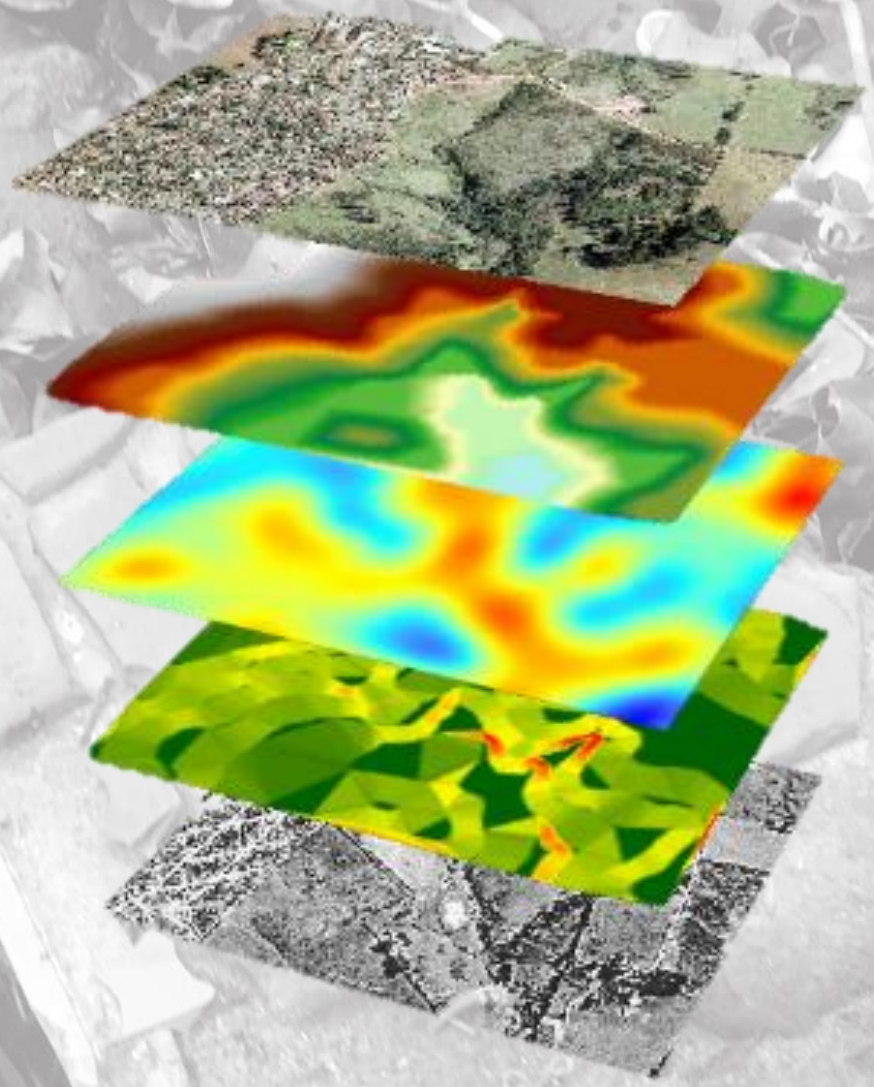
CLASSIFICAÇÃO DE ANTROPOSSOLOS EM ÁREAS DE ANTIGOS DEPÓSITOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM PRESIDENTE PRUDENTE - SP: CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA



JANAINA NATALI ANTONIO

Prof. Dr. José Tadeu Tommaselli
Orientador

unesp FAPESP CAPES GAIA

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE

Janaina Natali Antonio

Orientador: Prof.˚ Dr.˚ José Tadeu Garcia Tommaselli

Tese de Doutorado elaborada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geografia - Área de Concentração: Produção do espaço Geográfico linha de Pesquisa Dinâmica e Gestão Ambiental para obtenção do título de Doutora em Geografia.

Presidente Prudente, 2017

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação – UNESP, Campus de Presidente Prudente

Antonio, Janaina Natali.
A64c Classificação de antropossolos em áreas de antigos depósitos de resíduos sólidos urbanos em Presidente Prudente-SP : contribuição metodológica / Janaina Natali Antonio. - Presidente Prudente: [s.n], 2017
193 f. : il.

Orientador: José Tadeu Garcia Tommaselli
Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia
Inclui bibliografia

1. Antropossolos. 2. Solos. 3. Redes neurais artificiais. I. Tommaselli, José Tadeu Garcia. II. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. III. Título.

Claudia Adriana Spindola
CRB-8ª/5790

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: CLASSIFICAÇÃO DE ANTROPOSSOLOS EM ÁREAS DE ANTIGOS DEPÓSITOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM PRESIDENTE PRUDENTE-SP: CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA

AUTORA: JANAINA NATALI ANTONIO

ORIENTADOR: JOSÉ TADEU GARCIA TOMMASELLI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em GEOGRAFIA, área: PRODUÇÃO DO ESPAÇO GEOGRÁFICO pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JOSÉ TADEU GARCIA TOMMASELLI
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/UNESP

Prof. Dr. JOÃO OSVALDO RODRIGUES NUNES
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/UNESP

Profa. Dra. ISABEL CRISTINA MOROZ CACCIA GOUVEIA
Departamento de Geografia / FCT/UNESP/Presidente Prudente (SP)

Profa. Dra. REGINA CÉLIA DE OLIVEIRA
Geografia / IG/UNICAMP/Campinas (SP)

Profa. Dra. MARQUIANA DE FREITAS VILAS BOAS GOMES
Geografia / UNICENTRO/GARAPUAVA

Presidente Prudente, 14 de novembro de 2017

A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.

(Albert Einstein)

Dedico ao passado
Aos avós e pais que trouxeram a semente da vida
E ao futuro
Aos sobrinhos por quem espero um mundo melhor

AGRADECIMENTO INSTITUCIONAL

Agradecimento especial à sociedade que forneceu subsídios para o financiamento da pesquisa e que um dia o conhecimento acadêmico possa ter um retorno direto para suas vidas.

Agradeço as instituições que auxiliaram na realização do curso de pós-graduação:

À Universidade Estadual Paulista, FCT - Presidente Prudente e toda a equipe envolvimento e manter este espaço de aprendizado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia e equipe de funcionários em geral, funcionários da secretária, professores, membros do conselho, representação discente e colegas de curso.

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP - processo 2013/03505-6) pelo financiamento da pesquisa por meio da concessão da bolsa (fevereiro de 2014 à agosto de 2017), e pela Bolsa de Estudos e Pesquisa no Exterior (BEPE - processo 2015/14461-5) (outubro de 2015 à setembro de 2016). E ao parecerista que acompanhou o desenvolvimento da pesquisa;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento de nove meses de bolsa.

À University of New South Wales (UNSW) por me receber para o estágio de pesquisa no exterior.

Ao Laboratório de solos da FCT-UNESP Presidente Prudente.

Ao Grupo de Pesquisa Interações na superfície, água e atmosfera (GAIA).

AGRADECIMENTOS

Uma tese não é escrita apenas com referências bibliográficas ela resulta de uma trajetória de anos de dedicação, insônia, dores físicas e emocionais, medo, insegurança... uma luta constante contra a sua própria capacidade. Uma longa jornada que só é possível ser concluída com a presença de pessoas que nos ajudam no processo de aprendizado, não sobre um tema específico, mas sobre a vida. Durante os anos de formação muitas pessoas foram fundamentais neste processo.

Gratidão à todos...

À mãe Eva, pai Alexandre pela compreensão por minhas escolhas de vida e apoio.

Aos sobrinhos Vagner e Alex pela inspiração em um futuro melhor, mais justo, mais ético e mais sensível.

Ao orientador Tadeu que desde o início encarou a ideia da pesquisa mesmo que ainda muito confusa e me apoiou em todas as minhas decisões, principalmente com meu intercâmbio na Austrália, me auxiliando nas traduções e revisões dos inúmeros documentos, incentivando na escrita em inglês e pelas conversas por Skype. E com sua tranquilidade me ajudou a ver o ritmo da acadêmica de uma forma nova.

Às três orientadoras durante a vida acadêmica que são grandes inspirações pessoais e profissionais:

À Marquiana eterna orientadora e amiga que foi inspiração desde os anos iniciais da graduação.

À Selma pelo grande aprendizado durante o mestrado e auxílio a tudo que se refere à redes neurais artificiais.

À Professora Graciela pela supervisão durante o meu estágio na UNSW na Austrália.

Ao Prof. João Osvaldo pela ajuda na construção do projeto de pesquisa, nos trabalhos de campo, as conversas na sala compartilhada com o orientador e pela participação na banca avaliadora.

À prof. Isabel Cristina pela participação na banca e contribuição ao longo do desenvolvimento da pesquisa;

À prof. Regina Célia de Oliveira pela participação na banca de defesa.

À prof. Maria Cristina Perussi pelas contribuições durante o desenvolvimento da pesquisa.

Aos funcionários da Sessão de Pós Graduação Cinthia, Aline, Leonardo, Lincoln, Ivonete pelo bom atendimento à todas as demandas de documentos e muitos pedidos de prorrogação.

Aos professores das séries iniciais, fundamental e médio que foram a base para a minha formação.

Aos professores da graduação em geografia da UNICENTRO, em especial aos professores Bertoti e Hirose.

Às amigas integrantes da Container's Banda, Daiane e Fernanda, pela diversão, brigas, discussões, tretas, viagens e festas compartilhadas durantes estes longos anos. Eu teria conseguido sem vocês, porém não teria a mesma graça!

As eternas companheiras de República Xapokoko Maria Luiza, Edi, Mone, Carol, Luana, Elis Marina, Melina e aos demais Kavernas Forever por terem vivido o melhor tempo de festas da faculdade e continuarem (anualmente) presentes. "É sempre amor mesmo que mude", a vida segue, os pensamentos mudam, as distâncias aumentam, mas a amizade segue forever.

Aos bons e velhos amigos de início de vida em Presidente Prudente Zeca, Marioto, Vinicius sem os quais a adaptação no Velho Oeste Paulista não seria a mesma.

Às amizades iniciadas no inicio da graduação e mesmo com a distância e as mudanças de fase da vida se mantém da mesma forma seja numa mesa de bar ou de café, Jaqueline, Eliza, Eliane, Melina, Izabel entre tantos outros que me ajudaram a ver na geografia uma grande família;

Aos colegas do GAIA: Ao Baiano (Lindberg) que me presenteou com a ideia de ir para Austrália, pelas tardes agradáveis de muito debate e alegria no GAIA. À Núbia pela energia sagitariana e ao Cirso (Vinicius) pelo apoio e ajuda com a busca de eventos, passagens, e todas as traduções dos infinitos documentos das BEPE.

Aos amigos do movimento trash por contribuírem com tantas lembranças boas e divertidas daqueles encontros inesperados e mágicos, como diz um grande sábio faz anos que a gente não se vê e parece que foi ontem que a gente se encontrou.

À Cida por mãe, vó, amiga e companheira;

À grande amiga de alma Nati da nossa amizade à primeira vista, à primeira cerveja no posto na madrugada, ao primeiro bar fechado pra uma vida inteira.

Ao Eduardo Carlos (Du) pelas discussões filosóficas sobre a geografia, as revisões de texto de última hora e as boas conversas de bar.

À Melina pela parceria, sempre muito prestativa ao compartilhar seus conhecimentos e disposta ajudar inclusive nos trabalhos de campo;

À Jéssica pelo auxílio no laboratório de solos, pelos eventos promovidos incluindo a festa do caldinho, pelo companheirismo e alegria compartilhada.

Ao Agnaldo sagitariano e batalhador por sempre ser uma boa companhia ao compartilhar dramas e alegrias.

Ao Danilo que surgiu despretensiosamente durante um evento de geografia e tornou-se um furacão em minha vida, transformando tudo que eu sabia sobre o amor e companheirismo.

À Joice pela parceria de anos de idas e vindas e pelas boas conversas intensas, alternativas e exotéricas.

À Mariana Cunha pelo companheirismo, tranquilidade e amizade ao compartilhar a vida na República Muralha.

Ao seu Vilson pela recepção da minha volta da Austrália e de mês em mês em Curitiba.

Ao Vitor por auxiliar com as análises de amostras no laboratório de solos da UNESP/FCT.

À Érika por compartilhar sues conhecimentos sobre os depósitos tecnogênicos.

Ao Afonso e Pedro por auxiliarem nos trabalhos de campo.

Aos amigos Carla e Baltazar pelo apoio desde a chegada em Presidente Prudente.

À Gisele pelo auxílio com as mutantes normas da ABNT e dicas preciosas de formatação.

À Galera do caldinho pelos incríveis momentos compartilhados nestes últimos anos, incluindo eventos na UPA.

À Dani pela parceria de anos de aventuras prudentinas.

Ao Jorge (Makoto) e Tereza por servirem o melhor peixe frito das proximidades da UNESP e acompanhado da cerveja pra aliviar os longos dias de calor prudentino.

E à todos que participaram da minha trajetória durante estes anos.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

ANTONIO, Janaina Natali. *Classificação de Antropossolos em áreas de antigos depósitos de resíduos sólidos urbanos em Presidente Prudente - SP: contribuição metodológica*. 2017. 193 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, 2017.

A expansão de áreas urbanas e os diferentes tipos de uso da terra, nestas áreas, causam modificações nas características naturais dos solos, pois no ambiente urbano há a ação de diversos processos mecânicos, como a retirada, transporte e deposição de materiais de diversas origens e composições. As alterações no solo são significativas, de forma que muitos países inseriram novas categorias de solos aos seus sistemas de classificação. No Brasil, os solos resultantes de ações antrópicas, foram conceituados como Antropossolos, caracterizados pelas alterações na paisagem e na composição física e química, incluindo a presença de artefatos e materiais contaminantes. Para realizar a caracterização e o mapeamento dos Antropossolos, inicialmente foi realizado o levantamento das características dos solos naturais, sua relação com os atributos do relevo no município de Presidente Prudente – SP, e o mapeamento preditivo de solos, com uso de redes neurais artificiais. A compreensão da relação existente entre os solos e os atributos do relevo derivados de um modelo digital de elevação forneceu informações para relacionar os principais padrões de ocorrência de tipos de solos aos atributos de elevação, declividade, curvatura do relevo, geoformas e aspecto. Entre as variáveis utilizadas para o mapeamento preditivo dos solos, as que tiveram destaque foram declividade e geoformas, apresentando similaridade de padrão de ocorrência. As áreas de ocorrência dos Neossolos estão, principalmente, relacionadas às áreas de declividades de 20% ou acima, os Latossolos têm padrão de ocorrência nas áreas com declividades inferiores a 8%, os Argissolos variam em declividades médias acima de 3% e abaixo de 20% e os solos hidromórficos (Gleissolos e Planossolos) estão localizados nos fundos de vale com declividades abaixo dos 3%. As redes neurais artificiais se mostraram uma técnica eficiente para o delineamento das unidades de solos e permitiram a identificação de componentes da paisagem por meio do estabelecimento de padrões gerados a partir das coletas de amostras. Com base nos atributos do relevo e do mapeamento preditivo dos solos foi realizada a caracterização das áreas de antigos depósitos de resíduos sólidos urbanos na área urbana de Presidente Prudente – SP, as quais estão predominantemente localizadas nos compartimentos de fundos de vale, em curvaturas côncavas, declividades de relevo ondulado e forte ondulado e em solos Argilosos e hidromóficos (Gleissolos e Planossolos). Os Antropossolos em antigas áreas de disposição de RSU são classificados no segundo nível como Líxicos, devido à presença de materiais orgânicos e artefatos de origem e composições diversas, e podem conter substâncias contaminantes. Para a classificação no terceiro e quarto níveis foi delimitada uma área de influência a partir de uma das antigas áreas de disposição de RSU, localizada no Parque Furquim. Foram realizadas análises granulométricas e de presença de metais pesados nos solos. Os elementos analisados foram Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb) e Crômio (Cr). Os resultados foram comparados com os Valores de Referência de Qualidade utilizados no estado de São Paulo, e indicaram a presença de Chumbo (Pb) e Crômio (Cr) acima dos Valores de Referência de Qualidade em alguns pontos, localizados à montante da área delimitada, em fundos de vale próximos ao curso d'água. A área foi classificada pela ocorrência de Antropossolos Líxicos Áquicos e Órticos com presença de elementos tóxicos e de Antropossolos potenciais. Por se tratar de um conceito recente, os estudos para o conhecimento das características dos Antropossolos, são fundamentais para a compreensão da sua dinâmica e para propor medidas de recuperação e de planejamento para o uso adequado.

