



Avaliação geológica e geotécnica preliminar da degradação ambiental das áreas úmidas na região de Leme-Brasil

Preliminary geological and geotechnical assessment of the wetlands environmental degradation in Leme's region- Brasil

Failache, Moisés¹ ✉ - Zuquette, Lázaro

Recibido: 9 de mayo de 2015 • Aceptado: 05 de octubre de 2015

Resumo

Este trabalho apresenta uma avaliação geológico-geotécnica preliminar das áreas úmidas da região de Leme localizada no Estado de São Paulo-Brasil, enfocando-se nos mecanismos que controlam a sua dinâmica de água. Os métodos utilizados foram baseados no uso de ferramentas de geoprocessamento, trabalhos de campo, nas características geológico-geotécnicas dos materiais geológicos, no uso do solo e em dados pluviográficos. Foram identificadas 112 áreas úmidas totalizando uma área de 901,03 ha as quais foram classificadas como depressionais. Estas foram agrupadas em 4 grupos com comportamento hidrológico distinto. Os graus de degradação ambiental variaram principalmente por conta da intensidade das atividades antrópicas e pelas características da configuração geológica e geotécnica de cada grupo. Os grupos que se encontram mais degradados foram aqueles que não estavam assentados sobre os diabásios. Entretanto independente do grupo, na maioria das áreas úmidas, foi verificado a diminuição da lâmina de água no seu interior afetando principalmente a capacidade destas sustentar o fluxo dos canais de drenagem durante a estiagem.

Palavras Chaves: *Áreas úmidas, Avaliação Geológico-Geoécnica, Degradação Ambiental, Dinâmica de água.*

Abstract

This paper presents a preliminary geological and geotechnical assessment of Leme's wetlands located in state of São Paulo-Brazil focusing on the mechanisms that control the water dynamics. The methods used were based on geoprocessing tools, field work, geological and geotechnical characteristics of geological materials, land use and rain data. It was identified 112 wetlands which were classified as depressionals, with a total area of 901.03ha. These were grouped into 4 groups with different hydrological behavior. The environmental degradation degrees ranged mainly due to the intensity of human activities and the geological and geotechnical characteristics of each group. The groups that are most degraded were those who were not on the diabase. However regardless of the group, was found that most of the wetlands decreased superficial water height affecting their capacity to sustain the flow of drainage channels during the dry season.

Keywords: *Wetlands, Geological and Geotechnical assessment, Environmental Degradation, Water Dynamics.*

1. Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil,

✉ mffailache@usp.br

INTRODUÇÃO

As áreas úmidas são ambientes que apresentam uma grande importância ambiental, bem como uma alta vulnerabilidade (Bates et al., 2008; Poff et al., 2002; Winter, 2000). Estas são definidas como ambientes que estão sujeitos a inundações estacionais ou permanentes, que mantêm o solo suficientemente saturado para o estabelecimento de plantas aquáticas e o desenvolvimento de solos hidromórficos. Geralmente se encontram em zonas planas, de baixo relevo, em solos mal drenados, apresentam ainda condições mínimas de precipitação e/ou drenagem que permitem o surgimento de lamina de água pouco profundas. Estes contem de 10 a 20% do carbono terrestre, cobrem aproximadamente entre 5 a 8% da superfície da Terra. Estima-se uma perda de aproximadamente de 50%, estando localizada principalmente em países em desenvolvimento. Entretanto mesmo não sendo um número expressivo, não reflete a degradação ambiental na sua totalidade, visto a dificuldade de avaliar sua degradação. A dificuldade associa-se principalmente na correlação e avaliação das variáveis do regime hídrico (padrão espacial e temporal de alagamento ou saturação do solo), das variáveis ecológicas (ciclo energético e período de crescimento) e das variáveis químicas (qualidade de água (Mitsch et al., 2007).

Além das dificuldades para avaliar estas áreas, as pesquisas a nível mundial ainda são incipientes frente a importância desses ambientes. Sendo que grande parte da pesquisa foi realizada nos países desenvolvidos. (Bartoldus, 1999) constatou que até o final da década de 1990 já haviam sido desenvolvidos mais de 40 métodos rápidos de avaliação. (Kusler, 2004) em levantamento mais detalhado encontrou mais de 90 métodos. Grande parte desses métodos foi desenvolvida nos Estados Unidos, entretanto foram identificados métodos propostos pelos Europeus (Maltby et al., 2009), e para países em desenvolvimento (Koudstaal et al., 1994). No Brasil verificou-se poucos estudos estando relacionados principalmente a descrição de espécies e comunidades e sua inter-relação com este ecossistema (Neiff et al., 1990; Giovannini, 1997; Mendiondo et al., 2000), a sistemas de áreas úmidas artificiais ou naturais para o tratamento de efluentes líquidos (Zacarkim, 2006; Leal, 2009), mapeamento dessas áreas (Meller, 2011; Golubeff, 2012) e seu gerenciamento (Tassi, 2008).

No sentido de apresentar uma diretriz na caracterização avaliação e monitoramento das áreas úmidas a (EPA, 2006) propôs três níveis baseados na quantidade de dados e recursos financeiros disponíveis: Avaliação da paisagem (Nível 1), Avaliação rápida (Nível 2), e Avaliação intensiva in situ (Nível 3). A avaliação da paisagem utiliza basicamente dados prévios, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e sensoriamento remoto para obter rapidamente informações a respeito das condições das áreas úmidas. O Nível 2 de avaliação utiliza indicadores de simples obtenção como a composição do sedimento, tipos de classes de plantas, morfologia, área inundada, etc. Estes métodos avaliam individualmente cada área úmida e fornecem uma única classificação ou pontuação que mostra as condições gerais de degradação ambiental. A grande vantagem desta abordagem é que gera rapidamente uma avaliação das áreas úmidas, com apenas levantamento de campo simples. O terceiro nível é baseado em trabalho de campo intensivo, necessitando de uma grande quantidade de dados tais como um estudo detalhado de espécies, a variação do nível d'água e características físico-químicas ao longo do tempo. Apesar de ser uma avaliação mais rigorosa, requer mais mão de obra, material, dinheiro e tempo.

Um fato interessante a respeito desta proposta é que cada nível pode ser usado como validação para o outro como verificado por (Mack et al., 2000; Wardrop et al. (2007).

Independentemente do nível de avaliação utilizado, para uma compreensão dos graus de degradação ambiental e as funções das áreas úmidas primeiro é necessário classificá-las, em virtude da variedade das funções e mecanismos que regem cada tipo. Esta classificação permite que seja compreendido o funcionamento hidrológico básico de cada tipo, visto que ambientes semelhantes tendem a ter características, propriedades e funções similares. Entre os principais sistemas de classificação das áreas úmidas cita-se o proposto por (Brinson, 1993) chamado de HMG (Hidrogeomorphic Approach). Os atributos base dessa classificação são a posição topográfica, a fonte de água e a hidrodinâmica das áreas úmidas. Entretanto observou-se que na classificação proposta pela HGM, uma classe ainda apresenta um grau de variabilidade, sendo necessário assim classificar em subclasses. (Brinson et al., 1995) considera que o nível de subclasses proporciona a resolução para detectar diferenças funcionais das áreas úmidas. Este fato pode ser observado quando se analisa dois tipos de áreas úmidas depressionais localizadas nos EUA. A primeira não apresenta uma conexão continua a nível regional das águas subterrâneas e de drenagens, tendo como principal fonte de água o escoamento superficial, o degelo e as chuvas (Zedler, 2003). Enquanto que a segunda além das fontes já citadas apresenta uma alta relação com o fluxo subterrâneo regional (Würster et al., 2003), desse modo apresentando uma dinâmica distinta.

Baseado neste contexto o objetivo deste trabalho foi classificar e avaliar a degradação ambiental das áreas úmidas da região de Leme localizada no Estado de São Paulo-Brasil, enfocando-se principalmente nos mecanismos que controlam a dinâmica de água. A região estudada tem um histórico de uso e ocupação agrícola e urbana intenso, onde muitas das áreas úmidas foram ocupadas por cultivos, apresentam a construção de tanques e canais artificiais de drenagem, além de haver evidências de redução da lamina de água no seu interior.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A região de estudo está localizada no centro-leste do Estado de São Paulo envolvendo os municípios de Leme, Pirassununga, Santa da Cruz da Conceição, Corumbataí e Araras, entre os meridianos 47°15' e 47°30'W e os paralelos 22°00' e 22°15'S (Figura 1), cobrindo uma área de 717,43km². A região apresenta duas rodovias principais as quais são a Anhanguera (SP330) que corta ao centro no sentido N-S e a rodovia SP-225 no sentido E-W.

A rede de drenagem da região de Leme apresenta 695 km de extensão, com uma densidade de 0,96 km/km². Os principais rios são o Rio Moji-Guaçu que corre a leste no sentido S-N drenando quase toda a região, o Ribeirão do Roque a norte sentido W-L e o Ribeirão do Meio a sul sentido SW-NE.

O clima da região é caracterizado como subtropical úmido a muito úmido, com presença de fortes estiagens durante o inverno. As chuvas se concentram principalmente nos meses de novembro a março tendo como precipitação média anual aproximadamente de 1300mm como pode ser observado na Figura 2. A evapotranspiração média anual apresenta valores médios anuais de 1000 mm enquanto que as temperaturas médias anuais variam de 20 a 21° C

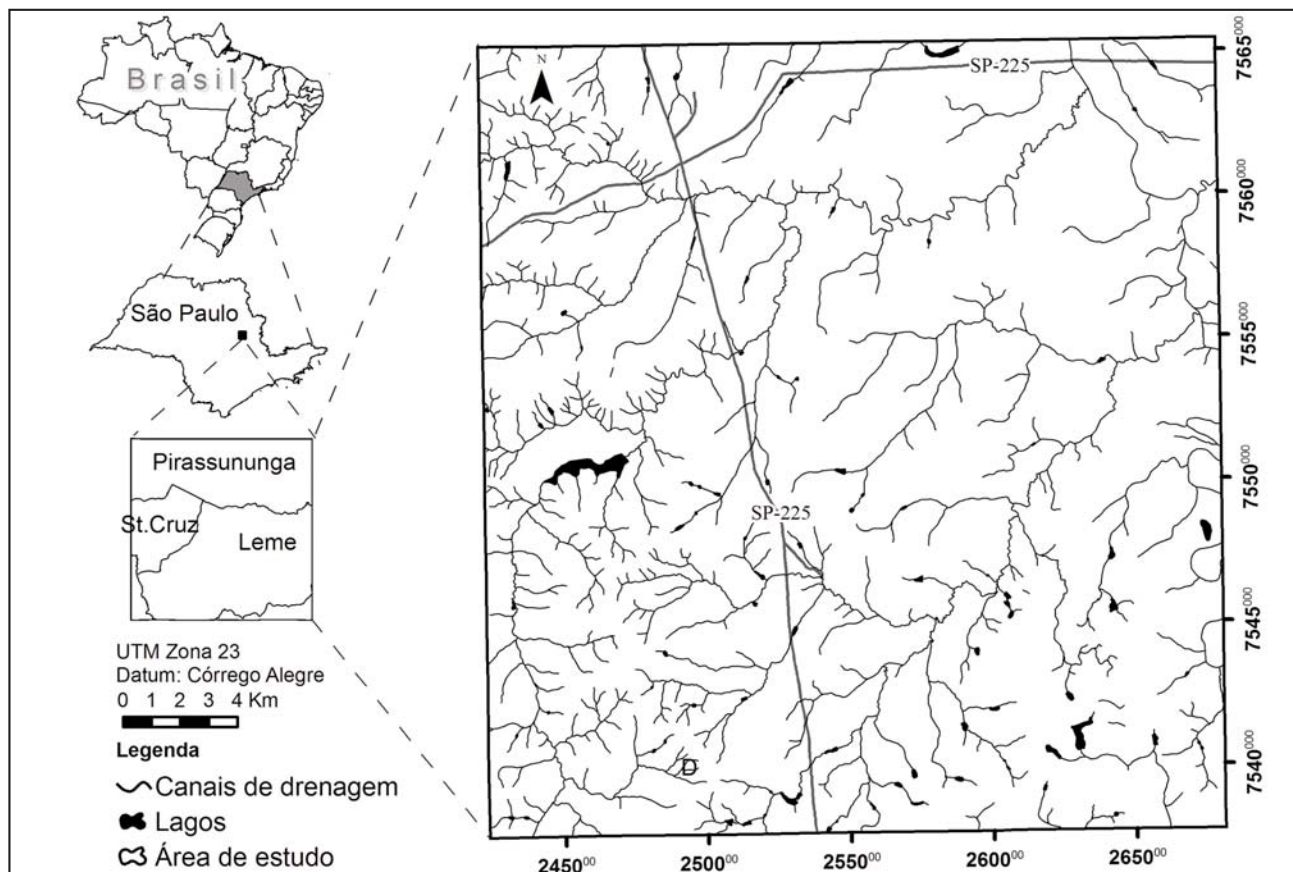


Figura 1. Localização da área de estudo.

