo surgimento de danos estruturais nas construções. É evidente a alta saturação medida no solo mesmo em época de seca na região estudada a partir da compilação de todos os dados.

No caso do loteamento residencial Santa Clara 2, é fundamental que a APP seja reflorestada e preservada, com o intuito de aumentar os índices de evapotranspiração e estabilizar as taxas de infiltração e saturação do solo ao longo do ano, inviabilizando a ocorrência do escoamento superficial e consequentes alagamentos, além de estabelecer uma barreira física à poluição.

Além da aplicação do método de Eletrorresistividade é recomendado realizar ensaios de infiltração para definição do grau de permeabilidade multipontual, cujo cruzamento com os dados de resistividade podem resultar na visão abrangente em áreas de inundação e profundidade do nível freático.

A análise da ocupação da área de estudos, os perfis de resistividade e a delimitação e conservação da APP podem servir de base para o mapeamento integrado, a fim de determinar a área de influência da lagoa no residencial e os limites do nível freático raso.

11. REFERÊNCIAS

BAESSA, M. P. M.s; OLIVA, A.; KIANG, C. H. 2010. **Imageamento elétrico 3D em área contaminada por hidrocarboneto Polo Industrial de Cubatão – SP.** Revista Brasileira de Geofísica, vol. 28 n°4, São Paulo, Dec. 2010.

BARROS, M. V. F; SCOMPARIM, A; KISHI, C. S; CAVIGLIONE, J. H; ARANTES, M. R. L; NAKASHIMA, S. Y; REIS, T. E. S. **Identificação das Ocupações Irregulares nos Fundos de Vale da Cidade de Londrina/PR por meio de Imagem Landsat 7.** Curitiba – PR: UFPR, 2003. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/raega/article/viewFile/3350/2686>> Acesso em 09 de nov. de 2017.

BORTOLIN, J. R. M.; MALAGUTTI FILHO, W. 2010. **Método da eletrorresistividade aplicado no monitoramento temporal da pluma de contaminação em área de disposição de resíduos sólidos urbanos.** Eng Sanit Ambient v. 15, n.4, p. 367 – 374.

BRASIL. IBGE. **Censo Demográfico,** 2015. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/rio-claro/panorama>> . Acesso em 08 de nov. de 2017.

BRASIL. Lei nº 082, de 25 de setembro de 2013. **Dispõe sobre o zoneamento urbano, uso e ocupação do solo do município de Rio Claro.** Estado de São Paulo.

BRASIL, Lei nº 3.806, de 28 de dezembro de 2007. **Dispõe sobre a revisão do Plano Diretor do Município de Rio Claro.** Estado de São Paulo.

BRASIL, Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. **Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências.** Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=555>. Acesso em 23 de out. de 2018.

BRASIL, Lei nº12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em 04 de nov. 2018.

BRASIL. Lei nº 16.561, de 25 de maio de 2012. **Código Florestal**. Brasília 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em 22 de abr. 2017.

BRASIL, **Resolução do CONAMA 303**, de 20 de março de 2002, dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Brasília, DF: Congresso Nacional. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>. Acesso em 04 de nov. 2018.

CARLOS, I. M.; ELIS, V. R.; PRADO, R. L.; PORSANI, J. L. 2012. **Métodos geofísicos integrados para a caracterização hidrogeológica dos aquíferos da microbacia Andes, Bebedouro, em São Paulo**. Revista Brasileira de Geociências, vol. 24 nº3, São Paulo. Set. 597-614p.

CAVALCANTI, S. S.; SATO, H. K.; LIMA, O. A. L. 2002. **Geofísica elétrica na caracterização da hidrologia subterrânea na região do Aterro Metropolitano Centro, Salvador, Bahia**. Brazilian Journal of Geophysics, vol. 19 nº2. 155-168p.

ELIS, V. R.; BARROSO, C. M. R.; KIANG, C. H. 2004. **Aplicação de ensaios de resistividade na caracterização do Sistema Aquífero Barreiras/ Marituba em Maceió -Al**. Revista Brasileira de Geofísica, vol. 22 nº2, São Paulo, Oct. 101-113p.