Palavras-chave: Antropossolos, solos, relevo, modelo digital de elevação, antigas áreas de disposição, resíduos sólidos urbanos.

ABSTRACT

ANTONIO, Janaina Natali. *Classification of Anthroposols in areas of old urban solid waste deposits in Presidente Prudente - SP: methodological contribution*. 2017. 193 f. Thesis (Doctorate in Geography) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, 2017.

The expansion of urban areas and different types of land use in these areas cause modifications in the natural characteristics of the soils, since in the urban environment there are several mechanical processes, such as the removal, transportation, and deposition of materials of various origins and compositions. The alterations in the soil are significant, with many countries inserting new soil categories into their classification systems. In Brazil, soils resulting from anthropic actions are considered as Anthroposols, characterized by changes in the landscape and physical and chemical composition, including the presence of artifacts and contaminating materials. In order to carry out the characterization and mapping of the Anthroposols, initially a survey of the characteristics of the natural soils was carried out, including their relation with the attributes of the relief in the municipality of Presidente Prudente - SP, and the predictive mapping of soils, using artificial neural networks. Understanding of the relationship between the soils and relief attributes derived from a digital elevation model provided information to relate the main patterns of occurrence of soil types to the attributes of elevation, slope, relief curvature, geoforms, and aspect. Among the variables used for the predictive mapping of soils, those that stood out were slope and geoforms, presenting similarities in patterns of occurrence. The areas of occurrence of the Neosols are mainly related to the slope areas of 20% or above, the Oxisols present a pattern of occurrence in areas with slopes lower than 8%, the Argisols vary in average slopes above 3% and below 20%, and the hydromorphic soils (Gleysols and Planosols) are located in valley bottoms with gradients below 3%. Artificial neural networks proved to be an efficient technique for the delineation of soil units and allowed identification of landscape components by establishing patterns generated from sample collections. Based on the attributes of soil relief and predictive mapping, characterization of areas of former urban solid waste deposits in the urban area of Presidente Prudente – SP was carried out, predominantly located in valley bottom compartments, in concave curves, slopes of undulating relief and strong undulation and in clayey and hydromorphic soils (Gleysols and Planosols). Anthroposols in former USW disposal areas are classified in the second level as Líxicos, due to the presence of organic materials and artifacts of various origins and compositions, which may contain contaminating substances. For classification in the third and fourth levels, an area of impact from one of the former USW disposal areas was delimited, located in Parque Furquim. Granulometric analyzes and evaluation of the presence of heavy metals in the soils were carried out. The analyzed elements were Arsenic (As), Cadmium (Cd), Lead (Pb), and Chromium (Cr). The results were compared with the Quality Reference Values used in the state of São Paulo and indicated the presence of Lead (Pb) and Chromium (Cr) above the Quality Reference Values at some points, located upstream of the delimited area, in valley bottoms near the watercourse. The area was classified by the occurrence of Líxicos Áquicos and Órticos Anthroposols with the presence of toxic elements and potential Anthroposols. As it is a recent concept, studies aiming to increase knowledge on the characteristics of Anthroposols are fundamental to the understanding of their dynamics and to propose measures of recovery and planning for appropriate use.

Key-words: Anthroposols, soils, relief, digital elevation model, former disposal areas, urban solid waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Organograma da tese *20*
Figura 2: Organização da pesquisa *31*
Figura 3: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 1 ..... *37*
Figura 4: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 2 ..... *38*
Figura 5: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 3 ..... *39*
Figura 6: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 4 ..... *40*
Figura 7: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 5 ..... *41*
Figura 8: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 1 ..... *52*
Figura 9: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 2 ..... *78*
Figura 10: Ilustração das diferenças conceituais entre tipos recorrentes e facetas de geoformas. *80*
Figura 11: Exemplo de um neurônio. *101*
Figura 12: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 3 ..... *105*
Figura 13: Diagrama de blocos da sequência utilizada para o processamento das RNAs para a elaboração de um mapa preditivo de solos *107*
Figura 14: Elementos do relevo utilizados para o processamento do mapa preditivo de solos no perímetro urbano de Presidente Prudente – SP *107*
Figura 15: Recorte 1 (setor sul do município de Presidente Prudente – SP) das variáveis de entrada e resultado da classificação de solos. 1) hipsometria, 2) declividade, 3) geoformas, 4) aspecto, 5) curvatura e 6) solos. *115*
Figura 16: Recorte 2 (setor norte do município de Presidente Prudente – SP) das variáveis de entrada e resultado da classificação de solos. 1) hipsometria, 2) declividade, 3) geoformas, 4) aspecto, 5) curvatura e 6) solos. *116*
Figura 17: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 4 ..... *133*
Figura 18: Presença de RSU – Antiga área de disposição de RSU – Parque Furquim *136*
Figura 19: Fotos da área de estudo Parque Furquim em 06/09/2017 ..... *163*
Figura 20: Fotos da área de estudo Parque Furquim em 28/09/2015 ..... *163*
Figura 21: Fotos da área de estudo Parque Furquim em 06/09/2017 ..... *163*
Figura 22: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 5 ..... *164*
Figura 23: Coleta de amostras de solo – coleta com trado - 28/09/2015 ..... *166*
Figura 24: Coleta de amostras de solo – coleta em perfil - 14/09/2017 ..... *166*
Figura 25: Fotos da área de estudo Parque Furquim em 14/09/2017 ..... *172*
Figura 26: Elementos de subsídio para classificação de Antropossolos em antigas áreas de RSU *189*

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Localização da área de estudo – Parque Furquim – Presidente Prudente - SP *22*
Mapa 2: Localização do município de Presidente Prudente – SP e pontos de coleta de amostras de solos *77*
Mapa 3: Hipsometria do município de Presidente Prudente – SP *84*
Mapa 4: Declividade do município de Presidente Prudente – SP *85*
Mapa 5: Curvatura do relevo do município de Presidente Prudente – SP *86*
Mapa 6: Geoformas do município de Presidente Prudente – SP *87*
Mapa 7: Aspecto do município de Presidente Prudente – SP *88*
Mapa 8: Localização do município de Presidente Prudente – SP e pontos de coleta de amostras de solos .. *104*
Mapa 9: Preditivo de solos do município de Presidente Prudente – SP *113*

Mapa 10: Localização das áreas de antigos depósitos de resíduos sólidos no perímetro urbano de Presidente Prudente – SP 132
Mapa 11: Preditivo de solos do perímetro urbano de Presidente Prudente – SP e antigas áreas de depósito de resíduos sólidos urbanos 139
Mapa 12: Declividade do perímetro urbano de Presidente Prudente – SP e antigas áreas de depósito de resíduos sólidos urbanos 140
Mapa 13: Geoformas do perímetro urbano de Presidente Prudente – SP e antigas áreas de depósito de resíduos sólidos urbanos 141
Mapa 14: Curvatura do relevo do perímetro urbano de Presidente Prudente – SP e antigas áreas de depósito de resíduos sólidos urbanos 142
Mapa 15: Hipsometria do perímetro urbano de Presidente Prudente – SP e antigas áreas de depósito de resíduos sólidos urbanos 143
Mapa 16: Aspecto do perímetro urbano de Presidente Prudente – SP e antigas áreas de depósito de resíduos sólidos urbanos 144
Mapa 17: Localização da área de estudo e pontos de coleta de amostras de solos – Parque Furquim - Presidente Prudente – SP 161
Mapa 18: Hipsometria da área de antigo depósito de resíduos sólidos urbanos - Parque Furquim - Presidente Prudente - SP 176
Mapa 19: Declividade da área de antigo depósito de resíduos sólidos urbanos - Parque Furquim - Presidente Prudente - SP 177
Mapa 20: Geoformas da área de antigo depósito de resíduos sólidos urbanos - Parque Furquim - Presidente Prudente - SP 178
Mapa 21: Curvatura do relevo da área de antigo depósito de resíduos sólidos urbanos - Parque Furquim - Presidente Prudente - SP 179
Mapa 22: Preditivo de solos da área de antigo depósito de resíduos sólidos urbanos - Parque Furquim - Presidente Prudente - SP 180
Mapa 23: Antropossolos da área de antigo depósito de resíduos sólidos urbanos - Parque Furquim - Presidente Prudente – SP 181

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análises granulométricas das amostras de solos nas áreas periurbanas 82
Tabela 2: Tamanho da área e percentual das classes de atributos do relevo e solos no município de Presidente Prudente – SP 89
Tabela 3: Relação das classes de atributos do relevo com as classes as unidades de solos classificadas 90
Tabela 4: Unidades de solos e atributos do relevo predominantes nos pontos de amostragem 91
Tabela 5: Arquitetura das RNAs com melhores resultados 111
Tabela 6: Padrões relacionados aos tipos de solos e atributos do relevo 117
Tabela 7: Resultados das análises granulométicas 173
Tabela 8: Resultados das análises químicas de metais pesados 174

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Características da composição dos anthropogeomorphic soil materials 54
Quadro 2: Descrição dos Technosols na WRB 2006 e 2014 56

Quadro 3: Qualificadores dos Technosols na WRB 2006 e 2014 57
Quadro 4: Definições de Technosols na WRB 2006 e 2014 58
Quadro 5: Definições de Anthroposols de acordo com ISBELL (2015) 60
Quadro 6: Classificação das principais intervenções humanas sobre os solos 63
Quadro 7: Definição e agrupamentos dos Antropossolos pela Embrapa (2004) 64
Quadro 8: Conceitos de Technosols Garbic e Urbic na WRB 2014 65
Quadro 9: Conceitos de Anthroposols Garbic e Urbic no Sistema Australiano de Classificação de Solos 66
Quadro 10: Classificação de Antropossolos Líxicos 67
Quadro 11: Variáveis de entrada para as RNAs 108
Quadro 12: Locais de disposição de resíduos sólidos urbanos em Presidente Prudente – SP no período de 1923 a 1997 135
Quadro 13: Valores orientadores para solo e água subterrânea no estado de São Paulo - 2014 168
Quadro 14: Classes de qualidade dos solos, segundo a concentração de substâncias químicas 168

LISTA DE SIGLAS

CAPES: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

DAIA-SMA/SP: Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo

EIA: Estudo de Impacto Ambiental

Embrapa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO: Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

FAPESP: Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo

IARC: Agência Internacional de Pesquisa em Câncer

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT: Instituto de Pesquisas Espaciais

MDE: Modelo Digital de Elevação

MDT: Modelo Digital do Terreno

MNT: Modelo Numérico do Terreno

NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*

PERS: Política Estadual de Resíduos Sólidos

PNMA: Política Nacional do Meio Ambiente

PPGG: Programa de Pós-Graduação em Geografia

RIMA: Relatório de Impacto Ambiental

RNA: Redes Neurais Artificiais

RSU: Resíduos sólidos urbanos

SiBCS: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SIG: Sistemas de Informações Geográficas

SIRGAS 2000: Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000

WRB: *World Reference Base for Soil Resources*

TAC: Termo de Ajustamento de Conduta

UTM: Universal Tranversa de Mercator

Sumário

1. INTRODUÇÃO 15
1.1. ORGANIZAÇÃO DA TESE 19
1.2. HIPÓTESE DA PESQUISA 21
1.3. OBJETIVO GERAL 21
1.3.1. Objetivos específicos 21
1.4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 21
1.5. PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA 23
1.6. DISCUSSÃO TEÓRICA EM GEOGRAFIA 24
1.7. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 31
1.8. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO 35
REFERÊNCIAS 42
2. OS SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO E AS PROPOSTAS DAS CLASSES DOS SOLOS COM ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS 48
2.1. INTRODUÇÃO 48
2.2. WORLD REFERENCE BASE FOR SOIL RESOURCES (WRB) E O CONCEITO DE TECHNOSOLS 52
2.3. A CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS AUSTRALIANA E O CONCEITO DE ANTHROPOSOLS 58
2.4. O SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (SIBCS) E O CONCEITO DE ANTROPOSSOLOS 61
2.5. CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS ANTROPOGÊNICOS EM ÁREAS DE ANTIGOS DEPÓSITOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS 65
CONSIDERAÇÕES 67
REFERÊNCIAS 70
3. ATRIBUTOS DO RELEVO E SUA RELAÇÃO COM OS SOLOS NO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE PRUDENTE – SP 72
3.1. INTRODUÇÃO 72
3.2. EXPERIÊNCIAS DA APLICAÇÃO DE MDE NOS ESTUDOS ENTRE RELAÇÃO DO RELEVO E SOLOS 74
3.3. MATERIAL E PROCEDIMENTOS 75
3.3.1. Área de estudo 75
3.3.2. Elaboração de mapas com atributos do relevo 78
3.4. RESULTADOS E ANÁLISES 80
CONSIDERAÇÕES 91

REFERÊNCIAS 92
4. INTEGRAÇÃO DE ATRIBUTOS DO RELEVO PARA O MAPEAMENTO PREDITIVO DE SOLOS COM USO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS 97
4.1. INTRODUÇÃO 97
4.2. O USO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA O MAPEAMENTO DE SOLOS.. 99
4.3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS 102
4.3.1. Área de estudo 102
4.3.2. Elaboração de mapas com atributos do relevo 105
4.3.3. Processamento das variáveis do relevo e elaboração do mapa preditivo de solos 106
4.3.3.1. Variáveis de entrada 106
4.3.3.2. Coleta de amostras de treinamento 108
4.3.3.3. Arquitetura das redes e algoritmo de treinamento 110
4.4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 111
4.4.1. Arquitetura das RNA e algoritmo de treinamento 111
4.4.2. Avaliação das variáveis de entrada 115
CONSIDERAÇÕES 118
REFERÊNCIAS 120
5. AS CARACTERÍSTICAS DAS ANTIGAS ÁREAS DE DISPOSIÇÃODE RESÍDUOS SÓLIDOS EM PRESIDENTE PRUDENTE - SP 125
5.1. INTRODUÇÃO 125
5.2. A DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM PRESIDENTE PRUDENTE- SP 129
5.4. RESULTADOS E ANÁLISES 134
CONSIDERAÇÕES 145
REFERÊNCIAS 149
6. CONTAMINAÇÃO DOS SOLOS EM ANTIGAS ÁREAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E FORMAÇÃO DOS ANTROPOSSOLOS 154
6.1. INTRODUÇÃO 154
6.2. SOLOS CONTAMINADOS E TÓXICOS 157
6.3. MATERIAL E PROCEDIMENTOS 160
6.3.1. Área de estudo 160
6.3.2. Elaboração de mapas 163
6.3.3. Coletas de amostras de solos 165
6.3.4. Critérios para análise dos metais pesados 166

6.3.4.1. Arsênio 168
6.3.4.2. Cádmio 169
6.3.4.3. Crômio 170
6.3.4.4. Chumbo Inorgânico 171
6.4. RESULTADOS E ANÁLISES 172
CONSIDERAÇÕES 182
REFERÊNCIAS 185
7. AVALIAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA 188
CONSIDERAÇÕES FINAIS 191

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O uso indiscriminado do solo levou à uma série de reflexões nas diversas áreas do conhecimento e, passou a ser alvo de novos estudos, visando permitir seu melhor aproveitamento, de acordo com a distinção de usos para fins agrícolas, de construção civil, planejamentos ambientais, extração de matéria-prima ou para outros tipos de exploração. A utilização dos solos nas atividades agropecuárias e para ocupação urbana, apresenta características distintas, de acordo com a sua intensidade. O solo é um recurso de importância social, econômica e ambiental, que nem sempre é levado em conta para assuntos de planejamento.