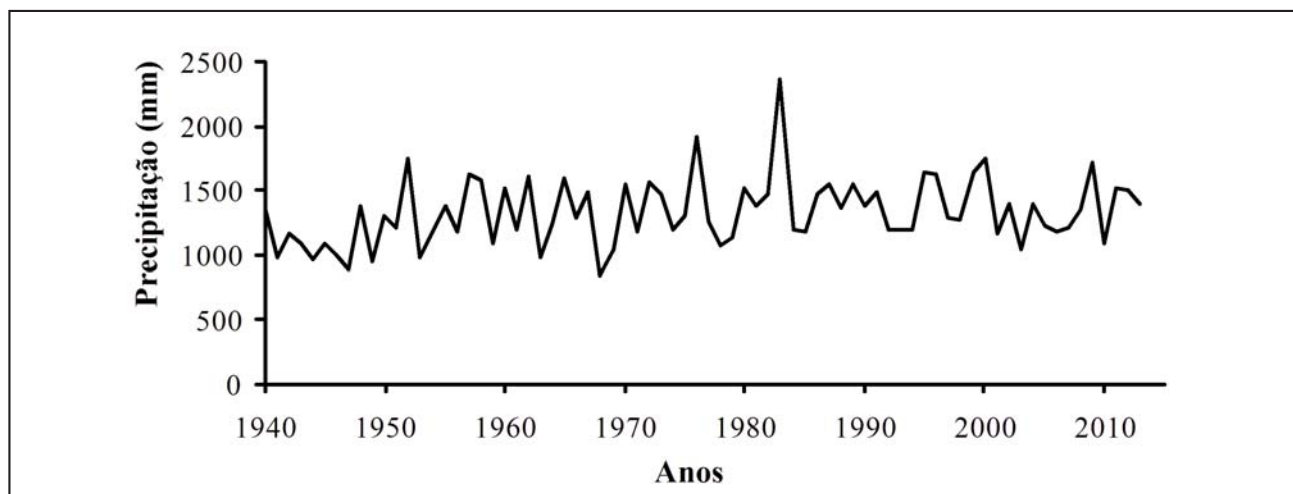


Figura 2. Padrão de chuvas anuais da área de estudo.

Em geral, a vegetação natural existente na área de estudo é constituída um tipo de savana denominado Cerrado e bosques tropicais densos. O uso do solo é predominantemente agrícola sendo a Cana de Açúcar o principal.

A região de Leme está imersa na zona geomorfológica denominada Depressão Periférica (Zona Moji-Guaçu) (Ávila *et al.*, 1981). Os principais tipos de relevo da região são as colinas amplas, médias, morrotes alongado, mesas basálticas, e encostas sulcadas por vales profundos. A declividade varia de 0 a 15% na maior parte da área e acima de 15% nos setores mais

dissecados do terreno. As cotas altimétricas oscilaram na faixa de 530m a 800m.

As formações geológicas que compões a área de estudo são a Serra Geral, Botucatu, Pirambóia, Corumbataí, Irati e Taúí, sendo que sua descrição é apresentada a seguir:

1. A Formação Serra Geral a qual é representada pelas intrusivas básicas caracteriza-se por soleiras e diques de diabásio de textura faneríticas e coloração cinza a preta. Apresentam associação íntima com as regiões de falhamentos normais com composição mineralógica constituída de plagioclásio e augita.

2. A Formação Botucatu apresenta arenito róseos e avermelhados, finos a médios, bem classificados e friáveis. Estes arenitos foram depositados em ambientes desérticos, podendo está silicificados formando escarpas abruptas devido a erosão diferencial.
3. A Formação Pirambóia é composta por arenitos fluviais esbranquiçados, amarelados e róseos, médios e finos e às vezes bastante argilosos. Esta formação situa-se em regiões com ondulações suaves e interflúvios aplainados.
4. A Formação Irati geralmente é constituída de argilitos, siltitos e folhelhos de carbonos e calcários, podendo apresentar seixos de quartzo e sílex. Na região as litologias predominantes são siltitos e folhelos cinza escuros.
5. A Formação Corumbataí é composta por folhelhos variegados cinzentos a roxo, argilitos e siltitos podendo apresentar cimentação calcária.

6. A Formação Tatuí é apresenta siltitos arenosos de cores arroxeadas podendo ocorrer subordinamente camadas de arenitos, calcários, folhelhos e sílex.

Aspectos gerais e modelo conceitual

Os procedimentos utilizados neste trabalho tiveram como objetivo avaliar preliminarmente os graus de degradação ambiental das áreas úmidas da região de Leme, enfocando principalmente a dinâmica de água. O conjunto metodológico foi estruturado conforme a Figura 3, que mostra o esquema das principais etapas do trabalho. O modelo conceitual básico de análise representando as áreas úmidas da região é mostrado na Figura 4.

Baseado no modelo conceitual, o balanço hídrico das áreas úmidas foi determinado através da Equação 1. O entendimento do balanço hídrico segundo (Acreman e Felicity, 2006) é um importante teste quantitativo na concepção do modelo hidrológico, entretanto este se constitui apenas como uma etapa preliminar da compreensão dos seus mecanismos de controle.

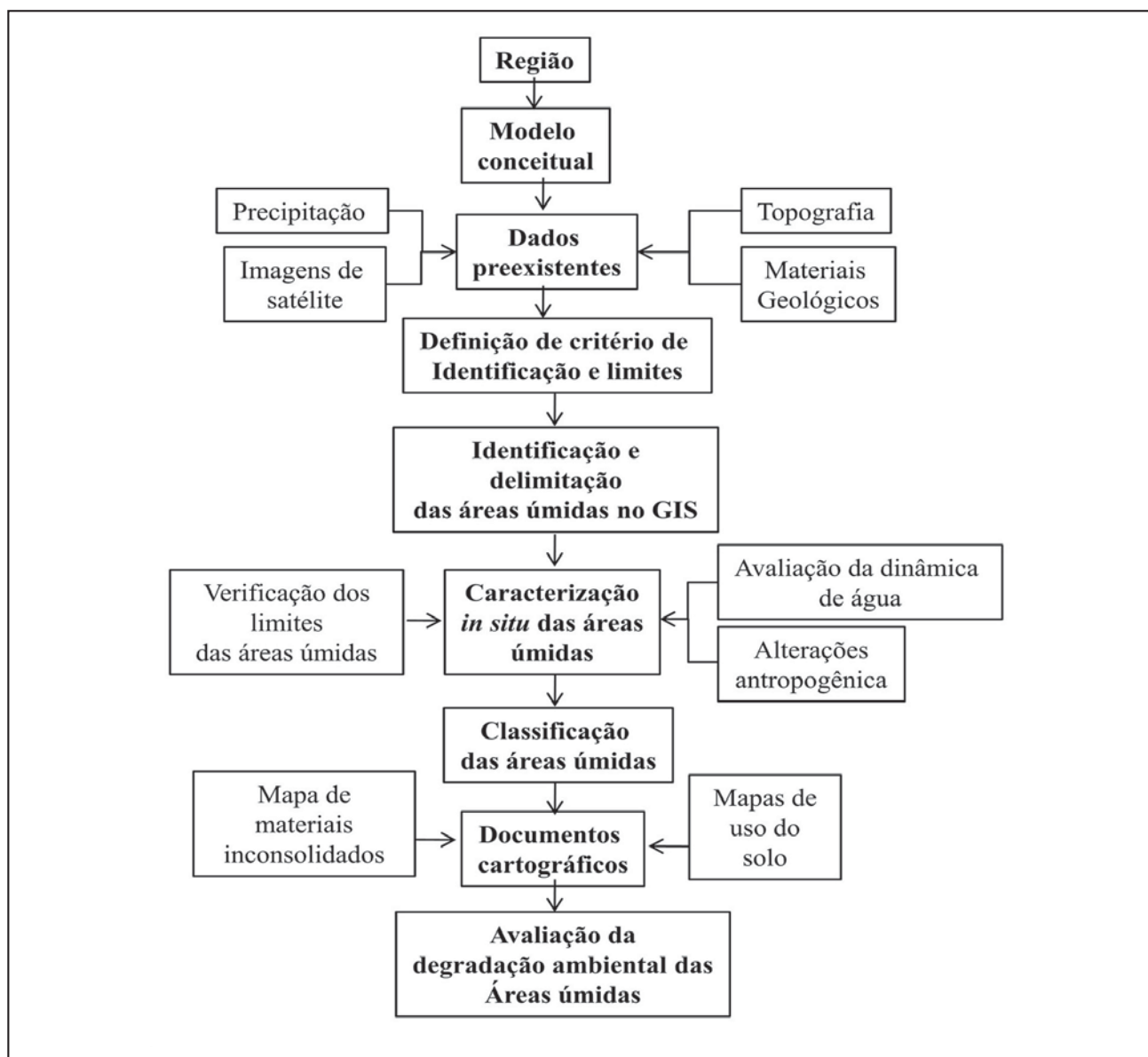


Figura 3. Esquema dos métodos utilizados para avaliar a degradação das áreas úmidas da região de Leme.