FOSTER, S.S.D. & HIRATA, R.C.A. 1988. **Groundwater pollution risk evaluation: themethodology using available data**. CEPIS/PAHO/WHO. Lima, Peru. 78 p.

KNÖDEL, K.; LANGE, G.; VOIGT H.-J. 2007. **Environmental Geology**. Federal Institute for Geosciences and Natural Resources. 205-210p.

KEAREY, P. Electrical surveying. In KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. An Introduction to Geophysical Exploration. Blackweell Plublishing, 2002.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1986. Texto básico para a disciplina “Manejo de Bacias Hidrográficas”. 108-114p.

MADRUCCI, V.; TAIOLI, F.; ARAÚJO, C. C. 2005. **Análise integrada de dados de sensoriamento remoto, geologia e geofísica no estudo de Aquífero Fraturado, Lindóia – SP**. Revista Brasileira de Geofísica, vol. 23 nº4, São Paulo, Oct.Dec.

- MENDES, R. L. R.; VERMA, O. P. 2002. **Prospecção de água subterrânea na região de Belém (PA) através de perfilagem geofísica de poço e eletrorresistividade.** Revista Brasileira de Geociências, vol. 32 nº1, Março. 87-94p.
- MORAES, F.; BACELLAR, L. A. P.; ARANHA, P. R. A. 2008. **Study of flow in vadose zone from electrical resistivity surveys.** Revista Brasileira de Geofísica, vol. 26 nº2, São Paulo, Abril. 115-122p.
- MORAES, I. C.; CONCEIÇÃO, F. T.; CUNHA, C. M. L.; MORUZZI, R. B. 2012. **Interferência do uso da terra nas inundações da área urbana do córrego da servidão, Rio Claro (SP).** Revista Brasileira de Geomorfologia, vol. 13 nº2, Abril-Junho. 187-200p.
- OLIVA, A.; KIANG, H. C. 2002. **Caracterização Hidroquímica de Águas Subterrâneas no Município de Rio Claro – SP.** XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 08p.
- OLIVA, A. 2006. **Estudo hidrofaciológico do Aquífero de Rio Claro no município de Rio Claro – SP.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP, Campus de Rio Claro.
- OLIVEIRA, M. A. 1996. **Geologia e urbanização: estudo de caso na periferia da zona sul do município de São Paulo.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da UNICAMP.
- PRADO, H., OLIVEIRA, J. B., ALMEIDA, C.L. F. 1981. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo. Quadrícula de São Carlos.** Instituto Agrônomo de Campinas.
- RIBEIRO, C. A. A. S., SOARES, V. P., OLIVEIRA, A. M. S, GLERIANI, J. M. 2005. **O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente.** Revista Árvore v.29 n.2, Viçosa, mar./abr., 203-212p.
- RODRIGUES, R. R. **Uma discussão nomenclatural das formações ciliares.** Em: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. **Matas ciliares: conservação e recuperação.** São Paulo. FAPESP, 2000. 91-100p.
- SANTOS, M.J.Z. (1986-1987). **Análise de variabilidade anual das precipitações em Rio Claro (SP).** Revista de Geografia, São Paulo, 5-6 p.29-53.
- SCS - Soil Conservation Service. National Engineering Handbook, Chapter 7. Hydrologic Soil Groups. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC. May, 2007.

TELFORD, W. M; GELDART, L. P.; SHERIFF, R E. 1990. **Applied geophysics**. Cambridge University Press.

TUCCI, C. E. M. Drenagem Urbana. **Ciência & Cultura**, São Paulo, v.55, n.4, 2003.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. **Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS. Porto Alegre, RS. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 2 n.1 Jan/Jun 1997. 135-152p.

TROPMAIR, H. 1992. **Atlas da qualidade ambiental e de vida de Rio Claro-SP**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP, Campus de Rio Claro. 72p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. 1975. **Hidrologia Aplicada**. Editora McGraw Hill, São Paulo.

ZAINE, J. E. 1995. **Geologia da formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP)**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP, Campus de Rio Claro. 33p.