O solo é uma entidade natural que resulta da ação conjunta de fatores como: clima, organismos, material de origem, relevo, tempo e em certos casos, o uso que foi submetido pelo homem (RANZANI, 1969). E também pode ser definido como uma "[...] coleção de corpos naturais dinâmicos, que contém matéria viva, e é resultante da ação do clima e da biosfera sobre a rocha, cuja transformação em solo se realiza durante certo tempo e é influenciada pelo tipo de relevo" (LEPSCH, 2002, p. 9-10).

O solo é um recurso natural lentamente renovável e, desempenha funções importantes referentes à manutenção da estabilidade no ambiente, sobretudo, em centros urbanos. Nesses locais, terras com significativa importância ecológica são convertidas em áreas construídas, bem como, ambientes frágeis que oferecem diferentes níveis de riscos, devido a sua instabilidade, como encostas de morros, banhados e margens de cursos d'água, que desempenham papel importante no equilíbrio natural, e deveriam ser preservados das pressões antrópicas (PEDRON, 2005; PEDRON et al., 2007).

O conjunto de características que os solos adquirem, por meio da combinação de fatores, desde a formação, influenciam diretamente nas potencialidades de uso que cada área possui, e varia de acordo com os tipos de solos de cada região. Assim é importante que haja conhecimento sobre tais características, visando o melhor aproveitamento e planejamento do seu uso.

A falta de conhecimento sobre as propriedades e aptidões dos solos urbanos é um fator que leva ao seu mau uso e resultam em processos de compactação, erosão, deslizamentos, inundações, poluição com substâncias orgânicas, inorgânicas e patógenas. A mitigação desses efeitos pode ser melhorada com conhecimentos pedológicos e planejamento adequado (BULLOCK e GREGORY, 1991; PEDRON, 2005; PEDRON et al., 2004). Nas áreas urbanas, devido a dinâmica de processos e atividades ocorrem alterações de natureza diversa no perfil do solo, acarretando, muitas vezes, na redução da

qualidade ambiental e aumento dos custos devido à necessidade de recuperação destas áreas (PEDRON et al., 2007; ZANATA e PERUSI, 2010).

Há poucos estudos detalhados sobre a composição dos solos em áreas urbanas, porém há uma urgente necessidade por mais informação. Só então poderá haver um melhor entendimento sobre o alcance da interação entre os principais componentes e as implicações destes solos para o uso. Os solos em áreas urbanas contêm muitos materiais, de diferentes origens e composição, e o modo como provavelmente interagem é pouco compreendido (BULLOCK e GREGORY, 1991).

A existência de poucos trabalhos sobre os solos urbanos está no fato de que até meados dos anos 1990 não havia distinção nos sistemas de classificação entre solos urbanos e solos rurais. A classificação de solos tradicional era baseada nas propriedades do solo definidas em termos de horizontes, propriedades e materiais de diagnóstico. A identificação morfológica, em perfis, ainda é utilizada para solos naturais em áreas rurais e periurbanas.

O modo convencional de classificação de solos não deve ser visto como única maneira de classificar solos, pois a maneira pela qual as propriedades do solo e suas relações são organizadas para distinguir as classes depende da finalidade para a qual a classificação é criada (HOLLIS, 1991). Conforme Sobocká (2010) a compreensão e conhecimento da pedogênese não podem ser aplicáveis a toda a paisagem urbana, visto que, geralmente, os solos nas cidades foram completamente removidos ou aterrados por construções, e apresentam como principais obstáculos na pesquisa e mapeamento de solos urbanos:

- Identificar e classificar os horizontes pedológicos com características antrópicas;
- Identificar e classificar a variabilidade do material antropogênico;
- Medir dados analíticos para os compostos nocivos;
- Medir a impermeabilização do solo utilizando métodos adequados;
- Identificar dados sobre a história sítio urbano;
- Usar a tecnologia de escavação em perfis de solos urbanos e estar cientes da localização de tubos, cabos e outros elementos do subsolo;
- Respeitar proprietários particulares nas cidades.

Considerando as discussões sobre a importância de estudos sobre os solos urbanos, sua inserção nos sistemas de classificação e as inúmeras alterações em suas características, não permitindo classificá-los como solos com características

exclusivamente naturais, alguns países passaram a propor a inclusão de classes de solos antropogênicos.

A inclusão dos solos antropogênicos nos sistemas de classificação foi iniciada na década de 1990, com a proposta da FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) no *Soil Map of the World*, em 1988, incluiu a ordem do *Anthrosols* para contemplar solos afetados pela atividade humana resultante de alterações por meio de modificação ou soterramento dos horizontes originais, remoção ou alteração dos horizontes superficiais, adição prolongada de materiais orgânicos, irrigação contínua etc. (FAO, 1988). A partir da *World Reference Base for Soil Resources* (WRB) de 1998, período quando aconteceu uma série de encontros e congressos[1] para discutir sobre a temática, os conceitos passam a ser atualizados.

Após revisões, a ordem dos *Anthrosols*[2] aparece mais detalhada na WRB de 2006, relacionada com as alterações antrópicas causadas pela agricultura. Uma nova ordem é inserida para contemplar as alterações no ambiente urbano, os *Technosols*. Essas duas ordens fazem parte de um grupo de solos com forte influência humana – os *Anthrosols* devido ao longo e intensivo uso pela agricultura e os *Technosols* por conterem significativa quantidade de artefatos.

No Brasil, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) de 1999 apresentava o conceito de Camada Antrópica, resultante de estruturação induzida exclusivamente pelo homem, identificada tanto em situação de superfície como de subsuperfície. A partir do SiBCS de 2006, essa camada passa a ser denominada Horizonte A Antrópico, modificada pelo uso do solo, porém voltado à adição de material orgânico, como os utilizados na agricultura. Curcio et al. (2004), vinculados à EMBRAPA, publicam o documento 101 intitulado “Antropossolos: Propostas de ordem (1ª aproximação)” que apresenta detalhes sobre a proposta de classificação de solos resultantes de atividades antrópicas no ambiente urbano.

Curcio et al. (2004) apresentam essa nova ordem de classificação denominada Antropossolos, que considera as mudanças causadas nas características dos solos

---

[1] (i) *International conference: Problems of Anthropogenic Soil Formation*, em 1997, em Moscou na Rússia; (ii) *International Workshop on Classification, Correlation and Management of Anthropogenic Soils*, em 1998, na Califónia, Estados Unidos; (iii) 16º Congresso Internacional de Ciência do Solo, em 1998, em Montpellier, na França, criou um grupo de trabalho sobre solos de áreas urbanas, industriais, de tráfego e mineração; (iv) *First International Conference – Soil of Urban, Industrial, Traffic and Mining Areas*, em 2000, em Essen, na Alemanha (CURCIO et al, 2004).

[2] *Anthrosols* compreendem solos que foram modificados profundamente por meio de atividades humanas, como a adição de materiais orgânicos ou resíduos domésticos, irrigação e cultivo. O grupo inclui os solos conhecidos de outra maneira, como: Terra Preta do Índio (Brasil), *Agrozems* (Rússia), *Terrestrische anthropogene Böden* (Alemanha), *Anthroposols* (Austrália), and *Anthrosols* (China) (FAO, 2006).

naturais, visto que são gerados grandes volumes pedológicos com diferenças de materiais constituintes, técnicas de composição e tempo de formação, que contém formas de uso, potencialidades e fragilidades variáveis. O nome da ordem foi formado pela associação do elemento formativo *antropo* (do grego *Anthropos*: homem) com a terminação *solos*, cujo significado composto é "solo produzido pelo homem". Para que seja realizada a caracterização de um Antropossolos é necessário que se identifique uma das seguintes situações:

- Inversão ou mistura de horizontes genéticos e/ou diagnósticos;
- Presença de materiais antrópicos[3];
- Remoção de horizontes do solo feitos pelo homem, de forma manual, por máquinas e/ou implementos;
- Modificação na paisagem ocasionada pelo homem através da ação de máquinas e/ou implementos;
- Composição granulométrica e química modificada;
- Presença de materiais tóxicos e/ou sépticos.

A estruturação em níveis categóricos foi feita visando apresentar um nível elevado de especificidade, considerando a forma de intervenção humana e a natureza de materiais constitutivos. Assim, as intervenções foram agrupadas em três grandes ações, i) adição, ii) decapitação e iii) mobilização. Foram propostas quatro subordens para o segundo nível hierárquico: i) Líxicos – para adição de lixos nocivos no solo; ii) Sômicos – para as ações de mobilização com adição de materiais não nocivos; iii) Decapíticos – para a decapitação de solos e/ou saprolitos e rochas; e iv) Mobilíticos – quando se verifica apenas a mobilização dos solos. Há duas subordens de adição, os Líxicos e os Sômicos, por causa da natureza dos materiais constitutivos, os quais podem ou não determinar contaminação ambiental (CURCIO et al., 2004).

Desta forma, ao estudar os Antropossolos, devemos considerá-los como solos naturais que sofreram alterações em sua estrutura física e química, que não possuem mais características para realizar sua classificação tradicional e, portanto, devemos levar em consideração os fatores históricos e culturais da apropriação e transformação da natureza para explicar suas particularidades no contexto local. Para esta tese optou-se por analisar o processo de formação dos Antropossolos Líxicos, considerando as áreas de antigos

[3] Material antrópico: Compreende materiais de natureza mineral ou orgânica produzidos pela atividade humana, envolvendo, entre outros, plásticos, papéis, ossos, vidros, cerâmicas, concreto, materiais de reboco, caliça e embalagens diversas (CURCIO et al.,2004).

depósitos de RSU localizados no setor leste do perímetro urbano de Presidente Prudente – SP.

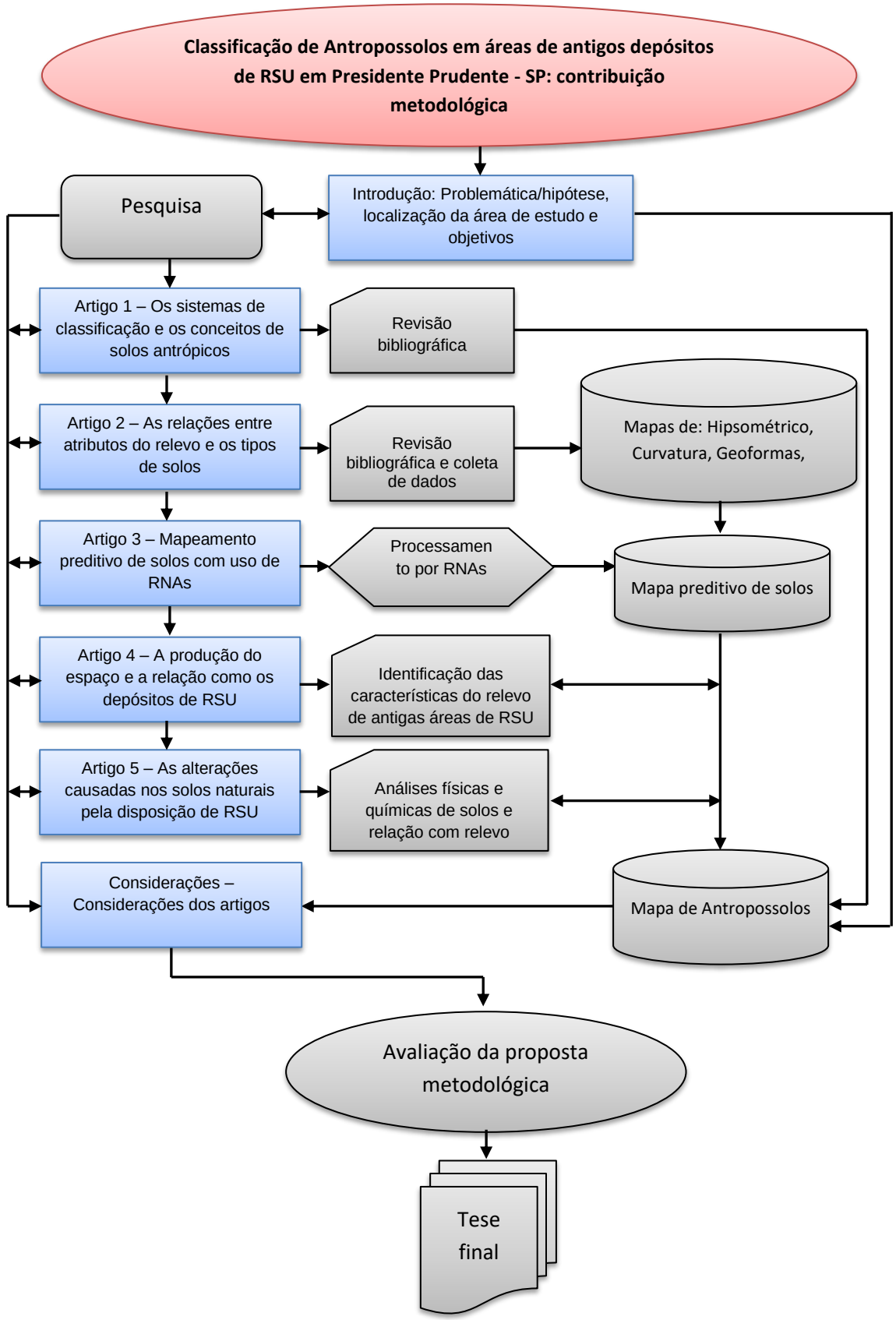
1.1. ORGANIZAÇÃO DA TESE

A tese foi organizada com uma introdução geral sobre a temática, seguida por cinco artigos, compostos por temas relacionados e, sequenciais, que ao final são discutidos conjuntamente nas considerações gerais. O artigo 1 apresenta uma revisão bibliográfica sobre os sistemas de classificação e os conceitos de solos antrópicos; os artigos 2 e 3 apresentam as relações entre atributos do relevo e os tipos de solos e um mapeamento preditivo de solos com uso de RNAs, respectivamente, considerando a área do município; o artigo 4 apresenta as relações entre a produção do espaço e a distribuição dos depósitos de resíduos sólidos na área do perímetro urbano e; o artigo 5 apresenta as alterações causadas nos solos naturais pela disposição de RSU na área de estudo no parque Furquim.