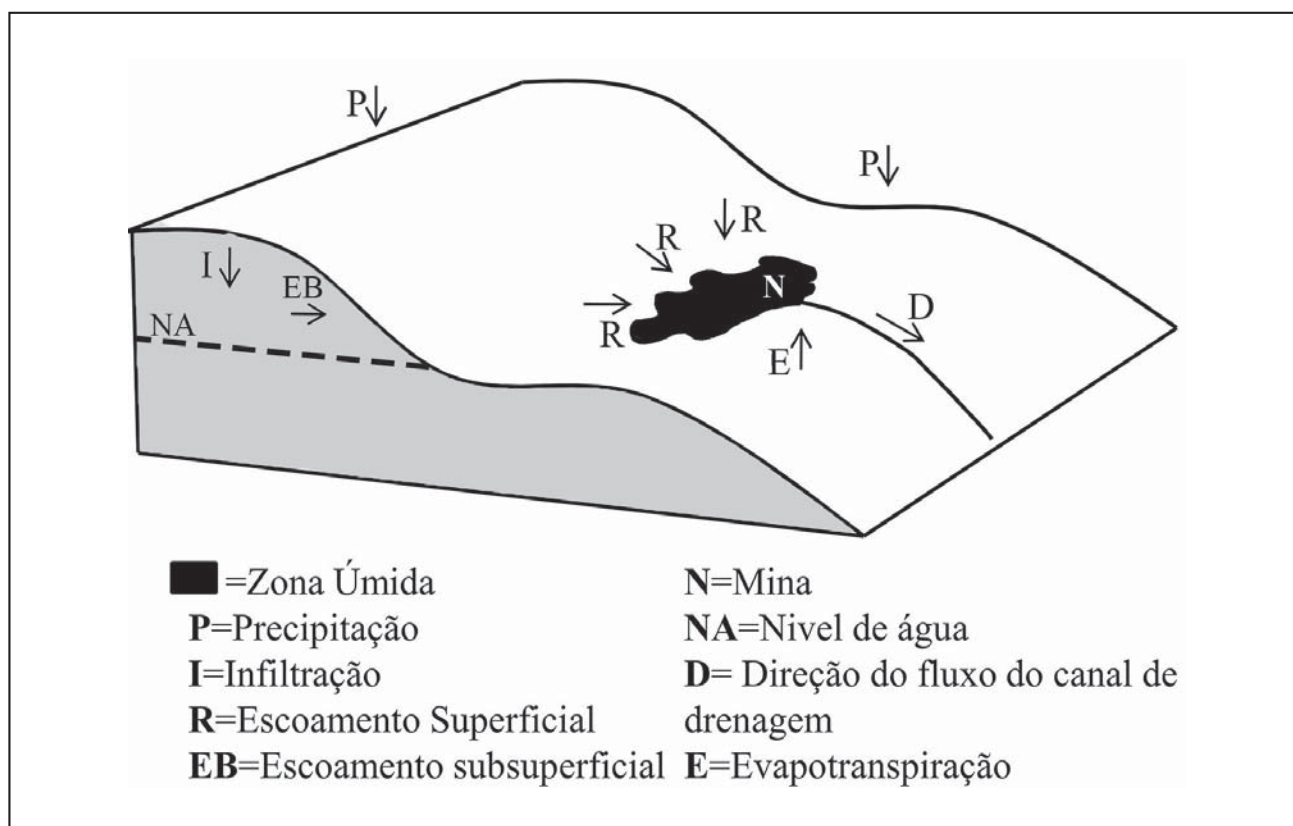


Figura 4. Modelo conceitual do funcionamento hidrológico das áreas úmidas da área de estudo.

$$BH = (P + R + L + S) - (E + D) \quad [1]$$

Onde:

BH=Balanco hídrico; P=Precipitação; R= Escoamento superficial; L=Escoamento Subsuperficial; S=Minas; E=Evaporação; D = Drenagem.

Obtenção e avaliação dos dados preexistentes

Nesta etapa, levantaram-se dados preexistentes necessários para a classificação das áreas úmidas e avaliação dos distintos graus de degradação ambiental. Estes dados referiram-se à caracterização básica dos materiais inconsolidados, de mapas topográficos, de mapas de materiais geológicos, imagens de satélite, fotos aéreas e registros pluviográficos. Em seguida foram avaliados para verificar sua qualidade no que diz respeito à representatividade destes para o modelo conceitual, assim como na representação adequada do meio físico. Os dados preexistentes levantados foram:

1. Mapas Topográficos na escala 1:50.000 elaborados pelo (IBGE, 1971);
2. Mapa de Substrato Rochoso na escala 1:50.000 elaborado por (Lollo, 1991);
3. Mapa e caracterização básica dos materiais inconsolidado elaborados por (Lollo, 1991);
4. Registros pluviográficos extraídos de (ANA, 2015)
5. Imagem de satélite, fotos aéreas, etc.

Definição de critério de identificação e limites das áreas úmidas

A definição de critérios de identificação e delimitação das áreas úmidas em campo se baseou no manual da EPA (SIPPLE, 1988) que de acordo com (Mitsch et al, 2007) é o mais eficiente. O manual proposto pela EPA considera três indicadores (vegetação, solos e hidrologia), porém não requer indicadores ou evidências positivas dos três fatores. Ele se baseia na preponderância de certos indicadores e estão em ordem hierárquica na natureza.

De maneira prática, a abordagem da EPA considera primeiramente a vegetação como indicador principal, onde a ocorrência ou não de certos tipos de plantas determinaram se é uma área úmida ou não. O segundo indicador avaliado é a hidrologia, onde os critérios básicos estão relacionados aos processos de inundação, saturação e de encharcamento. O manual afirma que a identificação destes dois parâmetros é suficiente, todavia eles ressaltam que, caso as evidências hidrológicas não sejam conclusivas deve-se avaliar o solo. Os parâmetros de solos no geral são utilizados principalmente para o delineamento da extensão da área úmida, principalmente quando não é identificado um limite claro.

Assim, os indicadores utilizados para identificar e delimitar as áreas úmidas in situ foram: presença de espécies hidrófitas como a *Typha domingensis*, presença de solos hídricos, alto conteúdo de matéria orgânica, marcas de inundação, observações visuais de ambientes redutores, de saturação de solo e de inundação. Ressalta-se que não se utilizaram todos os critérios propostos pelo manual da EPA, pois alguns destes não se

encontravam disponíveis, como por exemplo, a variação do nível do lençol freático.

Os critérios utilizados para identificação e delimitação do Sistema de Informação Geográfica (SIG) foram: evidências de saturação, inundação, posição topográfica, morfologia e o formato das áreas úmidas.

Identificação e delimitação das áreas úmidas no GIS

Nesta etapa foram identificadas e delimitadas previamente as áreas úmidas e as zonas contribuição de escoamento de cada uma. A identificação e a delimitação foram feitas no ArcGIS 9.3 a partir das imagens de satélite mais antigas na prerrogativa de que nenhuma área úmida havia desaparecido. A zona de contribuição do escoamento superficial foi traçada a partir do modelo digital do terreno elaborado na escala 1:50.000. A execução deste procedimento foi feita no ArcScene 9.3, onde era possível visualizar mais facilmente a zona de contribuição, controlando o exagero vertical.

Caracterização in situ das áreas úmidas

A caracterização das áreas úmidas in situ consistiu de três fases: verificação de limites em campo, avaliação condições hidrológicas e a identificação de alterações antropogênicas.

Para a verificação dos limites das áreas úmidas em campo foram tomados pontos de GPS onde se observava a mudança dos solos hidromórficos. Quando não era possível verificar este critério, analisava-se a transição da vegetação hidrófita. Após a obtenção desses pontos, foi feito ajustes dos limites quando necessário das delimitadas na etapa (2.5).

Para avaliar a dinâmica de água e as condições hidrológicas foram realizadas duas campanhas, uma antes do período mais chuvoso e outra após a ocorrência de eventos significativos de chuva. Analisaram-se as condições das áreas úmidas se estas apresentavam lamina d'água na superfície, lamina d'água nos canais artificiais de drenagem/tanques, evidências de saturação ou se estavam completamente secas. Para auxiliar na verificação de aumento da altura de água foram instaladas estacas de madeira como referência. A cravação foi feita em locais próximos de onde começavam as evidências de saturação ou alagamentos, podendo ser observada na Figura 5. Concomitantemente a esta etapa foram analisados os dados pluviográficos. A quantidade precipitada foi subdividida em chuva por dia.

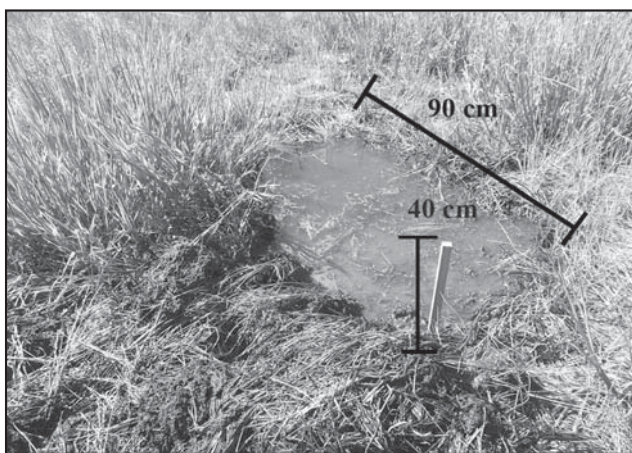


Figura 5. Estaca cravada para ser utilizada como referência na variação da quantidade de água nas áreas úmidas.

A identificação de alterações antropogênicas correspondeu a observação das diversas intervenções antrópicas que pudessem alterar o regime hídrico das áreas úmidas. Dentre as intervenções são citadas os canais de drenagem e lagos artificiais, a presença de cultivos no interior das áreas úmidas, e o uso do solo no entorno destas.

Classificação das áreas úmidas

A classificação das áreas úmidas da região de Leme se baseou na proposta de *Brinson (1993)* a qual considera a posição topográfica, a fonte de água e a hidrodinâmica. Na posição topográfica foi avaliado onde a área úmida se encontra, se está no topo, no meio ou na base da encosta. Além disso, foi levado em consideração o contexto geomorfológico das áreas úmidas, ou seja, se está isolada de rios e lagos, se funciona como uma bacia de captação, em quais tipos de materiais geológicos estavam assentadas. Na fonte de água foram analisados quais são os principais componentes de entrada, seja ela a precipitação, escoamento superficial, escoamento subsuperficial ou minas, etc. A hidrodinâmica avaliou a direção do fluxo da água, se era vertical ou horizontal.

Documentos cartográficos

Para realizar a avaliação da degradação ambiental foi necessário elaborar documentos cartográficos, a fim de retratar espacialmente as características dos materiais inconsolidados e das atividades antrópicas. Os mapas elaborados foram um mapa de material inconsolidado e dois mapas de uso e ocupação, sendo um do ano de 1991 e outro de 2014. O mapa de materiais inconsolidados se baseou no trabalho de *Lollo (1991)*. Os mapas de uso do solo foram elaborados a partir de imagens *Landsat (1991)*. Ressalta-se que as imagens base para a elaboração do uso e ocupação eram do mesmo período do ano para retratar a mesma estação climática.

Avaliação da degradação das áreas úmidas

Esta etapa corresponde à sistematização, análise e avaliação dos aspectos de degradação ambiental das áreas úmidas. Foram correlacionados os dados de materiais geológicos, topográficos, morfologia, tamanho, condições hidrológicas e chuvas para compreender os mecanismos que controlam a dinâmica de águas dos diversos tipos de área úmida encontrados. Foram correlacionados ainda o uso do solo e componentes antropogênicos com o objetivo de analisar a interferência de cada um desses no processo de degradação. A análise desses componentes foi elaborada em duas porções, uma correspondendo à própria área úmida e a outra a sua zona de contribuição de escoamento superficial.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Características Básicas das Áreas Úmidas

No total foram identificadas 112 áreas úmidas totalizando 901,03ha, com uma média de 8,05ha, a maior apresentou uma área de 40,4 ha e a menor 1,08 ha. O formato e a extensão são bastante variados, entretanto tendem a apresentar um formato mais circular, funcionando como uma bacia de captação de água. A disposição espacial e a posição topográfica também apresentaram variações. As áreas úmidas estão normalmente próximas umas das outras, todavia foram identificadas algumas como elementos isolados. No geral estas estão localizadas nos topos de morro, porém observou-se no meio de encostas ou próximo da base.

As zonas de contribuição de escoamento superficial das áreas úmidas somaram uma área de aproximadamente 5555,66 ha, apresentando valor médio, máximo e mínimos de 49,60 ha, 299,45ha e 1,6 ha respectivamente. A forma e a extensão também são variadas, podendo apresentar formatos mais circulares e/ou mais alongados. Na Figura 6 observa-se as relações de extensão das áreas úmidas e sua respectiva zona de contribuição e na Figura 7 a sua distribuição espacial.

Materiais Inconsolidados

O entendimento da distribuição e das características geotécnicas dos materiais inconsolidados no estudo das áreas úmidas é fundamental, pois reflete diretamente na relação infiltração/escoamento superficial, frente a diversos eventos de chuva, consequentemente afetando diretamente nos processos de recarga. Além disso, pode interferir no processo de erosão da zona de contribuição e de sedimentação das áreas úmidas.

Nesse contexto, observou-se que as áreas úmidas e sua respectiva zona de contribuição estão na sua maioria sobre os materiais residuais da Formação Serra Geral, Arenosos Coluvionares e os argilosos de rampa. Com menos frequência notou-se a ocorrência nos argilosos de rampa, arenosos aluvionares, residuais da Formação Tatuí e Irati. Ao analisar as características hidráulicas desses materiais observa-se que os arenosos coluvionares são os que apresentam os maiores valores de condutividade hidráulica, sugerindo que o processamento dominante é de descarga. Enquanto que os argilosos de rampa e os residuais das intrusivas básicas são menos permeáveis, indicando que o processo de saturação e inundação das áreas úmidas seja principalmente por escoamento superficial. De maneira geral a distribuição espacial dos materiais inconsolidados pode ser observada na Figura 8, enquanto que na Tabela 1, são apresentadas suas características geotécnicas.

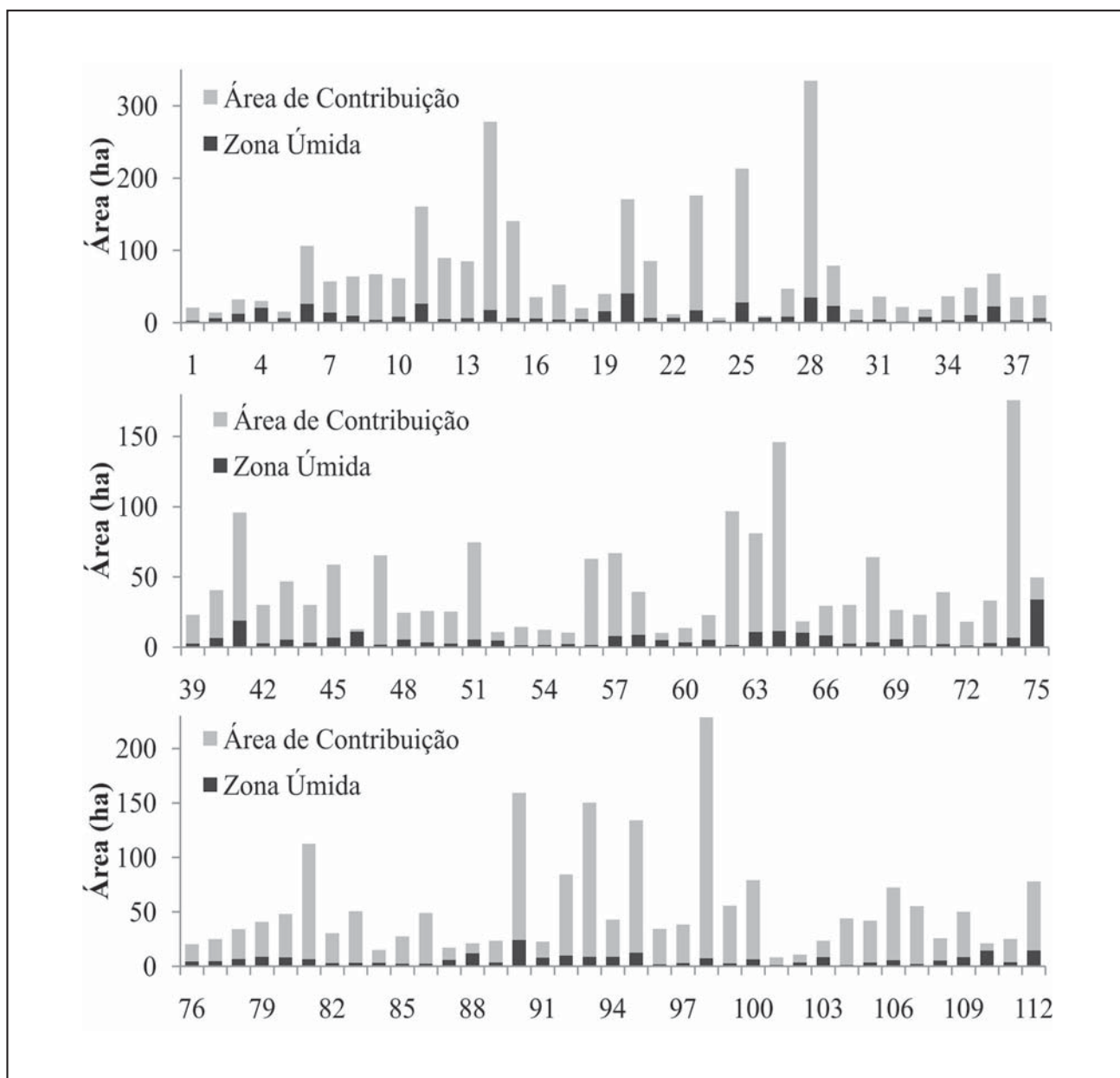


Figura 6. Distribuição das áreas úmidas na região de estudo e sua respectiva zona de contribuição.

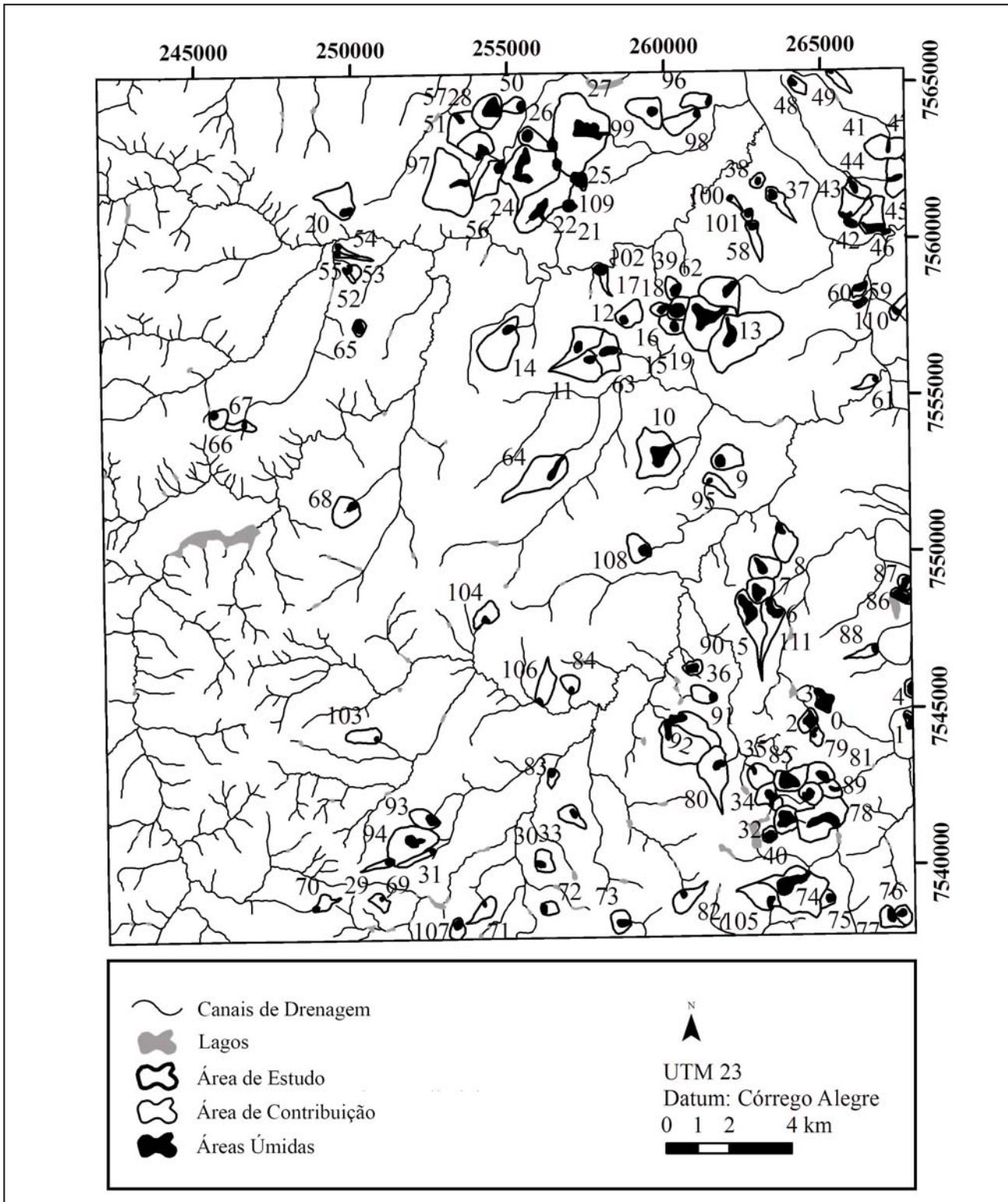


Figura 7. Extensões das áreas úmidas identificadas e das respectivas zonas de contribuição.

Mapa de uso e ocupação

Foram desenvolvidos dois mapas de usos do solo (Figura 9 e 10), um representando março de 1991 e outro março de 2014. A partir desses dois mapas foi possível identificar mudanças tanto espaciais como temporais de modo a identificar e

compreender a alteração das atividades antropogênicas. Os usos do solo foram divididos em 5 classes as quais foram: pastagem, culturas permanentes (laranja), culturas semi-perenes (cana de açúcar) e anuais (soja e milho), mata e reflorestamento. Além disso, nesse mapa foi acrescentada a distribuição espacial das zonas inundadas no interior das áreas úmidas.