Para aplicar as etapas da metodologia proposta para compreensão dos processos fundamentais para a formação dos Antropossolos Líxicos foi escolhida uma área que foi utilizada para a disposição de RSU na década de 1980, localizada no setor leste da área urbana de Presidente Prudente – SP.

Para tanto, foi adotada a estrutura apresentada na Figura 1.

Figura 1: Organograma da tese



Fonte: elaboração própria, 2017.

1.2. HIPÓTESE DA PESQUISA

Esta pesquisa foi conduzida a partir das seguintes hipóteses: 1) A distribuição dos Antropossolos é resultado do processo de produção do espaço urbano e das políticas públicas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos; 2) É viável utilizar a modelagem ambiental para classificação de Antropossolos em áreas de antigos depósitos de resíduos sólidos urbanos.

1.3. OBJETIVO GERAL

Subsidiar uma metodologia para a classificação de Antropossolos em áreas de antigos depósitos de resíduos sólidos urbanos, com auxílio de técnicas de modelagem dos atributos do relevo e solo.

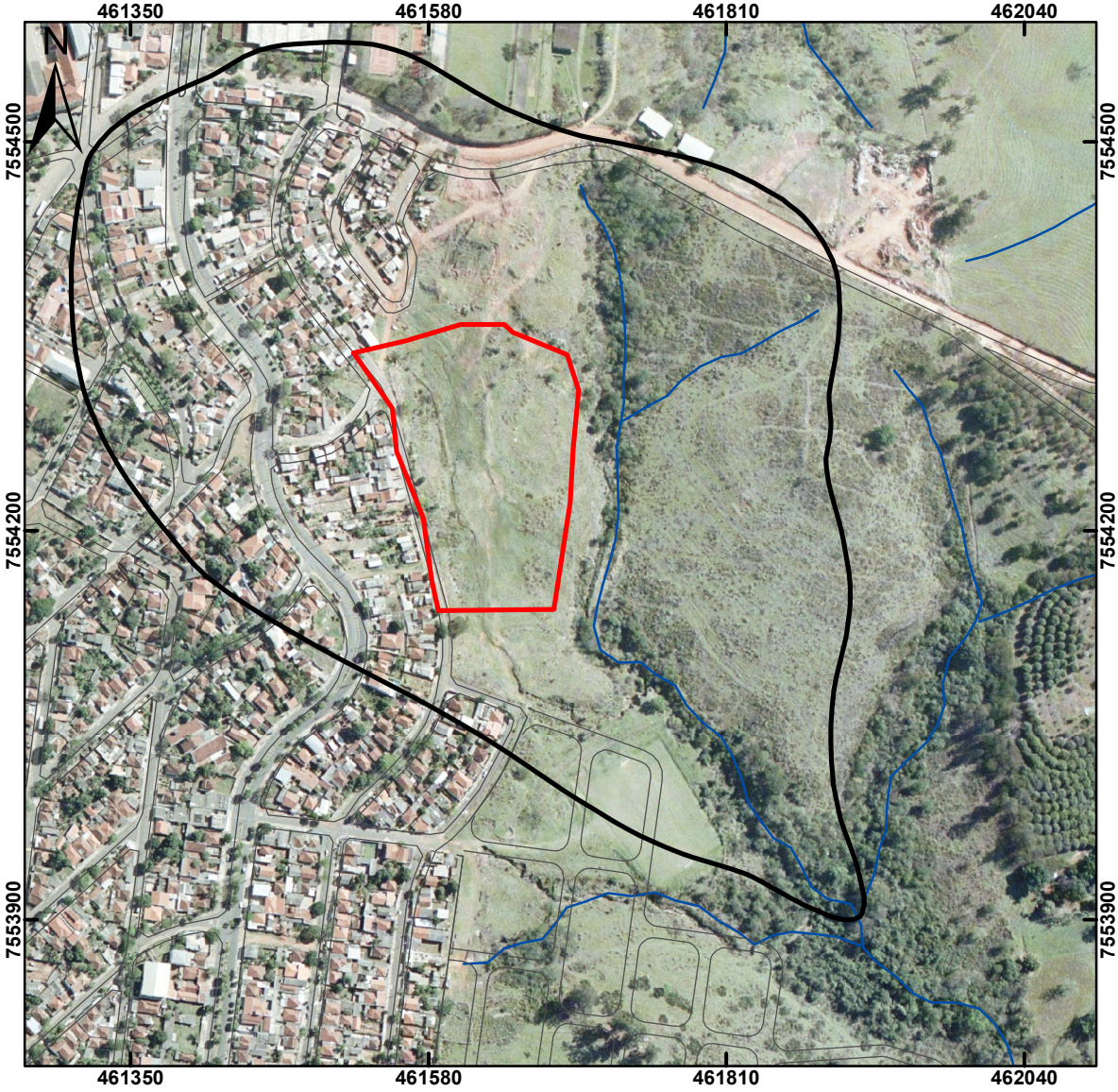
1.3.1. Objetivos específicos

- ✓ Averiguar as alterações ocorridas nos solos necessárias para classificá-los como solos antrópicos, a partir de diferentes sistemas de classificação;
- ✓ Identificar a existência dos padrões de ocorrência entre as feições do relevo e os tipos de solos naturais;
- ✓ Realizar a modelagem preditiva da distribuição espacial dos tipos de solo, com uso de redes neurais artificiais;
- ✓ Identificar as características predominantes do relevo e solo nas antigas áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos;
- ✓ Identificar a presença de metais pesados e as alterações nas características texturais dos solos na área analisada.

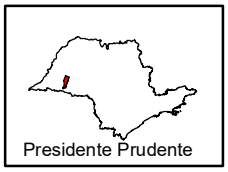
1.4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

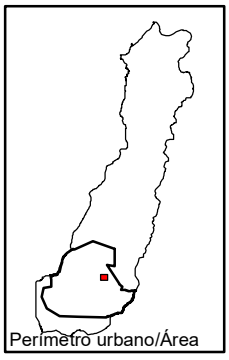
Para a elaboração dos mapas de relevo e de solos foi utilizada a escala em nível de munícipio, que foi ampliada para o perímetro urbano e localização das antigas áreas de disposição de RSU, identificados por Mazzini (1997), em sua maioria localizada nos setores norte e leste da área urbana. Para aplicação local foi selecionada a área localizada no setor leste, no bairro Parque Furquim, conforme apresentado na Mapa 1.

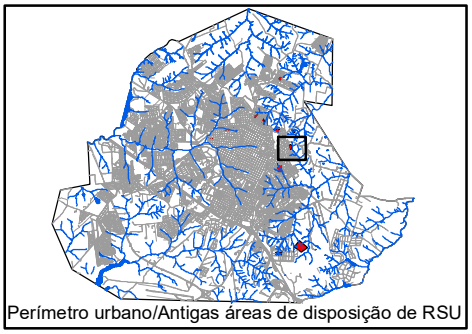
Mapa 1:
Localização da área de estudo - Parque Furquim - Presidente Prudente - SP











Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada
0 0.05 0.1 0.2
Km

Elaboração
Janaina Natali Antonio
Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

Legenda

- Malha urbana
- Drenagem
- Área de influência
- Área com presença de RSU
- Delimitação área de disposição de RSU (Mazzini, 1997)

Instituições e apoio

unesp
UNSW AUSTRALIA
CAPES
FAPESP

As áreas identificadas por Mazzini (1997) em geral possuíam características de alta declividade, em geral, situados em pontos de erosões próximas à fundos de vale e nascentes. No Parque Furquim foram utilizadas 4 áreas para disposição de RSU. A área escolhida está localizada ao longo da Rua Ramon Barrios, em um fundo de vale, próxima à nascente de um dos afluentes do Córrego Gramado. Nesta área a disposição durou aproximadamente 2 anos e 4 meses, de 1991 a 1994, e também teve o objetivo de aterrar uma grande voçoroca.

1.5. PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

O solo é dos elementos naturais mais afetados pelo processo de urbanização, com maior ou menor intensidade, que pode aumentar a degradação do ambiente e, consequentemente, a qualidade de vida da população, porém, em geral, há poucas informações sobre os solos nas cidades. Justamente, o conjunto dessas informações poderia melhorar o planejamento para o uso racional destas áreas (PEDRON, 2005; PEDRON et al., 2007), ao passo que as diferentes atividades urbanas promovem alterações de natureza diversa no perfil de solo, acarretando, muitas vezes, redução da qualidade ambiental e aumento dos custos devido à necessidade de recuperação destas áreas (PEDRON et al., 2007; ZANATA e PERUSI, 2010).

Ainda há carência de informações a respeito dos solos de ambientes urbanos. Em geral os estudos são voltados para solos rurais com potencial agrícola, porém o seu mapeamento e classificação são fundamentais na determinação do seu potencial de uso. Discutir sobre métodos de levantamento de solos urbanos e sistemas de classificação taxonômica, quanto a sua adequação, e as adaptações necessárias aos métodos de levantamento, bem como a criação de sistemas técnicos de classificação de solos urbanos são necessários para o subsídio de informações importantes ao planejamento ambiental dessas áreas (BULLOCK e GREGORY, 1991; PEDRON, 2005).

Os solos em áreas urbanas contêm muitos materiais de diferentes origens e composição, e o modo como interagem é pouco compreendido. A falta de conhecimento sobre as propriedades e aptidões dos solos urbanos é um fator que leva ao seu mau uso e resulta em processos de compactação, erosão, deslizamentos, inundações, poluição com substâncias orgânicas, inorgânicas e patógenas. A mitigação desses efeitos pode ser melhorada com conhecimentos pedológicos, geomorfológicos e planejamento adequado (BULLOCK e GREGORY, 1991; PEDRON et al., 2004; PEDRON, 2005).

O modo convencional de classificação de solos, não deve ser visto como única maneira de classificar solos, pois a maneira pela qual as propriedades do solo e suas relações são organizadas para distinguir as classes depende da finalidade para a qual a classificação é criada. O levantamento e mapeamento de solos urbanos (principalmente *Technosols*[4]) é uma tarefa complexa. As atividades humanas desempenham forte papel na distribuição do solo, ou no material de origem, com diferentes processos pedogenéticos, sendo que a variabilidade espacial do solo urbano representa uma grande parte da sua complexidade (HOLLIS, 1991).

Para os gestores e urbanistas há uma necessidade urgente de criar um manual para a descrição do solo urbano, classificação e avaliação com orientações úteis que podem ser incluídas para permitir a conscientização do uso do solo em processos de planejamento urbano, além de que, levantamentos urbanos podem indicar novos tipos de solo e podem ampliar o sistema de classificação do solo atual (SOBOCKÁ, 2010).

1.6. DISCUSSÃO TEÓRICA EM GEOGRAFIA

A Geografia, em seu papel de ciência que busca o entendimento das questões ligadas aos aspectos naturais e sociais, procura compreender a dinâmica do mundo a partir das relações entre a sociedade e a natureza. O estudo entre estas relações pode ser observado nas alterações feitas na paisagem enquanto resultado da ação do homem sobre o ambiente.

Para que se possa alcançar um entendimento global é necessário não tratar separadamente a natureza da sociedade e, assim, romper com a concepção de que o homem é um agente externo superior e que a função única da natureza é servi-lo. Os geógrafos precisam pensar a natureza na sua globalidade, considerando a diversidade social e as formas pelas quais a sociedade transforma e produz o espaço social (RODRIGUES, 1998; NUNES, 2002; GOMES, 2009).

Nas pesquisas geográficas as primeiras tentativas para integrar a discussão entre sociedade e natureza ocorreram na introdução da teoria de sistemas, quando inicia-se uma abordagem relacionada a ação antrópica sobre a natureza que, até parte do século XX havia uma visão naturalista, em que o homem era entendido como ser externo ao ambiente. Somente após os anos 1980, com o destaque da problemática ambiental nas ciências, a

[4] *Technosols* compreendem um grupo que combina solos cujas propriedades e pedogênese são dominadas pela sua origem técnica. Eles contêm uma quantidade significativa de artefatos fabricados pelo homem (FAO, 2014).

geografia passou a considerar os processos naturais e sociais em conjunto e em sua complexidade (MENDONÇA, 2002).

A partir da acelerada apropriação da natureza e sua degradação em meio as atuais formas de produção/acumulação, em que os problemas colocados como ambientais[5] é necessário considerar o aspecto intrínseco da relação sociedade e natureza, para propor novas reflexões, entre estas ideias surge a ideia de híbrido, conceito que resgata a expressão da unicidade e a articulação dos processos naturais e sociais. Nos estudos contemporâneos sobre a dinâmica da natureza é importante compreender a interação de processos no presente, com vistas à projeção de cenários futuros, visto a necessidade de conhecer a natureza e suas derivações decorrentes das atividades antropogênicas[6] (SUERTEGARAY, 2002).

As novas tecnologias favoreceram uma diferente relação com o tempo, pois promoveu transformação das formas e dos processos naturais, que antes ocorriam conforme a lógica de tempo longo (geológico) e passaram a ocorrer conforme o tempo curto (histórico). Nos estudos ambientais o tempo histórico está associado à necessidade de conhecer a nova funcionalidade e suas implicações no processo produtivo. Pois há necessidade de regeneração, por conta dos impactos, onde destacam-se os diagnósticos, monitoramentos e medidas mitigadoras, utilizadas para propor soluções técnicas de restauração da natureza[7] (SUERTEGARAY, 2002).

Sob a lógica das discussões de tempo nos estudos ambientais, e a intensificação da ação antrópica, capaz de acelerar processos endógenos e exógenos, levando a discussão sobre a aceleração do tempo geomorfológico, foi proposta uma nova designação de período geológico para caracterizar esta época, o Quinário ou Tecnógeno (PELOGGIA, 1998; ROSSATO e SUERTEGARAY, 2000), definido como o período onde o homem se sobrepõe ativamente em relação a natureza. Como nas alterações fisiográficas da paisagem, nas retificações de canais fluviais, terraplanagens, áreas erodidas e da criação de depósitos[8] correlativos comparáveis aos do Quaternário (PELOGGIA, 1998). As formas

[5] Efeito estufa, camada de ozônio, transgenias, formas de relevo tecnogênicas, chuva ácida, entre tantos outros (SUERTEGARAY,2002).