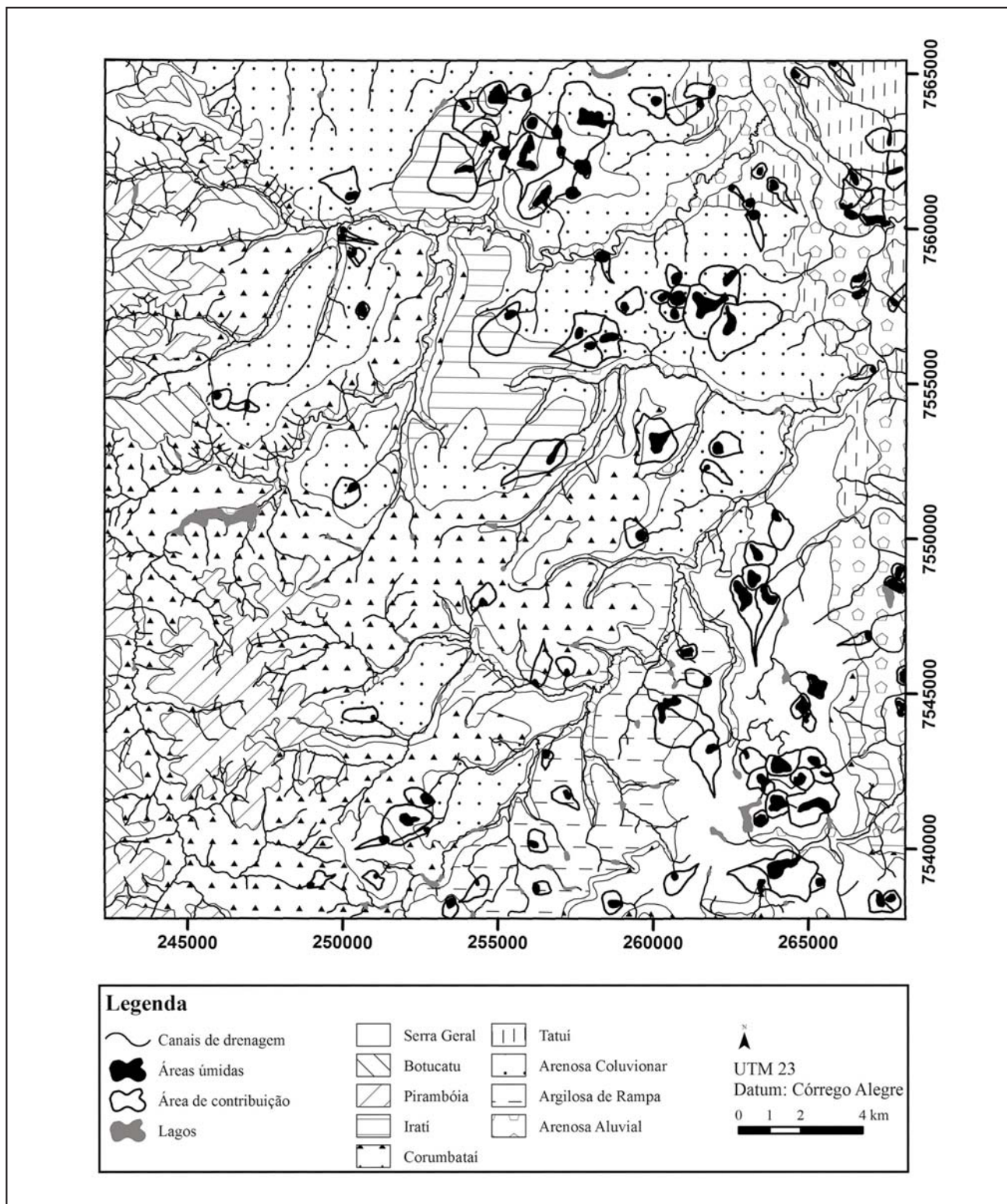


Figura 8. Mapa de materiais inconsolidados, áreas úmidas e zona de contribuição da região de Leme.

Observou-se que grande parte da área de estudo assim como nas áreas úmidas e a respectiva zona de contribuição apresentam usos agrícolas, sendo as culturas semi-perenes as predominantes. Ao comparar os dois anos houve uma redução das áreas vegetadas, assim como uma mudança das culturas

permanentes para semi-perenes e anuais. No que diz respeito as zonas inundadas das áreas úmidas, foi verificado uma diminuição significativa em área, de 269ha em 1991 para 58ha em 2014.

Tabela 1. Características geotécnicas dos materiais inconsolidados da região de Leme-SP.

Materiais	Área (km ²)	Arg(%)	Sil (%)	Ar.F (%)	Ar.M (%)	Ar.G (%)	Ped(%)	Esp (m)	ρs(g/cm ³)	ρd (g/cm ³)	e	n	k(cm/s)
Residual Serra Geral	109	38-58	5-20	16-48	5-6	1-3	0	<10	2,76-3,04	1,5	0,82 - 1,67	0,45 - 0,62	10 ⁻³ -10 ⁻⁴
Residual Botucatu	16,5	8-17	4-14	53-80	8-14	0-	0	<2	2,65	1,67	0,5	0,33	10 ⁻³ -10 ⁻⁴
Residual Pirambóia	39,3 ^o	17-37	1-6	38-72	10-18	0-1	0	<5	2,67	1,6	0,7	0,41	>10 ⁻³
Residual Corumbataí	173,3	62-72	18-22	4-17	2-3	0	0	<5	2,73	1,5	0,45 - 0,95	0,31 - 0,48	10 ⁻⁴ -10 ⁻⁵
Residual Irati	32,4	45-62	8-15	14-29	7-12	2-6	0	<5	2,85-3,00	1,3	1,00 - 1,20	0,50 - 0,54	10 ⁻⁴ -10 ⁻⁵
Residual Tatuí	28,4	27-43	11-17	30-39	8-18	2-5	0	<5	2,7	1,62	0,67	0,40	10 ⁻⁴
Arenoso coluvionar	48,7	8-23	4-5	14-24	44-67	4-7	0	<10	2,65-2,70	1,30 a 1,50	0,60 - 0,80	0,37 - 0,44	10 ⁻² -10 ⁻³
Argiloso de rampa	168,5	43-59	13-21	8-22	8-14	3-7	0-1	<5	2,7	1,5	1	0,50	10 ⁻⁴
Sedimento Aluvial	99,1	18-21	13-15	30-58	5-30	1-7	0-2	<2	2,67	1,40 a 1,60	0,60 - 0,90	0,37 - 0,47	>10 ⁻³

Caracterização in situ das áreas úmidas

A caracterização in situ buscou identificar e atribuir os limites em campo das áreas úmidas, bem como descrever de maneira geral as condições de usos e hidrológicas. No total foram visitadas 35 áreas úmidas. A identificação e os limites quando comparadas a partir das imagens de satélites com as de campo foram bastante coincidentes não sendo necessário grandes ajustes. Entretanto foi necessário acrescentar uma área úmida que não havia sido identificada nas interpretações. No total foram identificados três tipos usos no interior das áreas úmidas os quais foram os canais artificiais de drenagem, tanques e o plantio de cana de açúcar. Os tanques e os canais artificiais de drenagem ocorreram em 30 áreas úmidas, sendo estes construídos principalmente para extrair a água para irrigação e para pulverização de defensivos agrícolas. A construção dos tanques foi observada em diversas áreas úmidas enquanto que a construção de canais artificiais de drenagem bem como a presença de cultivos estão localizados a sul onde a presença das plantações de cana de açúcar são predominantes. Na Figura 11 (a,b,c) é possível ver exemplos dos tanques, dos canais artificiais de drenagem e da presença de cultivos intensivo no interior das áreas úmidas.

A verificação hidrológica das áreas úmidas foi feita em dois períodos, uma antes do início das chuvas e outra após o começo destas. Na primeira visita realizada foi possível observar que na sua maioria estavam secas e o nível de água estava abaixo da superfície. As que apresentavam água na sua superfície eram somente aquelas que tinham sofrido represamento. As condições dos materiais geológicos na superfície apresentavam-se bastante secos podendo ser notado sinais de rachaduras ao longo de algumas áreas úmidas. Além disso, verificou-se principalmente nas que estão assentadas sobre os colúvios arenosos sinais de assoreamento, desse modo reduzindo seu volume útil de água. A segunda visita foi feita após um mês, onde se notou condições hidrológicas distintas. Diversas áreas úmidas já apresentavam sinais de inundação, saturação e aumento de volume de água. Entretanto em outras não se verificou nenhuma destas evidências principalmente aquelas as quais haviam sido construídos canais artificiais de drenagem e tanques. Na Figura 12 (a e b) é possível verificar as diferenças entre a primeira e a segunda visita de uma área úmida.

No intuito de compreender as respostas hidrológicas das áreas úmidas foram analisadas as chuvas durante esse período. A Figura 13 mostra a evolução das precipitações durante o período entre as visitas. Ao analisar a precipitação ocorrida durante esse intervalo, se observou que ocorreram eventos que dependendo das condições do solo poderiam provocar a recarga das áreas úmidas tais como o do dia 23/02/2015 o qual choveu aproximadamente 80 mm. Durante a caracterização hidrológica as áreas úmidas apresentaram quatro condições iniciais: presença de lamina d'água nos tanques/canais de drenagem artificiais, presença de lamina d'água na superfície, evidências de saturação e secas. Na segunda visita além das condições mencionadas identificaram-se mais duas condições as quais foram: aumento da lamina d'água e aumento da lamina d'água nos tanques/canais artificiais.

Classificação e avaliação da degradação

A análise da degradação ambiental das áreas úmidas partiu do entendimento dos mecanismos que controlam a dinâmica de águas da região. Desse modo, as áreas úmidas avaliadas foram classificadas como depressionais. Estas ocorrem em depressões topográficas que permitem o acúmulo de água, apresentam inundações inferiores a 2 metros, podem estar próximas a rios e lagos ou estarem simplesmente isoladas hidrológicamente. As fontes de água potenciais são a precipitação, o escoamento superficial, escoamento subsuperficial e as minas. A direção de fluxo predominante ocorre das porções mais elevadas para o centro da depressão. A perda de água ocorre pela evapotranspiração, infiltração e dependendo da configuração da área úmida por canais de drenagens. As principais funções deste tipo estão relacionadas ao armazenamento temporal de água, dos processos de recarga e descarga, do controle de escoamento superficial e sustentar o fluxo dos rios durante os períodos de estiagem.

Entretanto esta classificação ainda é bastante abrangente sendo necessário incluir as áreas úmidas em um contexto geomorfológico. Ao correlacionar a classificação anterior com os materiais geológicos e ao relevo observou-se que as áreas úmidas estão assentadas sobre rochas de baixa permeabilidade associadas a uma topografia suave. Esta configuração permitiu o acúmulo de água necessário para formar as áreas úmidas

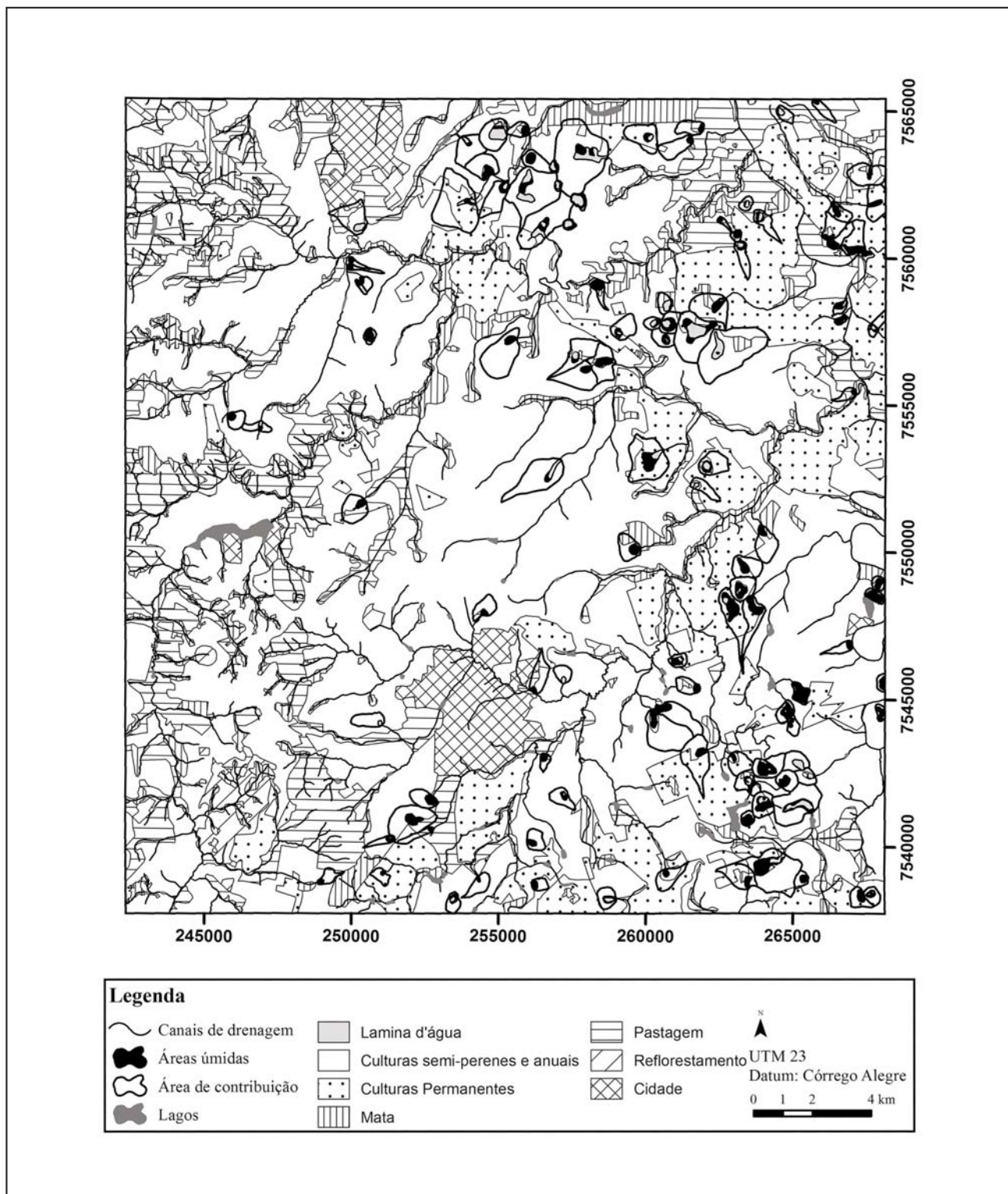


Figura 9. Mapa de uso e ocupação da área de estudo durante o período de 1991.

depressionais da região de Leme. A partir dessa análise foi possível agrupar em 4 grandes grupos (Figura 14). O primeiro grupo correspondeu aquelas que estavam assentadas sobre os diabásios tendo como material inconsolidado os residuais argilosos e os argilosos de rampa. No segundo grupo as áreas úmidas estavam assentadas sobre os materiais arenosos coluvionares, tendo como base destes solos o diabásio. O terceiro grupo se distingue do segundo grupo pelo fato de que as áreas úmidas incluídas nesta

categoria em vez de estarem sobre os diabásios estão sobre os argilitos da Formação Corumbataí. O quarto grupo está relacionado às áreas úmidas que estão assentadas sobre Formação Tatuí tendo como materiais inconsolidado os residuais desta formação e os arenosos aluvionares. Ressalta-se que a maioria das áreas úmidas estão localizadas nas regiões de topo de morro exceto as do grupo 4 que na sua maioria estão próximas ao Rio Mogi-Guaçu. (Figura 15).

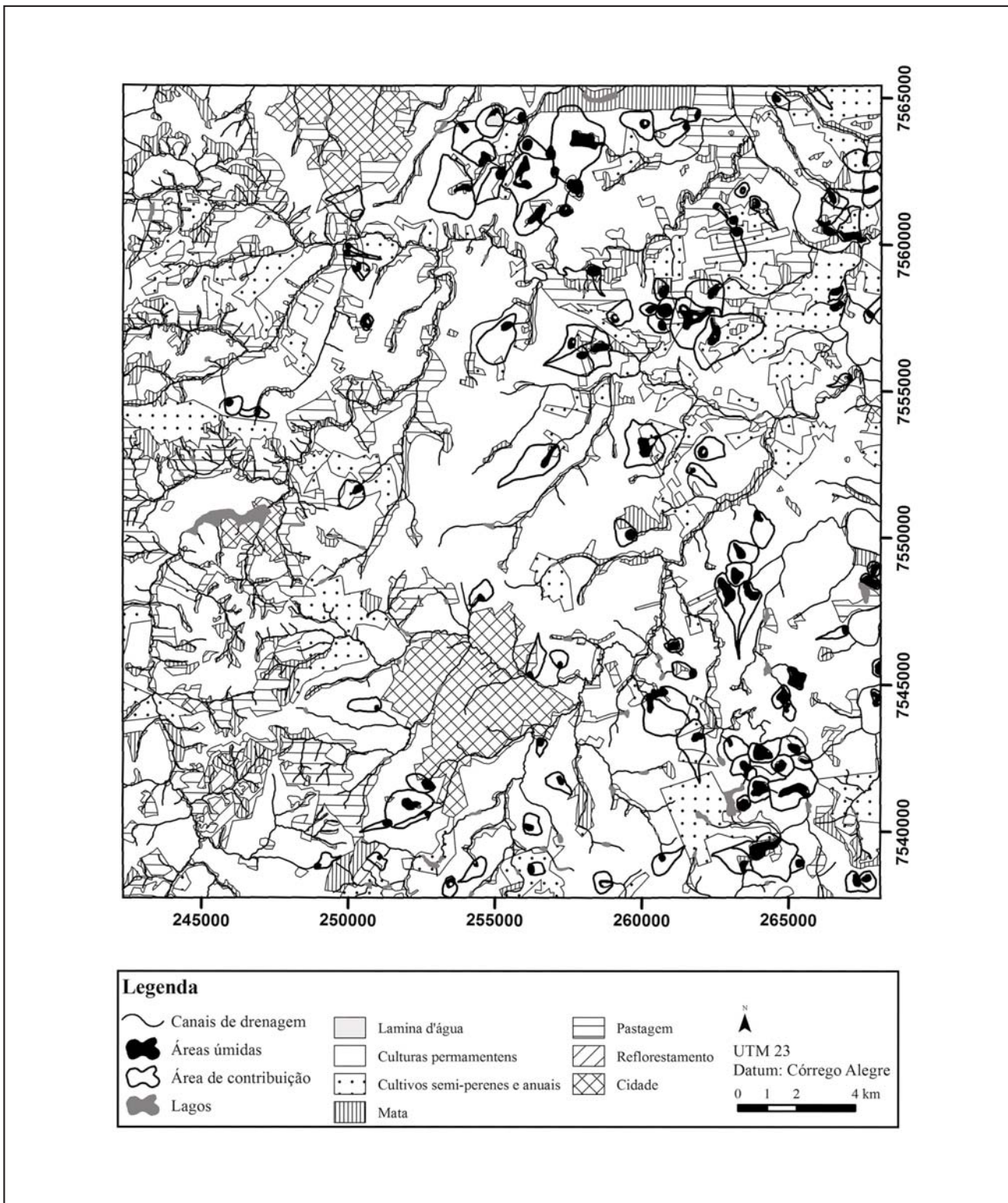


Figura 10. Mapa de uso e ocupação da área de estudo durante o período de 2014.

Ao analisar os mecanismos que controlam a dinâmica de água das áreas úmidas do grupo I observou-se que as fontes principais são as chuvas, o escoamento superficial, escoamento sub-superficial e as minas. Enquanto que a saída de água é por evapotranspiração predominantemente. Suas principais funções estão associadas a retenção de sedimentos, reciclagem de nutrientes, recarga das águas subterrânea e capacidade de sustentar o fluxo das drenagens e de outras áreas úmidas quando

apresentam o nível de água acima da superfície. Por estarem sobre materiais geológicos de baixa permeabilidade tendem a reter mais água na superfície logo se caracterizando como áreas de recarga. O tamanho médio das áreas úmidas gira em torno de 8 ha e seu formato tende a ser mais circular assim como as respectivas zonas de contribuição, funcionando como uma bacia de captação.



Figura 11. Exemplos de modificações antropogênicas nas áreas úmidas: a) construção de tanques, b) canal de drenagem artificial, c) presença de cana de açúcar no interior da área úmida.

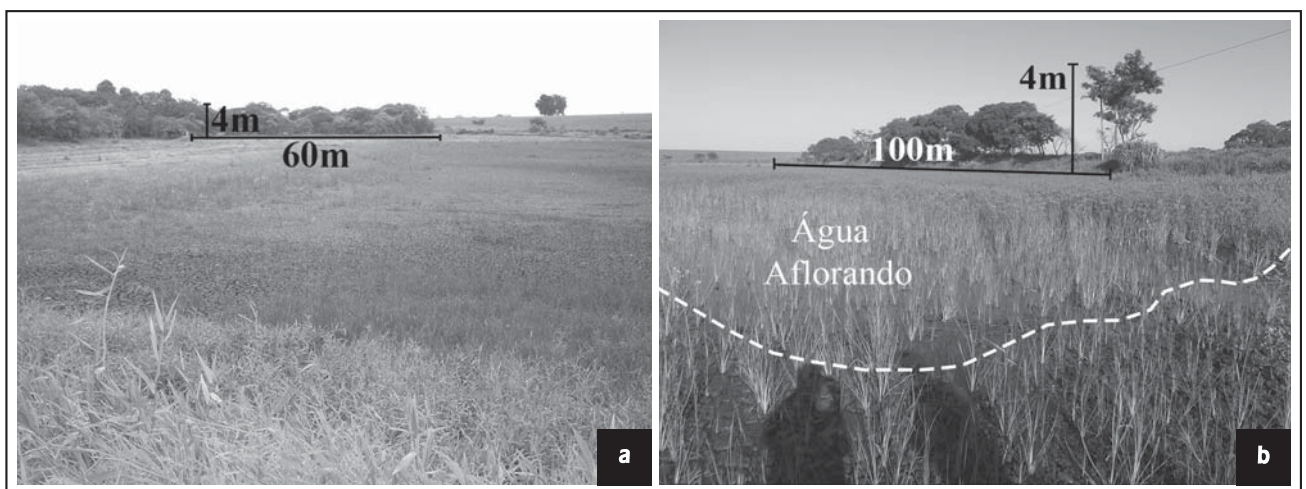


Figura 12. Exemplo das condições hidrológicas: a) primeira visita, b) segunda visita.

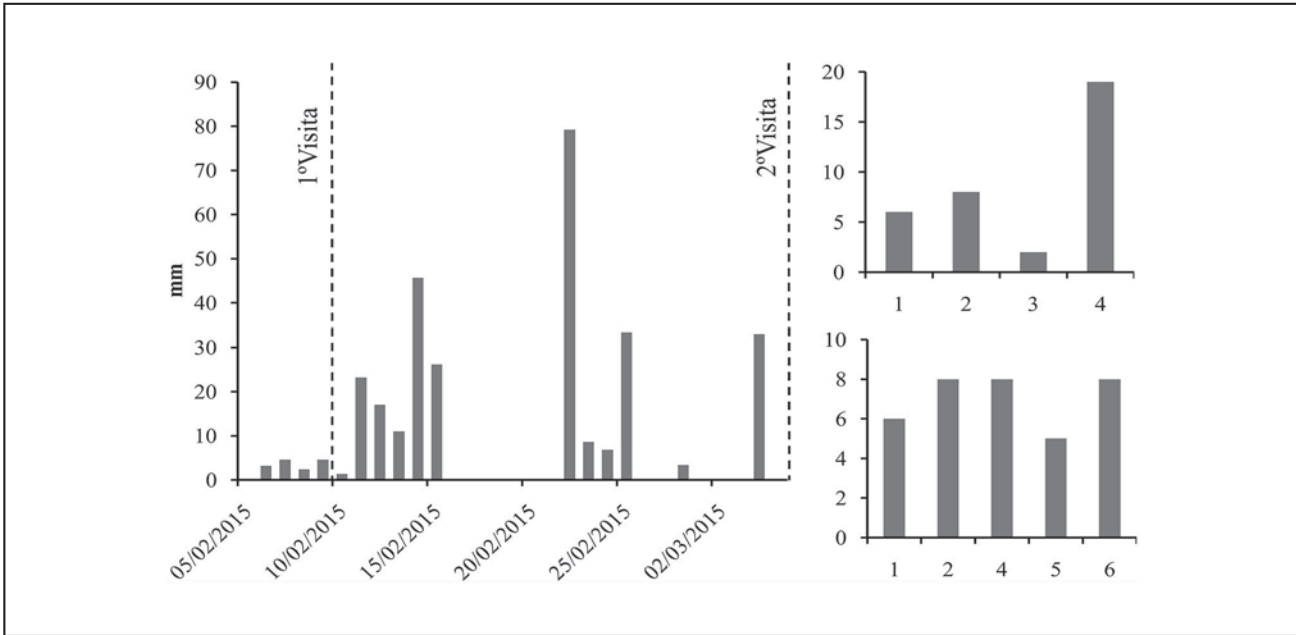


Figura 13. Chuvas durante o período das visitas in situ as condições hidrológicas observadas: 1) presença de lamina d'água nos tanques/canais de drenagem artificiais, 2) presença de lamina d'água na superfície, 3) evidências de saturação, 4) secas, 5) aumento da lamina d'água, 6) aumento da lamina d'água nos tanques/canais artificiais.