[6] Atividades resultantes da produção e reprodução da vida humana nas suas diferentes dimensões (SUERTEGARAY,2002).

[7] A restauração da natureza dá um novo sentido ao natural, para Milton Santos (1997) de natureza tecnificada, natureza artificializada (SUERTEGARAY (2002).

[8] Os depósitos tecnogênicos são depósitos resultantes da atividade humana, caracterizados inicalmente por Chemekov (1982) e Ter-Stepanian (1988) são marcados por sua grande variedade, feições diferenciadas claras, diversidade de composição e grande variação de espessura, que embora possam ser traçadas analogias com os depósitos naturais, guardam elevado grau de independência da situação externa e, em geral contêm artefatos diversos, e incluem depósitos construídos, no caso dos aterros de rejeitos, e outros, os depósitos induzidos, a partir de sedimentos que se depositam pelo processo de erosão resultantes do tipo de

e o tempo de com que ocorrem as transformações na paisagem estão ligadas a velocidade de criação de novas tecnologias capazes de intervir na dinâmica da natureza (SUERTEGARAY e NUNES, 2001).

A paisagem consiste de camadas formadas em diferentes tempos passados e que mesmo integrados ao sistema social presente, pode ter sofrido mudanças drásticas em suas funções e valores. Portanto, é possível realizar uma leitura horizontal a partir das estruturas e funções atuais, e vertical, ao datar as formas e sua origem e delinear na paisagem as acumulações ao longo da história por meio da periodização das técnicas e das rugosidades (SANTOS, 1988).

A paisagem não deve ser considerada como a simples adição de elementos geográficos, mas o resultado da combinação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, ao reagir dialeticamente, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução, composta pelo sistema geomorfogenético, a dinâmica biológica e o sistema de exploração antrópica, que tem muitas vezes papel determinante, seja ativando ou desencadeando erosões, seja somente modificando a vegetação ou solo, pelo desmatamento, reflorestamento, e outras ações (BERTRAND, 1968).

Tais considerações podem ser aplicadas principalmente aos estudos em ambientes urbanos, os quais recebem grande influência antrópica, principalmente ligados à escala do tempo histórico, visto que, neste espaço estão concentradas as atividades industriais e comerciais e bem como população, e os impactos desta concentração que muitas vezes se refletem em forma de problemas ambientais.

A cidade se configura enquanto paisagem resultante de combinações desiguais de tempos e técnicas. No período atual, os objetos técnicos-informacionais têm uma difusão mais generalizada e rápida que os precedentes. A difusão de objetos em todos os lugares gerou uma junção de objetos passados e presentes, que caracterizam cada paisagem conforme a distribuição de formas-objetos, criadas em momentos históricos diferentes, porém coexistindo no momento atual (SANTOS, 2002).

Como a propagação das técnicas é desigual, e ocorre de forma seletiva sobre o espaço, em um mesmo recorte de território podem coexistir sistemas técnicos provenientes de datas diferentes, que irão se combinar de formas distintas, gerando uma nova paisagem, sendo incorporadas com maior ou menor aceitação (SANTOS, 2002).

---

uso do solo e, os depósitos modificados, por meio de efluentes, adubos, entre outros (OLIVEIRA, 1994; PELOGGIA, 1998; ROSSATO e SUERTEGARAY, 2000; NUNES, 2002; SILVA, 2012; DIAS, 2015).

O espaço, como acumulação desigual de tempos materializados na paisagem, expressa uma realidade ambiental, cujo aprofundamento do olhar poderá contribuir para entender os processos sociais que foram responsáveis pela sua constituição espacial. Um caminho para o estudo do espaço, a partir da paisagem, é a periodização das técnicas, rugosidades, que nela se encontram e que indicam uma temporalidade. Assim, a reconstrução da paisagem do presente ao passado, é um caminho para compreender as formas de apropriação social da natureza expressas no ambiente (SANTOS, 2002).

Além da concentração de áreas comerciais e industriais e, consequentemente, da população, as áreas urbanas também concentram uma sobrecarga de problemas ambientais. Morato (2005) observa a relação existente entre o aumento demográfico e a degradação do ambiente, porém, ao partindo do ponto de vista de que não se deve responsabilizar exclusivamente o aumento da população pelos problemas ambientais, mas problematizar sobre a concentração populacional nas cidades capitalistas, observando o contexto das desigualdades sociais, principalmente no que se refere a distribuição desigual de renda.

No contexto da sociedade capitalista com a presença de classes antagônicas, o espaço urbano expressa em sua materialidade a desigualdade incluindo ao que respeito à questão ambiental, principalmente no que diz respeito a segregação espacial, reflexo da distribuição desigual de renda e se revela, por meio do acesso ao uso do solo e dos meios de consumo coletivo (GOMES, 2009).

O processo de segregação ocorre, pois com a existência de relações de poder hierárquicas relacionadas à diferença de classes e ação dos agentes produtores do espaço urbano[9], os quais possuem capital (incorporadores imobiliários, industriais, proprietários de terra urbana), capaz de permitir a realização de projetos de engenharia para melhorar as condições ambientais e agregar valor à terra, bem como garantir a qualidade de vida dos morados. Também possuem maior força política junto ao Estado, que tende a equipar o território de acordo com os interesses desses grupos (GOMES, 2009).

Rodrigues (1998) ao discutir questões sobre o entendimento da problemática ambiental no espaço urbano propõe que é importante compreender a problemática ambiental como resultado das contradições da produção social do espaço geográfico e das formas predatórias de apropriação da natureza. Porém, a problemática ambiental não deve ser vista apenas como produto da intervenção da sociedade sobre a natureza, mas

[9] Corrêa (1995) indica a existência de grandes agentes produtores, que acentuam e as práticas e processos de diferencial sócioespacial, são eles: (i) os proprietários dos meios de produção; (ii) os proprietários fundiários; (iii) os promotores imobiliários; (iv) o Estado; e (v) os grupos sociais excluídos.

relacionadas às problemáticas decorrentes da ação social, sem ocultar a existência de contradições de classes sociais.

As esferas de análise política, econômica, cultural, social e ambiental estão envolvidas no processo de produção da cidade, que se estrutura a partir da base física do relevo, o qual tem a sua apropriação realizada de forma desigual e combinada. Sobre o relevo são construídas edificações materiais (estradas, prédios, canalizações de rios, etc.) conforme a ação dos agentes sociais. Portanto “a produção do espaço físico das cidades é, ao mesmo tempo, a produção de natureza transformada e modificada pelo jogo de interesses públicos e privados que constroem, destroem e reconstroem novos espaços sociais” (NUNES, 2002, p. 39).

É possível realizar a análise de diferentes problemas ambientais, a partir de uma abordagem geográfica que considere a interação entre sociedade e natureza e sua relação permeada por processos naturais e sociais, políticos, econômicos e culturais que combinados entre si produzem uma dinâmica singular ao ambiente local (GOMES, 2009).

Os problemas ambientais são resultado da relação conflituosa da interação entre a sociedade e a natureza, que em uma sociedade capitalista é marcada pela desigualdade expressa na paisagem, e que acarreta consequências de ordem temporo-espacial, visto que ocorrem com velocidade e a intensidade diferentes das alterações na natureza, que mediados pela intervenção da técnica, baseada em moldes técnico-científicos contemporâneos, são incomparavelmente maiores que a temporalidade dos processos naturais (GOMES, 2009).

Pela lógica de desenvolvimento capitalista de produção e consumo, as áreas urbanas se desenvolvem baseadas na apropriação e concentração particular dos meios de produção e da força de trabalho, os quais são responsáveis pela territorialização de desigualdades e contradições, que principalmente, a partir da concentração desigual de renda se materializam sob a forma de vazios urbanos que atendem interesses de valorização de propriedades; proliferação de moradias precárias, em áreas de risco ou de preservação ambiental; desemprego; carência de serviços educacionais, de saúde pública e de geração de resíduos (HENARES, 2006).

Via de regra, são as classes com menores condições financeiras que acabam por localizarem-se em áreas periféricas e com características físicas não adequadas para moradia, tais como planícies de inundação e vertentes íngremes, e sem infraestrutura, fato que contribui para distribuir de forma desigual os problemas ambientais (BITOUN, 2005).

A relação ambiental, que se expressa no espaço urbano, como materialidade na paisagem mostra que o espaço é segregador, pois muitos problemas são gerados a partir do coletivo, porém a sua distribuição é desigual, já que, via de regra, é a população economicamente menos favorecida que acaba por ocupar as parcelas de maior restrição, como o caso dos fundos de vale, onde estão sujeitos a inundações ou mesmo que necessitariam de intervenções técnicas de adaptação para construções mais seguras.

As áreas, tais como os fundos de vales, várzeas de corpos d'água, vertentes de relevo dissecadas também foram, por muito tempo, utilizadas como áreas para o depósito de resíduos sólidos, que, bem como os depósitos à céu aberto, denominados lixões, geram vários problemas ambientais, entre eles deslizamentos, proliferação de vetores causadores de doenças, odores, poluição do solo, do ar, das águas, entre outros (NUNES, 2002).

Nas cidades, para compreender a questão dos resíduos sólidos urbanos, é importante que se compreendam as formas de produção e de consumo do espaço urbano, com enfoque nos agentes detentores do poder de decisão e de controle dos meios de produção, bem como o entendimento da dinâmica da natureza nas suas diversas interfaces (geomorfológica, geológica, climática, cobertura vegetal, etc.). Visto que resultam do modo desenfreado de produção industrial e na ampliação da produção de mercadorias, para satisfazer as necessidades de um modo de vida da sociedade do descartável que, consequentemente amplia a produção de resíduos líquidos, gasosos e, principalmente, sólidos, capazes de gerar inúmeros problemas sociais, econômicos e ambientais (NUNES, 2002).

A questão da produção dos resíduos sólidos está ligada ao desenvolvimento e crescimento das cidades, que impulsionado pela industrialização realiza a partir da criação de novas tecnologias, a criação de novos produtos, os quais são em sua maioria descartáveis, e devida à mudanças de hábitos[10] nos padrões de consumo[11], fazem com que o consumo e o descarte de materiais ocorram de forma cada vez mais acelerada, em grande parte, pelos estímulos ao consumo por meio da utilização propagandas[12], acaba por refletir no uso intensivo de recursos naturais, poluição, degradação dos ecossistemas

[10] Estas são características da sociedade do descartável onde as mercadorias são cada vez mais rapidamente descartadas, pois nada parecer ser durável e a sociedade é também descartável (RODRIGUES, 1998).

[11] Outros trabalhos sobre: o nascimento do consumo (ROCHE, 2000); a transformação da sociedade em mercadoria (BAUMAN, 2008); a inserção dos objetos e criação de necessidades (BAUDRILLARD, 2008); relação entre produção de resíduos sólidos e poder aquisitivo (ANTONIO et al., 2007).

[12] Baudrillard (1995), Santos (2006).

naturais, produção de descarte de resíduos produzidos em maiores quantidades (CORTEZ, 2002; NUNES, 2002; IKUTA, 2010).

Porém o aumento do consumo e da produção de resíduos sólidos não são exclusivamente os causadores de problemas ambientais, mas a falta de tratamento e/ou destinação adequada, visto que grande parte das cidades brasileiras, por muito tempo, depositaram seus resíduos sólidos domésticos diretamente no solo sem tratamento, ou mesmo separação de outros tipos de resíduos, como os industriais e de serviços de saúde, e sem medidas prévias de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública, em planos considerados imediatistas, visto que não contam com etapas de planejamento (ANTONIO, 2009; IKUTA, 2010).

Os resíduos sólidos, em muitos casos, são direcionados para determinadas áreas periféricas urbanas, denominadas lixões[13], muitas localizadas em fundos de vale, nas proximidades de várzeas de cursos d'água, vertentes de relevo dissecadas, que do ponto de vista ambiental são inadequadas e podem causar série de impactos ambientais, a curto, médio e longo prazo, devido à decomposição dos resíduos orgânicos e à produção de chorume, bem como, a presença de elementos químicos, podem causar a contaminação dos solos e das águas, além de causar poluição visual e auditiva, e a proliferação de vetores como ratos, baratas, moscas e mosquitos nocivos à população (JARDIM et al, 1995; MAZZINI, 1997; NUNES, 2002; HENARES, 2006; CANTÓIA, 2007).

A disposição dos resíduos sólidos em lixões apenas retira o problema do campo de visão da população na medida em que, após a sua deposição no solo, continua a existir (TAKENAKA, 2008). A disposição de resíduos sólidos diretamente nos solos causa alterações em suas características físicas capazes de promover processos erosivos, e químicas, como pela adição de elementos contaminantes, capazes de causar problemas ambientais ligados à contaminação dos solos em áreas urbanas e, portanto, dependem de maiores estudos para a compreensão de sua dinâmica para promover a recuperação de áreas para que possam receber usos adequados.

Portanto, os estudos sobre os solos em áreas urbanas e, neste caso específico, os Antropossolos Líxicos são de grande interesse para a Geografia, uma vez que apresentam a materialização na paisagem urbana das marcas da relação entre a sociedade e a natureza, e permitem compreender sua dinâmica. Pode contribuir para o planejamento do

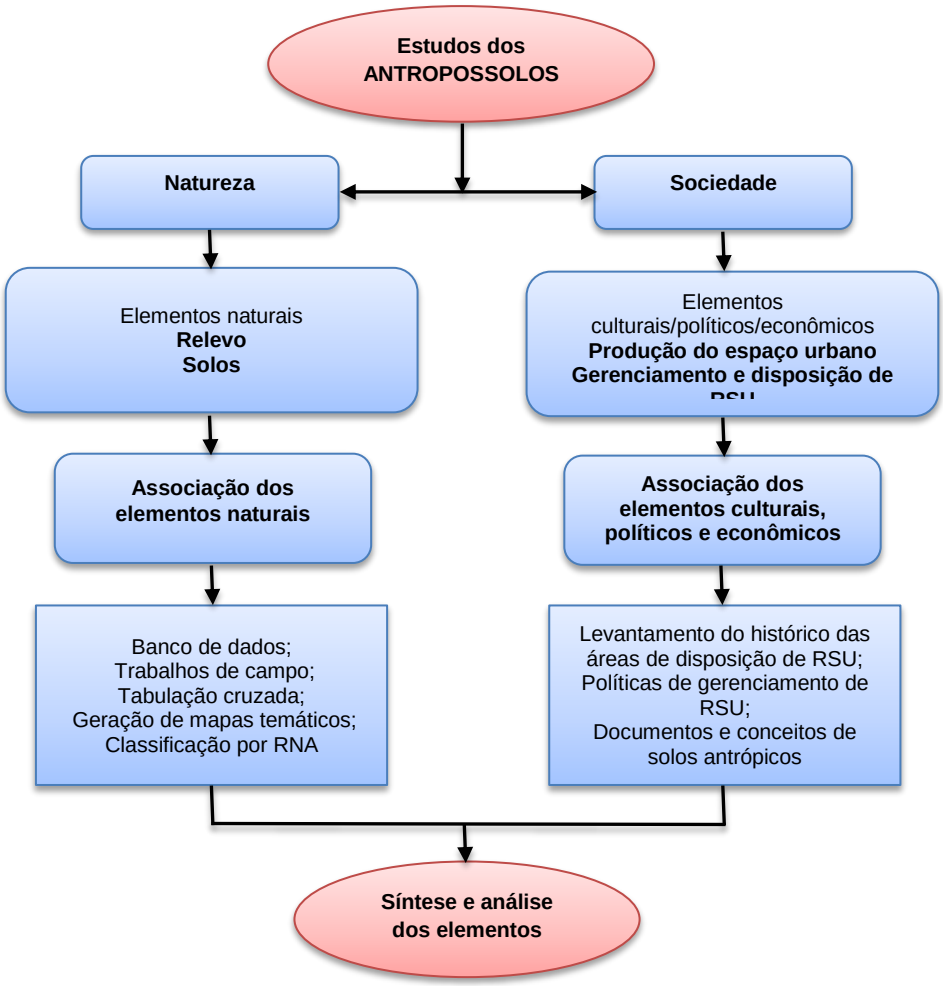
[13] Forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. O mesmo que descarga de resíduos a céu aberto (JARDIM, 1995, p.76).

uso e recuperação de antigas áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos, considerando as características de cada área.

1.7. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo dos Antropossolos ainda é recente, visto que é um conceito que passou a ser discutido em âmbito mundial na década de 1990, com as primeiras conceituações propostas na WRB em 1998, pela FAO, seguida por outros países como a Austrália em 1992, e mais recentemente no Brasil em 2004, proposta por Curcio et al. (2004) vinculado à EMBRAPA. Portanto, diferentes metodologias são aplicadas de acordo com as classificações, os tipos de intervenção e a natureza dos materiais constituintes dos solos antrópicos. Neste estudo optamos por utilizar a proposta de classificação brasileira, ainda na ordem de primeira aproximação e não inserida no documento do SiBCS, seguindo uma organização para contribuir nos estudos dos Antropossolos a partir de uma análise geográfica, conforme o organograma apresentado na Figura 2.

Figura 2: Organização da pesquisa



Fonte: elaboração própria, 2017.

A representação cartográfica e modelagem dos elementos naturais são utilizadas como um instrumento geográfico para se analisar a temática da distribuição e das características dos Antropossolos no espaço urbano de Presidente Prudente – SP, partindo, inicialmente, da modelagem de atributos do relevo e análise das relações existentes com os tipos de solos naturais, considerando metodologias de levantamentos e mapeamentos de solos.

Os levantamentos de solos diferenciam-se, pelos objetivos a que são destinados e pela extensão das áreas que abrangem. Cada tipo de levantamento corresponde um tipo de mapa ou carta de solos, sendo reconhecidos cinco tipos principais de levantamentos: exploratório, reconhecimento, semidetalhado, detalhado, ultradetalhado. A utilização de sensores remotos mais apropriados em termos de escala e resolução, aliada à intensificação dos trabalhos de campo, proporcionam uma melhoria considerável no produto do mapeamento, porém os levantamentos detalhados são mais onerosos e requerem mais tempo de execução (IBGE, 2007).

Por isso o desenvolvimento de técnicas como nas áreas de geoprocessamento, sensoriamento remoto, modelos matemáticos, podem auxiliar no levantamento de solos de forma detalhada, integrando informações para a geração de mapas de solos, de maneira mais rápida e menos onerosa que os métodos tradicionais, porém sempre mantendo um nível de comprovação da veracidade dos mapas por intermédio dos trabalhos de campo.

Muitos estudos foram realizados nas áreas de Pedometria com auxílio de metodologias quantitativas que realizam mapeamentos semiautomáticos. Zhu et al. (2010) realizaram a previsão de propriedades do solo utilizando lógica *fuzzy* e regressão linear múltipla. Klingebiel et al. (1988) consideraram a relação entre a elevação do terreno e as características da paisagem e de solos para realizar mapeamentos de solos. McBratney et al. (2000) utilizaram diferentes técnicas pedométricas, dados auxiliares, abordagem de CLORPT[14] e geoestatísticas, gerando um método híbrido para melhorar os estudos de Pedometria. Dobos et al. (2000) realizaram o mapeamento regional de solos por meio da combinação de um MDE e dados radiométricos de satélites. Alves (2008) realizou o mapeamento de solos integrando informações obtidas por sensoriamento remoto e geoprocessamento.

[14] Ao utilizar métodos de levantamentos e mapeamento de solos, há uma abordagem clássica, conhecida como o método CLORPT, estabelecida por Dokuchaev nos primórdios da Ciência do Solo, a qual estabelece que o solo é o resultado da interação entre cinco fatores: clima (Climate - Cl), organismos (Organisms - O), relevo (Relief – R), material de origem (Parent material - P) e tempo (Time – T). Os quatro primeiros fatores interagindo no tempo, criam uma série de processos específicos que levam à diferenciação em horizontes e, consequentemente, à formação do solo. Esse método foi implementado por Jenny em1941 (EMBRAPA, 2003).

Para a realização de levantamentos e mapeamentos de solos é possível a utilização de metodologias de classificação, com o auxílio de aplicativos específicos. Com o auxílio do geoprocessamento alguns estudos tornam-se mais dinâmicos e diminuem seu custo com trabalhos de campo. Neste trabalho a opção para modelagem dos solos naturais, para posterior comparação com os solos antrópicos, foi a metodologia das RNA (redes neurais artificiais). As RNA são utilizadas com sucesso em análises ambientais, na linha das técnicas quantitativas que são utilizadas em Pedometria[15], com a finalidade de realizar a predição de classes de solos com maior rapidez, precisão e custos mais baixos. Sirtoli (2008) utilizou RNA para a predição de unidades de solos, através da utilização de atributos do terreno e índices espectrais associados à geologia, obtendo resultados semelhantes aos mapas realizados por métodos convencionais.

Com a utilização desta metodologia é possível avaliar padrões associados aos tipos de rochas, formas do terreno, textura do solo, condições da rede de drenagem, suscetibilidade ao escoamento e materiais inconsolidados sobre as rochas, já que os componentes da natureza não podem ser entendidos isoladamente (RIBEIRO, 2003). Este tipo de estudo é importante e pode ser utilizado para diversas áreas como Geomorfologia, Geologia, Pedologia, Planejamento Urbano e Regional, visando a utilização adequada do espaço geográfico.

Os levantamentos de solos em áreas urbanas devem considerar adaptações dos levantamentos convencionais, em áreas rurais, pois estes caracterizam-se pela presença de materiais artificiais, densidade predial, alto grau de impermeabilização e transformações morfológicas que impedem a compartimentação da paisagem e delimitação de tipos de solos em campo, portanto as ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são indispensáveis no levantamento de solos dessas áreas, e sua classificação visa facilitar o entendimento, a generalização das informações obtidas e até mesmo a predição daquelas não coletadas (PEDRON, 2005).

Para a representação do espaço geográfico pode ser realizado o uso de modelos e representações cartográficas[16], visto que o avanço das tecnologias auxilia no processo de análise e processamento de dados em áreas maiores, como no caso dos mapeamentos de solos. Entretanto, não substituem os trabalhos de campo, visto a complexidade de fenômenos naturais e sociais que se manifestam no espaço. Assim, para reforçar, deve ser

[15] Aplicação de matemática e métodos estatísticos para a modelagem quantitativa dos solos, com o objetivo de analisar a sua distribuição, propriedades e comportamento (HEUVELINK, 2003).

[16] Sobre a cartografia nos estudos geográficos, ver: Lacoste (1988), Martinelli (1994), Gomes (2009).

dito que a realização de trabalhos de campo para observação e coleta de dados foi etapa fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

Para utilizar a cartografia ou a modelagem para questões ambientais é necessário considerar a sua complexidade. Para isso, Alonso (2002) aborda sobre as proposições de uma cartografia ambiental, que pode se utilizar de mapas ambientais integrados que reflitam parcialmente a melhor possibilidade desta realidade complexa. Considerando a complexidade do ambiente e a necessidade de manejar numerosas variáveis para representar de forma mais ampla o seu funcionamento e dinâmica, e poder ser utilizado na resolução de problemas, é importante seguir um conjunto de orientações ao extrair dados. É importante decidir sobre quais dados são mais significativos ou relevantes para temática proposta no estudo, para agrupar os componentes ambientais mais relevantes (ALONSO, 2002).

A cartografia realizada pela ciência geográfica se diferencia das demais essencialmente por possuir; (i) uma forte consideração da componente humana; (ii) uma base científica fundamentada na geografia e; (iii) uma perspectiva bastante analítica e setorial dos mapas, com o que dominam mapas temáticos ambientais, mas certamente não faltam contribuições integradas (ALONSO, 2002). Journaux[17] (1985) apresenta uma cartografia ambiental com definições plurais que mostram certas ambiguidades, por esta razão, distingue três níveis independentes do fator escala. Os dois primeiros níveis são tradicionais, porém o terceiro possui originalidade em sua concepção e finalidade. Os três níveis configuram um processo ordenado.

Primeiro nível: Mapas de análises, que tem por finalidade cartografar os elementos ou os processos simples. Os elementos que podem ser cartografados são as formações superficiais, geológicas, formações vegetais, espaços agrícolas, tipos de construção urbana, densidade de população, resíduos, contaminação atmosférica, hídrica etc. E os processos podem ser mapas morfoclimáticos, de uso do solo, da degradação do habitat etc.

Segundo nível: Mapas de sistemas, os quais tem a finalidade de cartografar associações de elementos ou de processos para definir sistemas, ou bem para estabelecer mapas de aptidão. Trata-se de tomar elementos ou processos úteis para o caso e desprezar os outros. Os mapas de sistemas podem ser representados pelos mapas

[17] Presidente do Grupo de trabalho sobre a Cartografia Ambiental e sua dinâmica surgida do Programa MAB (Man and Biosphere), promovido pela União Geográfica Internacional (UGI), que foi concebido sob o prisma das relações homem-meio e com o incentivo de integrar definitivamente o homem com um elemento a mais do meio ambiente e do ecossistema (ALONSO, 2002).

agrários, ecológicos (mostram a degradação do meio) etc. E os mapas de aptidão, destinados a dar recomendações são os mapas geotécnicos, de riscos naturais para evitar catástrofes (deslizamentos, avalanches, inundações), mapas preparatórios para ordenamento, transformação, renovação etc.

Terceiro nível: Mapas de sínteses, os quais tem a finalidade de sensibilizar sobre problemas ambientais, destinados não apenas a propiciar uma tomada de consciência sobre o estado do meio ambiente, como também ajudar a atuar como conhecimento da causa a quem decide.

O mapa ambiental e de dinâmica resultante daria conta de todos os elementos naturais e da ação humana, presente e passada. Graças a um sistema de símbolos, por justaposição e sobreposição[18], revela as limitações impostas pelo meio ambiente e o sentido de sua evolução dinâmica. Contribui para captar e calibrar os fenômenos de correlação e de potencialidade atendendo ao mesmo tempo as tendências de mudanças de seus componentes (JOURNAUX, 1985).

No caso desta pesquisa a utilização de mapas para representação e construção de modelos ambientais com características do relevo e de solos naturais, permitiram traçar um panorama das características das áreas onde estão localizados, preferencialmente, os Antropossolos Líxicos e fazer correlações com o histórico de ocupação do setor da cidade, bem como das áreas específicas utilizadas para disposição dos resíduos sólidos, relacionando as formas de relevo mais utilizadas e quais os processos e agentes envolvidos. Para estabelecer relações entre o processo de formação dos Antropossolos partimos de discussões teóricas voltadas para as relações entre sociedade e natureza materializadas na paisagem urbana, por meio da produção do espaço, como relações capazes de realizar intensas alterações na natureza, a ponto de levar a formação de novos tipos de solos.

1.8. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Ao realizar uma proposta metodológica para a identificação dos Antropossolos parte-se do princípio de que é importante conhecer as características dos solos naturais,

[18] Os mapas se consideram integrados quando se estabelece uma relação direta entre dois ou mais componentes ambientais diferentes. São mapas fundamentalmente corretivos ou/e sintéticos. A integração supõe combinar informações por justaposição, sobreposição ou por análise de dados correspondentes a elementos de diferente natureza ambiental. Esses mapas podem, por tanto, apresentar diferentes níveis de integração. Normalmente, constituem mapas derivados de mapas ambientais setoriais prévios que servem de apoio, ou bem de outros mapas integrados de níveis inferiores. Em todo caso, pode ocorrer que se elaborem diretamente, sem intermediação de mapas prévios (ALONSO, 2002).

para realizar comparações, se de fato ocorreram mudanças que possam caracterizá-los de acordo com as classificações propostas. Estas classificações ainda são recentes e, necessitam de dados que comprovem sua aplicação prática e colaborem para a afirmação desses conceitos. A partir das perguntas de partida iniciou-se o desenvolvimento do trabalho, no qual cada capítulo corresponde a uma pergunta principal e outras complementares para ampliar o debate e contribuir com a conceituação dos Antropossolos.

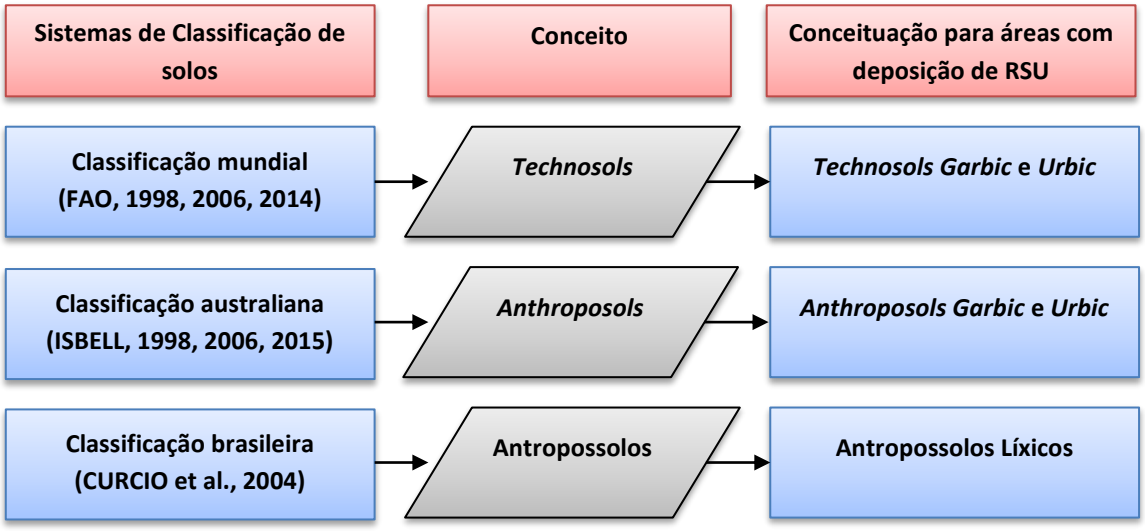
Para o primeiro capítulo seria primordial conhecer os antecedentes, os conceitos, as propostas de classificação, o que levou a questão: Quais as alterações nos solos necessárias para classificá-los como solos antrópicos? Como os sistemas de classificação de solos realizam sua conceituação e classificação? Quais elementos devem ser levados em consideração na classificação dos solos antrópicos?