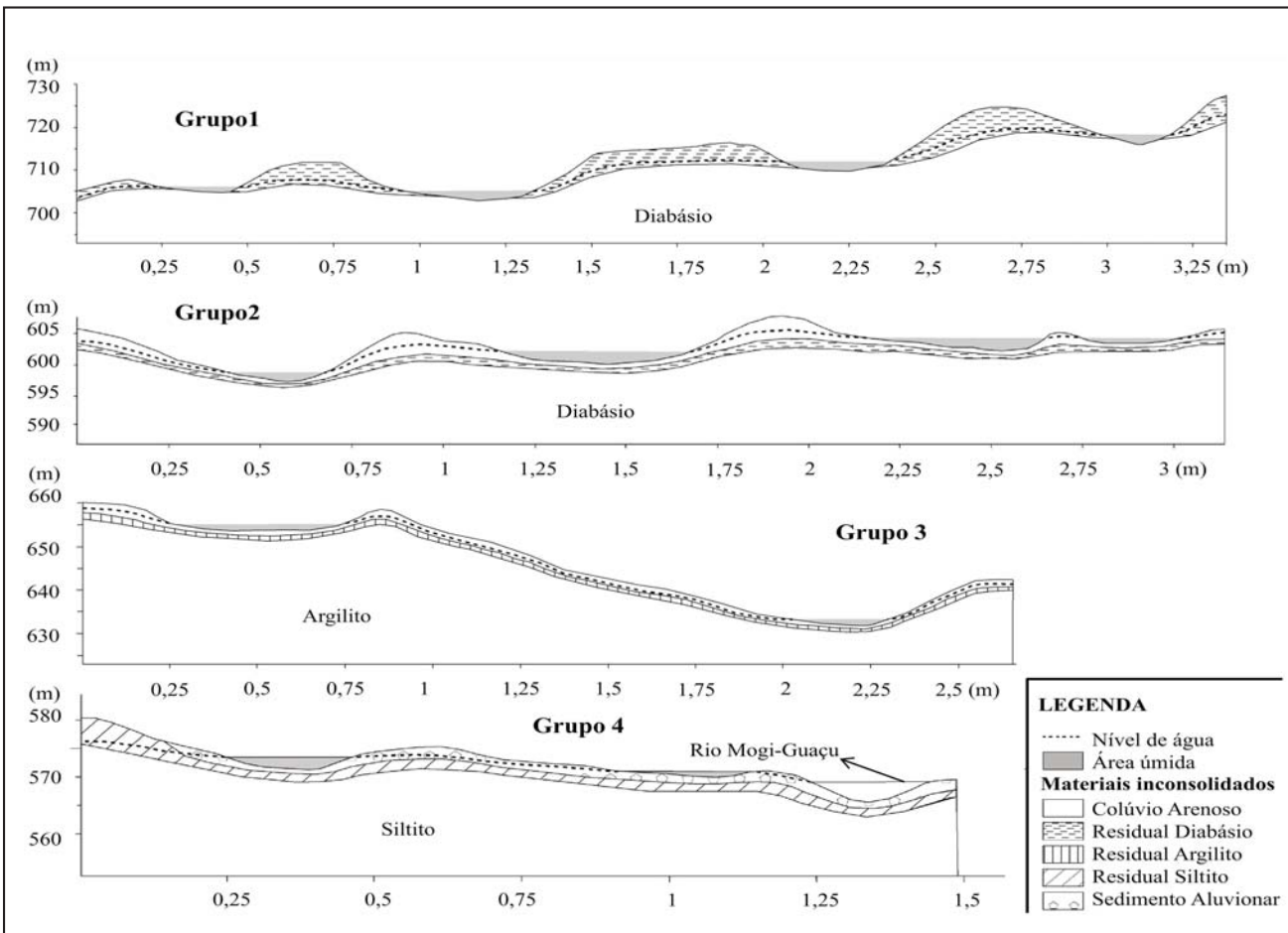


Figura 14. Modelos dos quatro grupos hidrológicos das principais de áreas úmidas da região de Leme-SP.

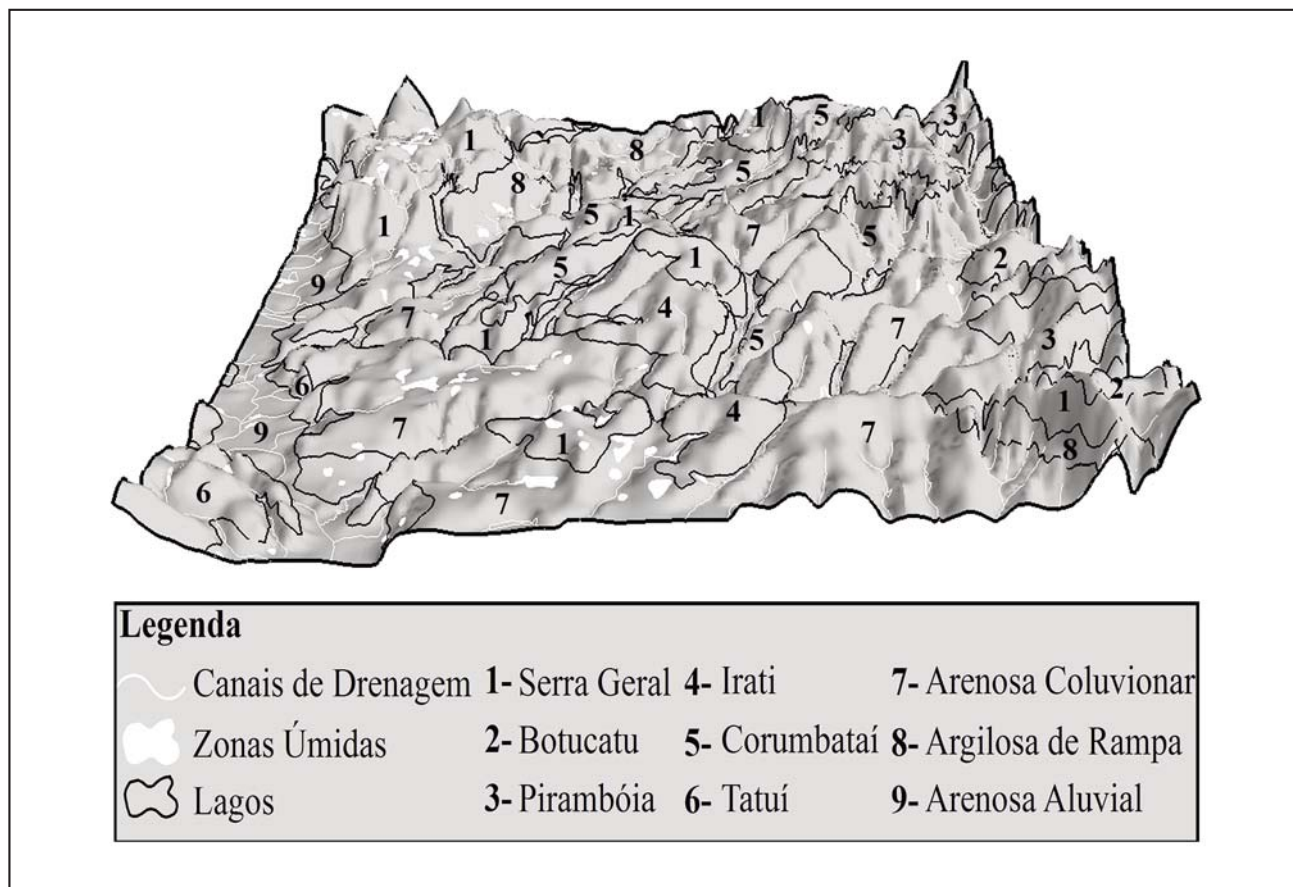


Figura 15. Bloco diagrama com a distribuição das áreas úmidas e os materiais geológicos.

As áreas úmidas do grupo 2 são compostas por materiais arenosos com alta permeabilidade, estando presente em maior espessura na zona de contribuição e em menor espessura no seu interior. A amplitude entre o ponto mais baixo da área úmida com o topo da zona de contribuição geralmente não ultrapassa os 5 metros de altura. O tamanho médio das áreas úmidas foi de 9,03ha, enquanto a da zona de contribuição foi de 25,2ha. Os mecanismos que controlam as entradas de água deste conjunto são a precipitação, o escoamento subsuperficial e as minas. As minas nestas áreas úmidas são bastante importantes, pois o nível d'água geralmente é mais superficial, consequentemente o tempo para a chuva infiltrar e atingi-lo é menor. As saídas são a evapotranspiração, infiltração e o fluxo subsuperficial para as áreas úmidas próximas. Ao analisar os mecanismos que controlam a dinâmica de água, observa-se que as áreas úmidas pertencentes a este grupo podem ser caracterizadas tanto como áreas de descargas e recarga.

As áreas úmidas que estão enquadradas no grupo 3 estão assentadas sobre sedimentos arenosos, entretanto a espessura da base da área úmida até a camada impermeável quando comparada as do grupo 2 é maior. Estas tendem a não estarem agrupadas como os dois primeiros. A área média das áreas úmidas e da zona de contribuição são respectivamente 6 ha e 15ha, enquanto que o formato tende a ser mais circular. As fontes de água são semelhantes as que estão sobre os diabásios, todavia dependendo da posição topográfica o nível de água está mais profundo, logo necessitando um tempo maior para que a água infiltrada atinja esta profundidade. Desse modo, o escoamento superficial

apresenta uma maior importância na recarga destes ambientes. Os mecanismos de saída são controlados principalmente pela evapotranspiração e infiltração.

O comportamento hidrológico do grupo 4 é bastante distinto quando comparadas as outras áreas úmidas. Primeiramente estão assentadas sobre sedimentos predominantemente permeáveis, tanto na sua base como na sua zona de contribuição. Além disso, na sua maioria estão próximos ao Rio Mogi-Guaçu, sendo influenciadas diretamente pela altura do mesmo. Fator este que irá interferir diretamente no nível d'água, bem como na recarga por transbordo. Os mecanismos de saída predominantes são a evapotranspiração, o escoamento superficial e o fluxo subterrâneo. Em termos de forma e área são mais alongadas e apresentam área média de 7,5 ha, enquanto que as zonas de contribuição raramente apresentam forma circular e tem tamanho médio de 18,5ha. As principais funções desse grupo relacionam-se ao armazenamento de água e a diminuição do escoamento superficial das porções do terreno mais elevadas.

Ao correlacionar os grupos hidrológicos das áreas úmidas com os eventos de chuva, as mudanças no uso do solo e as alterações antropogênicas verificou-se distintos graus de degradação ambiental. Estes graus estão associados principalmente as alterações promovidas pelas atividades antropogênicas na relação infiltração/escoamento superficial, bem como nos processos de descarga e recarga. Este fato foi possível observar principalmente na quantidade de água dentro das zonas úmidas. Na Tabela 2 são apresentados os resultados das condições hidrológicas verificada em cada um dos grupos.

Tabela 2. Comportamento da dinâmica de água no interior das áreas úmidas visitadas nos quatro grupos hidrológicos.