Muitos autores discutem que, a partir da intensificação da urbanização, as áreas transformadas para o uso urbano tiveram suas características naturais alteradas de forma intensa. Entre os elementos alterados estão os solos, que, por meio de processos mecânicos como a retirada, transporte e adição, tiveram suas características naturais alteradas, como por exemplo, a perda dos horizontes de identificação e a adição de artefatos, incluindo materiais contaminantes.

Essas alterações são significativas, de forma que, após a década de 1990, os sistemas de classificação começaram a discutir tais alterações, inicialmente nos solos utilizados para a agricultura por longos períodos e posteriormente nos solos urbanos. Para exemplificar alguns conceitos, utilizados nos sistemas de classificação, foram apresentadas discussões que levaram à inserção de uma nova categoria de solos, resultantes de ações antrópicas, na WRB utilizada em âmbito mundial, como referência para outros países organizarem os seus sistemas de classificação, e as classificações australiana[19] e brasileira, para verificar a evolução dos conceitos e propostas de subordens, as quais são classificadas de acordo com os tipos de processos e materiais encontrados nos solos, como no caso da deposição de RSU, que são artefatos capazes de alterar as características dos solos e podem possuir caráter contaminante. A organização do artigo é apresentada na Figura 3.

[19] A classificação australiana foi uma das primeiras a incorporar a conceituação de solos com alterações antrópicas a partir do ano 1992. O conceito de *Anthroposols* foi atualizado em 1998, 2006 e 2015.

Figura 3: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 1



Fonte: elaboração própria, 2017.

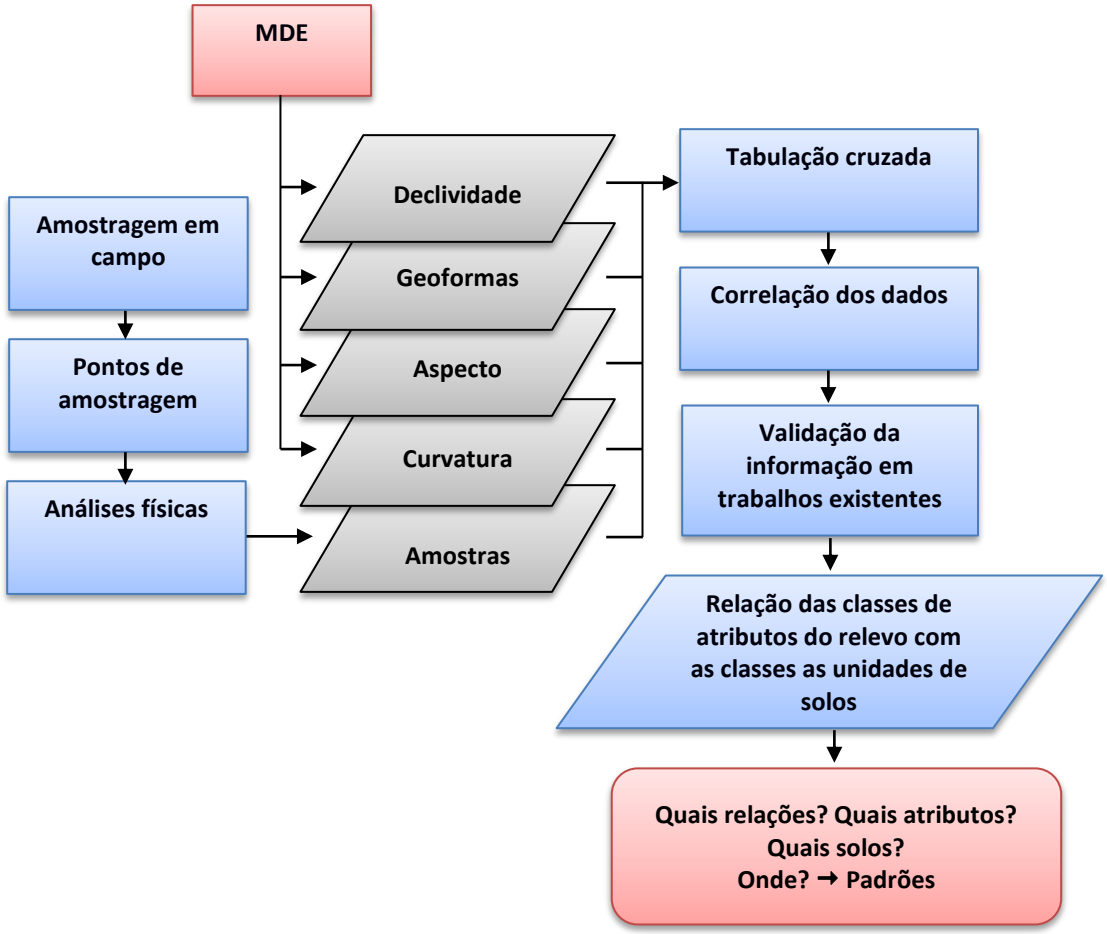
No segundo artigo foi realizado o levantamento das características das geoformas para verificar a sua relação entre a formação e os tipos de solos, pois para auxiliar na identificação dos Antropossolos, acredita-se ser um ponto importante para realizar comparações sobre a possível existência de ocorrência de um padrão de formação destes solos e a identificação dos tipos e características de atributos do relevo e dos solos que poderiam responder a questão: Quais as relações existentes entre as feições do relevo e os tipos de solos naturais em Presidente Prudente? Quais são as principais formas de relevo? Quais são os principais tipos de solos?

Para cumprir esta etapa foi realizada a organização dos atributos do relevo com base em um modelo digital de elevação (MDE), a partir do qual foram gerados os atributos declividade, geoformas[20], aspecto[21], curvatura, os quais foram combinados, por meio de tabulação cruzada com os dados de amostras coletadas em campo para verificar a relação existente entre solos e relevo na área no município de Presidente Prudente, conforme a organização apresentada na Figura 4.

[20] Compartimentação do relevo.

[21] Orientação das vertentes.

Figura 4: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 2



Fonte: elaboração própria, 2017.

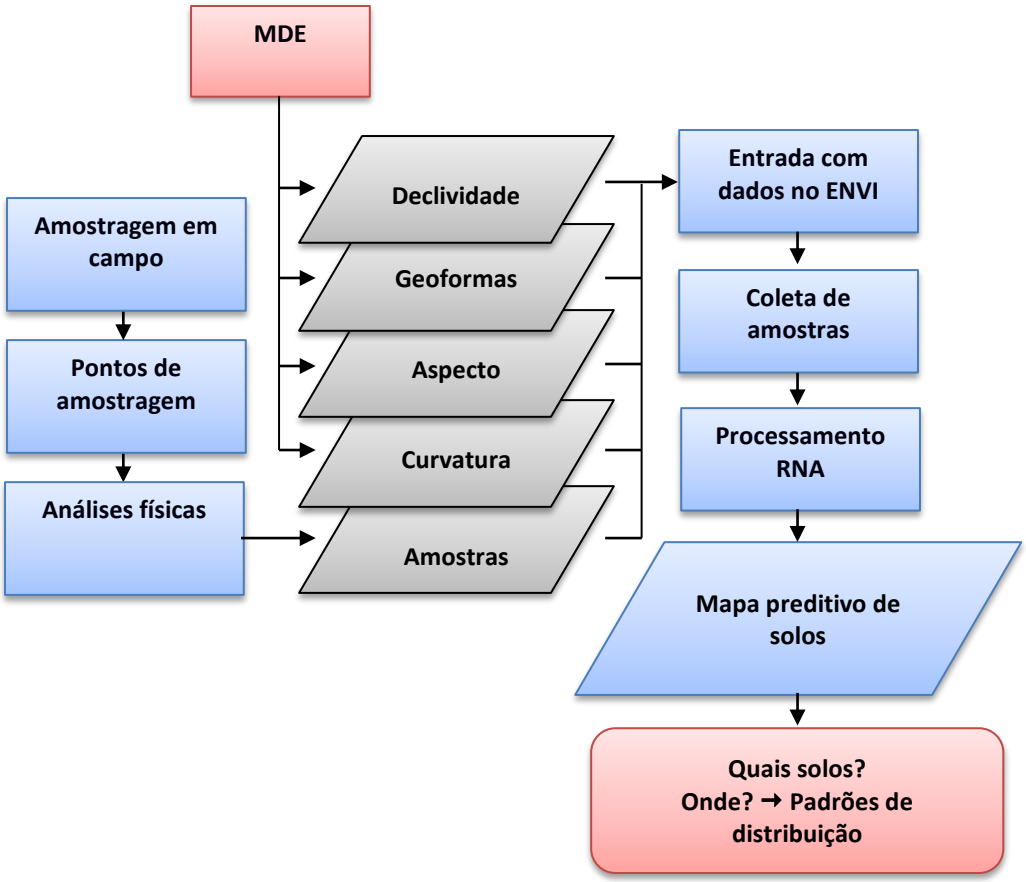
No terceiro artigo utilizou-se os dados organizados sobre a relação existente entre os atributos do relevo e os tipos de solos encontrados no município, pois acredita-se que não apenas as relações entre relevo e solos são um fator importante na pesquisa de Antropossolos, mas também a sua espacialização para verificar onde estão localizados e realizar comparações sobre as características de cada tipo de solo. Era preciso responder as questões: Qual a distribuição espacial dos tipos de solos em Presidente Prudente? A modelagem pode ser um elemento que pode auxiliar no mapeamento dos solos? É possível realizar seu mapeamento a partir das características do relevo?

Para tal se fez a opção de realizar a modelagem dos dados espaciais utilizando a metodologia de processamento por meio de redes neurais artificiais (RNA), propondo a realização de um mapeamento preditivo de solos para a área do município de Presidente Prudente, para que pudesse posteriormente ser utilizado como critério de comparação com os solos da área urbana. Pois, os solos nas áreas urbanas devido a sua grande

movimentação, não possuem horizontes para caracterização e mesmo outras características já foram alteradas.

O modelo preditivo de solos naturais foi realizado a partir de dados de coletas de amostras de solos em áreas periurbanas acrescidas das amostras de áreas rurais do trabalho realizado por Fushimi (2012) onde ainda podem ser encontradas características naturais preservadas, e considerando as relações existentes entre os atributos do relevo, puderam ser espacializados pelo processamento das RNA, conforme a os procedimentos apresentados na Figura 6.

Figura 5: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 3



Fonte: elaboração própria, 2017.

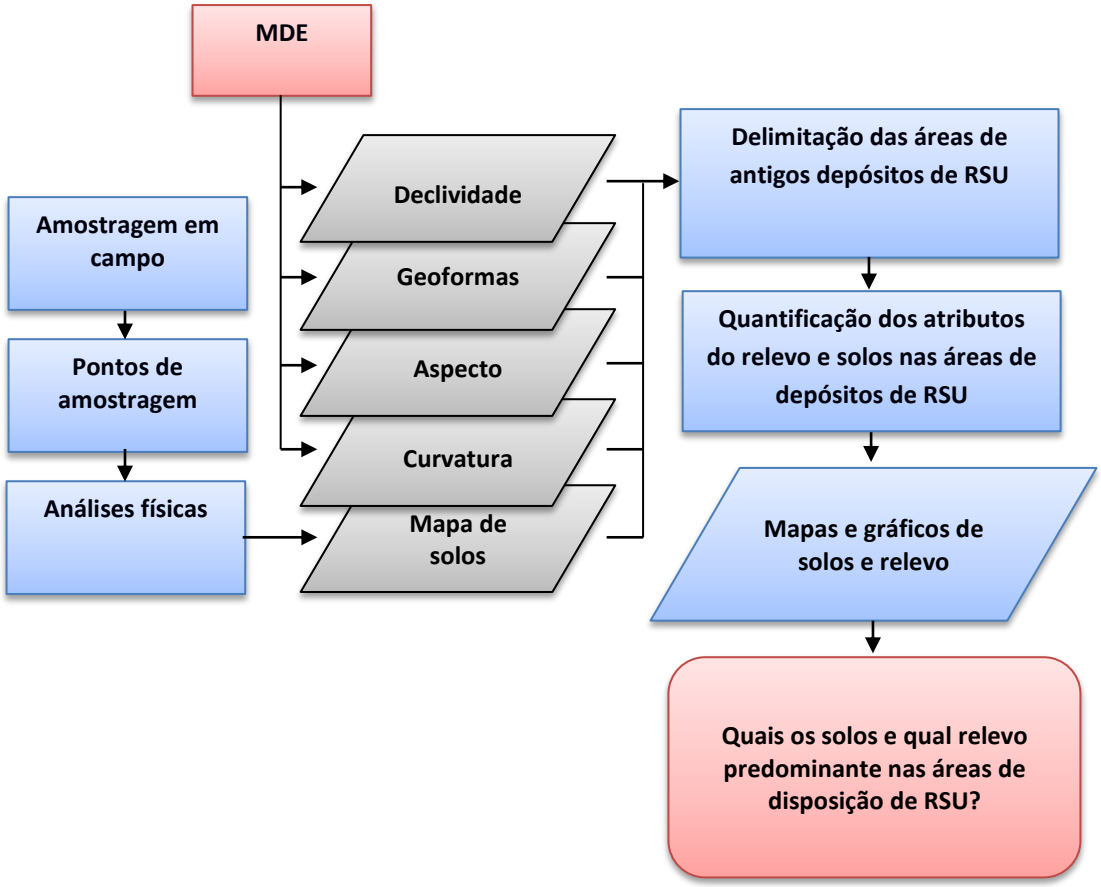
No quarto artigo abordou-se diretamente a questão da produção do espaço urbano e relações entre a sociedade e a natureza neste ambiente que, seguindo a lógica capitalista de produção, não oferece condições igualitárias de acesso à moradia, empregos, infraestrutura urbana, e geram, portanto, desigualdades sociais e problemas ambientais. Conforme as regras da produção do espaço urbano, que é produzido de acordo com a

lógica de mercado, interesses econômicos e políticos de determinados agentes, os quais levam a valorização de certas áreas e a consequente desvalorização de outras.

Um dos fatores de valorização é a compartimentação do relevo, sendo que as áreas mais altas e planas, via de regra, são valorizadas e os compartimentos com altas declividades e fundos de vale são desvalorizados. Em muitos casos estas áreas, acabavam sendo utilizadas para a disposição dos RSU, diretamente no solo nos lixões.

Nesse artigo foi realizado o levantamento de trabalhos sobre a produção do espaço urbano e a localização de antigas áreas de disposição de RSU. Foi realizada a caracterização destas áreas, levando em consideração os atributos do relevo e o mapeamento preditivo de solos, com objetivo de responder as questões: Quais as características predominantes de relevo e solos nas antigas áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos em Presidente Prudente? Qual a sua relação com a produção do espaço? Qual a sua relação com as características do relevo? Visando identificar a ocorrência de um padrão de características de relevo preferenciais para esta prática foram seguidos os procedimentos apresentados na Figura 7.