Nº visitadas	Grupo 1		Grupo 2		Grupo3		Grupo 4	
	17		10		4		4	
Visita	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º
Presença de lamina d'água nos tanques/canais artificiais	1	5	2	1	-	-	2	-
Presença de lamina d'água na superfície	2	5	4	1	2	2	1	-
Evidências de saturação	3	-	-	-	1	-	-	-
Secas	13	5	4	2	1	-	1	1
Aumento da lamina d'água	-	2	-	4	-	2	-	1
Aumento da lamina d'água nos tanques/canais artificiais	-	-	-	2	-	-	-	2

A presença e quantidade de água variaram entre os grupos, onde no Grupo 1 não foi verificado em diversas áreas úmidas qualquer sinal de recarga. Isto pode ser explicado que estas apresentavam mais evidências de atividades antropogênicas tanto na zona de contribuição como no interior delas alterando diretamente no escoamento superficial e na infiltração. Associado a este aspecto, por apresentar um solo com condutividade hidráulica menor, o tempo entre visitas de campo não foi possível analisar a influência do escoamento subsuperficial e do nível de água na recarga.

Enquanto isso, no Grupo 2 a resposta frente aos eventos hidrológicos foi distinta mesmo com atividades antropogênicas semelhantes. Esta situação pode ser atribuída a características dos materiais geológicos, os quais apresentam uma condutividade hidráulica mais elevada facilitando o fluxo subsuperficial. Além disso, o nível de água neste grupo é mais superficial, tendendo a descarregar mais rápido, consequentemente interferindo no nível de água superficial.

As áreas úmidas visitadas do Grupo 3 não apresentaram resultados tão preocupantes frente a presença de água no seu interior, fato esse atribuído a sua utilização para armazenamento de água para captação. Entretanto quando se analisa as evidências de presença de água pelas imagens de satélite nas que não foram verificadas, notou-se que diversas estavam secas. Estas estão inseridas em um contexto de atividades antropogênicas mais intensa, com usos urbanos, a presença de tanques e canais de drenagem artificiais. Apesar de apresentarem configurações semelhantes ao grupo 2 atribui-se ao longo tempo o qual a estas áreas úmidas estão sofrendo modificações a ausência de água na superfície.

As áreas úmidas do Grupo 4 se encontram bastante degradadas. A única que apresentou aumento de lâmina d'água na superfície estava sofrendo represamento. Além disso, o aumento verificado de água pode estar diretamente relacionado com o aumento do nível de água do Rio Mogi-Guaçu devido as chuvas dos dias anteriores. As demais estavam com a presença de atividade antropogênicas intensas, principalmente com a presença de canais de drenagens artificiais.

Quando se compara com a condição de água em 1991 com a atual verifica-se que houve uma redução em volume de água significativa em todos os grupos, evidenciando-se que as pressões antropogênicas estão interferindo diretamente na recarga das áreas úmidas. Assim como tem provocado a perda das

funções seja de forma parcial ou total. Dentre essas funções uma das mais afetadas foi a capacidade de sustentar o fluxo das drenagens durante o período de estiagem, pois para poder executá-la é necessário apresentar água superficial ou saturação. Desse modo, se constatou que diversas estão degradadas, pois muitas mesmo no período chuvoso estavam secas. Entretanto esse contexto de degradação não é um fato recente em áreas úmidas no Estado de São Paulo, pois isto já havia sido observado por *Whitaker (1993)* em áreas úmidas lacustres as quais já apresentam perdas de funções ou desapareceram.

CONCLUSÕES

As áreas úmidas avaliadas foram classificadas como depressionais e ocupam uma área de 901,03 ha. Foram identificados 4 grandes grupos de áreas úmidas depressionais os quais apresentaram respostas hidrológicas e graus de degradação totalmente distintos. Os resultados mostraram que as áreas úmidas do Grupo 2 apresentaram uma resposta hidrológica mais rápida. Isto é, frente aos diversos eventos de chuva foi possível observar um aumento evidente da lamina de água na superfície. Isto ocorreu, pois estas áreas úmidas apresentam o nível de água menos profundo e uma maior permeabilidade, logo, a água infiltrada demora menos tempo para alcançar a zona saturada. As que estavam assentadas sobre os residuais da Formação Geral, não se verificou um aumento expressivo na altura da lâmina d'água. Este fato está associado principalmente a redução do escoamento superficial por conta de cordões em nível construídas nas zonas de contribuição, bem como a presença de tanques e canais de drenagem artificiais. Os resultados da avaliação da degradação ambiental da região de estudo mostraram uma situação preocupante frente a perda de volume de água destas áreas úmidas afetando diretamente a função de sustentar o fluxo de água dos canais de drenagem durante as secas. Este fato altera a recarga dos aquíferos, provocando a diminuição do nível de água, consequentemente afetando a quantidade de água disponível nas áreas úmidas. As que se encontravam em situação mais degradada foram as do Grupo 3 e 4 principalmente pela a intensidades de usos urbanos, agrícolas e pela presença de canais de drenagem artificiais e tanques. Entretanto independente do grupo, a maioria as áreas úmidas estão degradadas, verificando-se a diminuição da lamina de água, logo tendo suas funções comprometidas de modo a ser necessário a fazer um manejo adequado dessas áreas.

TRABALHOS CITADOS NO TEXTO

- ACREMAN, M.C; FELICITY, M. 2006.
Hydrological impact assessment of wetlands.
International Symposium on Groundwater Sustainability (ISGWAS), p225-255.
- ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS). 2015.
Dispon em: <http://www2.snirh.gov.br/home/>
- ÁVILA, I.G.; IWASA, O.Y.; PRANDINI, F.L.; FORNASARI FILHO, N.; PONÇANO, W.K. 1981.
Algumas características geológicas e geotécnica dos depósitos coluvionares do Estado de São Paulo.
3º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. SC. V.3, p. 19-31.
- BARTOLDUS, C.C. 1999.
A comprehensive review of wetland assessment procedures: A guide for wetland practitioners.
Environmental Concern, Inc., St. Michaels, Maryland.
- BATES, B.C., KUNDZEWICZ, Z.W., WU, S. AND PALUTIKOF, J.P., EDS., (2008).
Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva.
Disponível em: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_technical_papers_climate_change_and_water.htm.
- BRINSON, M.M., 1993.
A Hydrogeomorphic Classification for wetlands. wetlands Research Program Tech. Rep.
WRP-DE-4. U.S. Army Engineer Waterways Expt. Station, Vicksburg, MS.
- BRINSON, M.M., RHEINHARDT, R.D., HAUER, F.R., LEE, L.C., NUTTER, W.L. SMITH, R.D., WHIGHAM, D. 1995.
A guidebook for application of hydrogeomorphic assessments to riverine wetlands.
U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC. Wetlands Research Program Technical Report WRP-DE-11.
- EPA (2006).
Elements of a State Water Monitoring and Assessment Program for Wetlands.
disponível em: http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/Wetland_Elements_Final.pdf
- GIOVANNINI, S. G. T., 1997.
Estabelecimento e desenvolvimento das macrófitas aquáticas *Scirpus californicus*, *Typha subulatae* e *Zizaniopsis bonariensis* sob condições experimentais de regimes hídricos diferenciados.
Dissertação de mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 153 p.
- GOLUBEFF, N. 2012.
Proposta metodológica de uso de sistema de informações geográficas destinado à otimização da escolha do melhor lugar para construção de uma wetland.
Dissertação de Mestrado. 152p. FFLCH. Universidade São Paulo.
- IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA).
Cartas topográficas, Folha:SF-23-Y-A-II-1 (LEME) Escala 1:50.000.1971.
- KOUDSTAAL, R.; SLOOTWEG, R. 1994.
Wise use of wetland, a methodology for the assessment of function and values of wetlands.
The Wetland group, Netherlands
- KUSLER, J. 2004.
Wetland assessment for regulatory purposes: Final Report 1: Assessing functions and values.
Association of State Wetland Managers, Institute for Wetland Science and Public Policy. Berne, NY.
Disponível em: <http://www.aswm.org/propub/functionsvalues.pdf>
- LEAL, F.K. 2009.
Estudo Comparativo de leitos percoladores e banhados construídos de fluxo vertical aplicados a remoção de fósforo em esgoto sanitário.
Dissertação. 116p. Universidade de Santa Maria.
- LOLLO, J.A. 1991.
Mapeamento geotécnico da folha de Leme-SP: Utilização da geomorfologia para a caracterização preliminar de unidades geotécnicas.
Dissertação. 87p. EESC. USP. São Carlos.
- MACK, J. J.; MICACCHION, M.; AUGUSTA, L.; SABLAK, G. R. 2000.
Vegetation Indices of Biotic Integrity (VIBI) for Wetlands and Calibration of the Ohio Rapid Assessment Method for Fennessy et al., RAPID METHODS TO ASSESS ECOLOGICAL CONDITION 559 Wetlands v. 5.0.
Final Report to U.S. EPA. Ohio Environmental Protection Agency, Division of Surface Water, 401 Wetland Ecology Unit, Columbus, OH, USA
- MALTBY, E.; BARKER, T. (2009).
The wetlands Handbook
1st edition (Blackwell Publishing, Oxford).

- MELLER, J. 2011.
Mapeamento de áreas úmidas e banhados na microbacia do Rio Amandaú, Região Noroeste do Rio Grande do Sul.
Dissertação.96p. Universidade de Santa Maria.
- MENDIONDO, E.M.; NEIFF, J.J.; DEPETTRIS, C.A. 2000.
Eco-hydrology of wetlands aided by remote sensing A case study with the Revive's Goals initiative.
Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5809 138 4
- MITSCH, W. M. GOSSELINK, J. G., 2007.
Wetlands, 4th ed., John Wiley and Sons, Inc.582 pp.
New Jersey.
- NEIFF, J. J., POI DE NEIFF, A. S.G. 1990.
Litterfall, leaf decomposition and litter colonization of *Tessaria integrifolia* in the Paraná River floodplain.
Hydrobiologia. 203: 45-52.
- POFF, L., BRINSON, M. AND DAY, JR.J. (2002).
Aquatic ecosystems & global climate change: Potential impacts on inland freshwater and coastal wetland ecosystems in the United States.
Winter, 2000.
- SIPPLE, W.S. 1988.
Wetland Identification and Delineation Manual. Volume I. Rationale, Wetland Parameters, and Overview of Jurisdictional Approach.
Volume II. Field Methodology. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Wetlands Protection, Washington, D.C.
- TASSI, R. 2008.
Gerenciamento hidroambiental de terras úmidas.
Tese.257p. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande Do Sul.
- WARDROP, D. H.; KENTULA, M. E.; D. L.; STEVENS, JR.; JENSEN, S. F.; BROOKS, R. P. 2007.
Assessment of wetland condition: an example from the Upper Juniata Watershed in Pennsylvania, USA.
Wetlands 27:416-31.
- WHITAKER, V.A., 1993.
A área alagada da represa do Lobo (Itirapina,SP): Os processos Ecológicos Associados ao Potencial de Desnitificação dos sedimentos.137f. Tese (Doutorado).
Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.
- WINTER TC. 2000.
The vulnerability of wetlands to climate change: A hydrologic landscape perspective.
Journal of the American Water Resources Association 36: 305-311.
- WURSTER, F. C., D. J. COOPER, AND W. E. SANFORD, 2003.
Stream/aquifer interactions at Great Sand Dunes National Monument, Colorado: influences on interdunal wetland disappearance,
Journal of Hydrology, 271: 77-100.
- ZACARKIM, C. E. 2006.
Uso de sistema wetland construído no póstratamento de efluente de curtume. Mestrado.77p.
Centro de Ciências Agrárias. Universidade Estadual do Oeste.
- ZEDLER, P. 2003.
Vernal pools and the concept of "isolated wetlands".
Wetlands, 23(3), 597-607