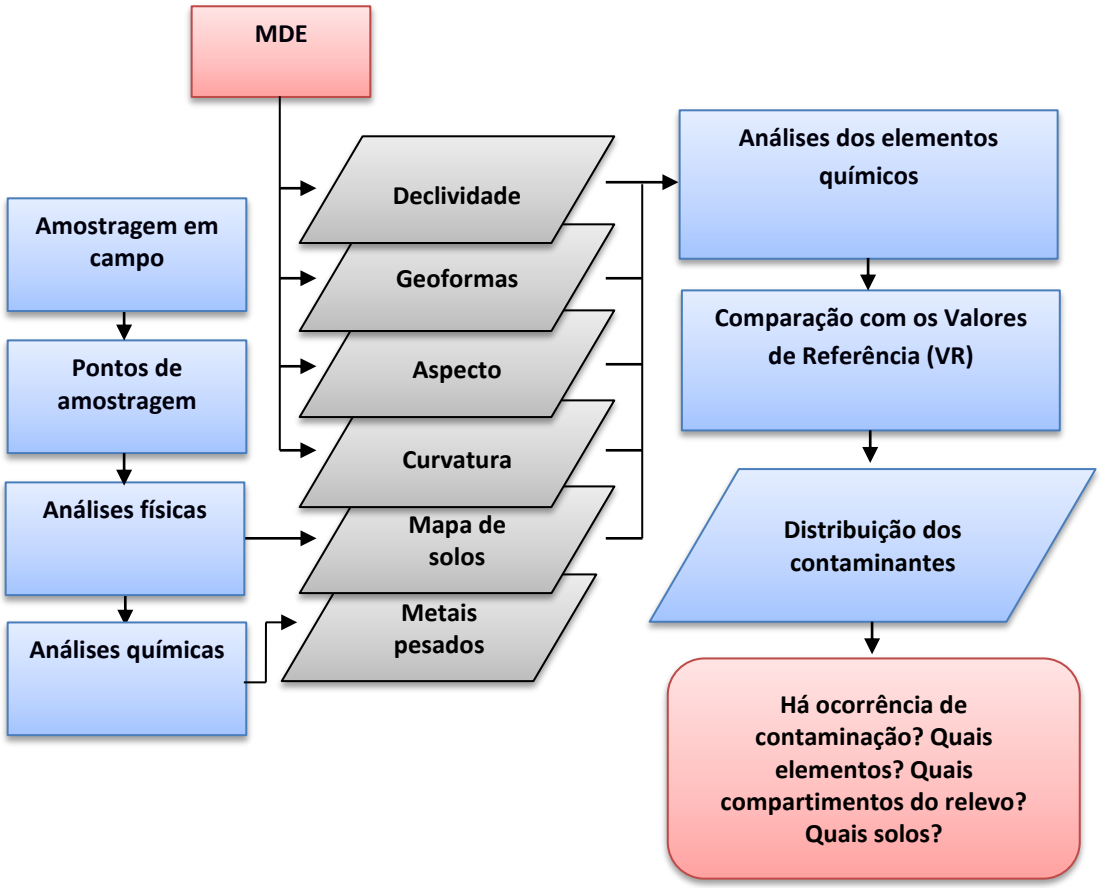
Figura 6: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 4



Fonte: elaboração própria, 2017.

O quinto artigo é composto pela discussão das alterações causadas nas áreas de antigos depósitos de RSU para responder as questões: Quais as principais alterações causadas nos solos em áreas de antigos depósitos de RSU para caracterizá-los como Antropossolos? Quais as características físicas e químicas dos solos nas áreas de depósitos de resíduos sólidos urbanos em Presidente Prudente? Para o desenvolvimento desta etapa foram realizadas coletas de amostras de solos em uma área de antigo depósito de RSU no Parque Furquim. Foram analisados os teores dos elementos químicos Arsênio, Crômio, Cádmio e chumbo, os quais foram selecionados por estarem entre os metais pesados mais comuns de serem encontrados em nessas áreas. Além disso, foram realizadas análises texturais para verificar as características dos solos e realizar posterior comparação com as características dos solos naturais identificados e mapeados nos capítulos 2 e 3. Os procedimentos utilizados podem ser observados na Figura 8.

Figura 7: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 5



Fonte: elaboração própria, 2017.

Todas as etapas propostas na elaboração de cada artigo fazem parte de um conjunto de informações para subsidiar os estudos sobre os Antropossolos. As considerações apresentam a organização dos elementos abordados em todos os capítulos anteriores para chegar a uma classificação dos Antropossolos Líxicos e avaliação sobre a relevância dos elementos envolvidos nesse processo, e discutir sobre as seguintes questões:

- Quais os principais fatores para a formação dos Antropossolos?
- Os Antropossolos podem ser considerados um resultado da produção do espaço urbano?
- Os Antropossolos seguem algum padrão de distribuição espacial como os solos naturais?
- Quais as diferenças físicas e químicas entre os solos naturais e os Antropossolos?
- A proposta de classificação de solos antrópicos é compatível com as alterações encontradas no campo?

Para concluir é importante avaliar se os caminhos apresentados na pesquisa cumpriram a sua proposta de subsidiar uma metodologia de estudos dos Antropossolos, apresentar as potencialidades, limitações e recomendações para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ALONSO, J. J. G. A. Cartografia ambiental. Desarrollo y propuestas de sistematización. **Observatório Medioambiental**, Madrid, Vol. 5, p. 47-78, 2002.

ALVES, M. R. **Múltiplas técnicas no mapeamento digital de solos**. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008.

ANTONIO, J. N.; ASSUNÇÃO, E. F.; GOMES, M. F. V. B. A produção e o gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares na cidade de Guarapuava-PR. **Terra Plural**. Ponta Grossa: UEPG, n. 2, v. 1, 2007.

BAUDRILLARD, J. **O sistema dos objetos**. Perspectiva, São Paulo, 2008.

BAUMAN, Z. **Vida para o consumo**: a transformação das pessoas em mercadoria. Zahar, Rio de Janeiro, 2008.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: Esboço Metodológico. **Caderno Ciências da Terra**, São Paulo, nº. 13, p.01-27, 1968.

BITOUN, J. Os embates entre as questões ambientais e sociais no urbano. In: CARLOS, A. F. A. e LEMOS, A. I. G. (orgs.) **Dilemas urbanos**: Novas abordagens sobre a cidade. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2005.

BULLOCK, P. e GREGORY, P. J. Soils – a neglected resource in urban areas. In: BULLOCK, P. e GREGORY, P. J. **Soil in the urban environment**. 1991.

CANTÓIA, S. F. **Educação ambiental e coleta seletiva em Presidente Prudente-SP**: avaliando seus resultados no Conjunto Habitacional Ana Jacinta. Dissertação (Mestrado em geografia) Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2007.

CORTEZ, A. T. C. **A questão de resíduos sólidos domiciliares: coleta seletiva e reciclagem**: A experiência de Rio Claro (SP). Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

CURCIO, G. R., LIMA, V. C., GIAROLA, N. F. B. **Antropossolos:** proposta de ordem (1ª Aproximação). EMBRAPA Florestas, Colombo, 2004.

DIAS, M. B. G. **Depósitos tecnogênicos na região noroeste de Goiânia (GO)**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapeamento digital de classes e atributos de solos**: métodos, paradigmas e novas técnicas. Rio de Janeiro, 2003.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **World reference base for soil resources**, World Soil Resources Reports Nº 84, Rome, 1998.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. IUSS Working Group WRB. **World reference base for soil resources 2006**. World Soil Resources Reports Nº. 103, Rome, 2006.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. IUSS Working Group WRB. **World Reference Base for Soil Resources 2014**, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports Nº. 106, Rome, 2014.

GOMES, M. de F. V. B. **Trajetória socioambiental de Guarapuava**: Leituras da paisagem. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2009.

HENARES, E. L. Educação ambiental e resíduos sólidos: a ação da cooperlix em Presidente Prudente-SP. Dissertação (Mestrado em geografia). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2006.

HEUVELINK, G. B. M. The definition of pedometrics. **Pedometron**, n°14, p. 2-3, Gainesville, 2003.

HOLLIS, J. M. The classification of soils in urban areas. In: BULLOCK, P. e GREGORY, P. J. **Soil in the urban environment**. 1991.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de Pedologia**. Manuais técnicos em Geociências. Número 4: 2ª edição. Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro, 2007.

IKUTA, F. A. **Resíduos sólidos urbanos no pontal do Paranapanema – SP**: inovação e desafios na coleta seletiva e organização de catadores. Tese (Doutorado em geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2010.

ISBELL, R.F. **The australian soil classification**. Collingwood: CSIRO, 1996.

ISBELL, R.F. **The australian soil classification**. Collingwood: CSIRO, 2015.

JARDIM, N. S.; D'ALMEIDA, M. L. O.; PRANDINI, F. L. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. IPT, São Paulo, 1995.

JOURNAUX, A. **Cartographie intégrée de l''environnement: um outil pour la recherche et pour l'aménagement**. UNESCO, 1985.

KLINGEBIEL, A. A.; HORVATH, E. H.; REYBOLD, W. U.; MOORE, D. G.; FOSNIGHT, E. A.; LOVELAND, T. R. **A guide for use of digital elevation model data for making soil surveys**. Siox Falls, South Dakota, 1988.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. Oficina de Textos, São Paulo, 2002.

MARTINELLI, M. Cartografia Ambiental: uma cartografia diferente? **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, nº 7, p. 61-80, 1994.

MAZZINI, E. de J. T. **De lixo em lixo em Presidente Prudente (SP)**: novas áreas, velhos problemas. (Bacharelado em Geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 1997.

McBRATNEY, A. B.; ODEH, I. O. A.; BISHOP, T. F. A.; DUNBAR, M. S. SHATAR, T. M. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. **Geoderma**, v. 97, p. 293-327, 2000.

MENDONÇA, F. Geografia socioambiental. In: MENDONÇA, F.; KOZEL, S. (Org.). **Elementos de epistemologia da Geografia contemporânea**. UFPR, Curitiba, 2002. p. 121-144.

NUNES, J. O. R. **Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada a escolha de áreas para a construção de aterro sanitário em Presidente Prudente – SP**. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2002.

OLIVEIRA, A. M. dos S. **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios**: Exemplo do reservatório de Capivara, Rio Paranapanema, SP/PR. Tese (Doutorado em Geografia física), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

PELOGGIA, A. **O homem e o ambiente geológico**: geologia, sociedade e ocupação urbana no município de São Paulo. Xamã, São Paulo, 1998.

PEDRON, F. de A.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. de; KAMINSKI, J. Solos urbanos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1647-1653, set-out, 2004.

PEDRON, F. de A**. Classificação do potencial de uso das terras no perímetro urbano de Santa Maria – RS.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PEDRON, F. de A.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. de; BOTELHO, M. R.; MENEZES, F. P. levantamento e classificação de solos em áreas urbanas: importância, limitações e aplicações. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, n.2, p. 147-151, abr-jun, 2007.

RANZANI, G. **Manual de levantamento de solos**. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1969.

RIBEIRO, S. R. A. **Integração de Imagens Landsat TM e dados auxiliares para a delimitação automática de unidades fisionômicas usando Redes Neurais Artificiais**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2003.

ROCHE, D. **História das coisas banais**: nascimento do consume séc. XVII – XIX. Rocco, Rio de Janeiro, 2000.

ROHDE, G. M. **Epistemologia ambiental**: uma abordagem filosófico-científica sobre a efetuação humana alopoiética da Terra e seus arredores planetários. EDIPUCRS, Porto Alegre, 2005.

RODRIGUES, A. M. **Produção e consumo do e no espaço**: problemática ambiental urbana. Hucitec, São Paulo, 1998.

ROSSATO, M. S. e SUERTEGARAY, D. M. A. Repensando o tempo da natureza em transformação. **Ágora** (UNISC), Santa Cruz, v. 6, n. 2, p. 93-98, 2000.

SANTOS, M. **Espaço e método.** Nobel, São Paulo, 1988.

SANTOS, M. **A natureza do espaço**: técnica e tempo, razão e emoção. Lucita, São Paulo: 2002.

SANTOS. E. A. A. dos. **O consumismo como um novo iluminismo**: a panaceia do consumo na contemporaneidade. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SILVA, E. C. N. **Formação de depósitos tecnogênicos e relações com o uso e ocupação do solo no perímetro urbano de Presidente Prudente – SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

SIRTOLI, A. E. **Mapeamento de solos com auxílio da geologia, atributos do terreno e índices espectrais integrados por redes neurais artificiais**. (Tese de Doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SOBOCKÁ, J. Specifics of urban soils (Technosols) survey and mapping. **Anais...** 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia, 1 – 6 August 2010.

ROSSATO, M. S. e SUERTEGARAY, D. M. A. Repensando o tempo da natureza em transformação. **Ágora** (UNISC), Santa Cruz, v. 6, n. 2, p. 93-98, 2000.

SUERTEGARAY, D. M. A; Tempos longos...tempos curtos...na análise da natureza. **Revista Geografares**, Vitória, nº. 03, jun. p. 159-163, 2002.

SUERTEGARAY, D. M. A e NUNES, J. O. R. A natureza da geografía física na geografía. **Terra Livre**, São Paulo, n° 17, p. 11-24, 2001.

TAKENAKA, E. M. M. **Políticas públicas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos no município de Presidente Prudente-SP**. Tese (Doutorado em geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008.

ZANATA, J. M. e PERUSI, M. C. Solos urbanos: degradação ambiental na forma de processos erosivos**. Revista Geografia e Pesquisa**. Ourinhos, v. 4, nº. 2, p. 107- 122, 2010.

ZHU, A.; QI, F.; MOORE, A.; BURT, J. E. Prediction of soil properties using fuzzy membership values. **Geoderma**, v. 158, p. 199-206, 2010.

ARTIGO 1

2. OS SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO E AS PROPOSTAS DAS CLASSES DOS SOLOS COM ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS

Resumo: O crescimento, de áreas com usos urbanos causam modificações nas características dos solos, visto que no ambiente urbano há a ação de diversos processos mecânicos, fazendo com que os solos tenham suas características naturais alteradas. Por exemplo, a perda dos horizontes de identificação e a adição de artefatos. Essas alterações são significativas de forma que, após a década de 1990, os sistemas de classificação começaram a discutir tais alterações, inicialmente nos solos utilizados para a agricultura por longos períodos e posteriormente nos solos urbanos. Neste artigo, são apresentadas algumas discussões que levaram à inserção de uma nova categoria de solos, resultante de ações antrópicas, nos sistemas de classificação mundial, australiano e brasileiro e a evolução dos conceitos e propostas de subordens, as quais são classificadas de acordo com os tipos de processos e materiais encontrados nos solos. Para este trabalho, as principais subordens capazes de subsidiar a classificação de áreas com deposição de resíduos sólidos urbanos, que na WRB, proposta pela FAO, e no sistema de classificação de solos australianos foram identificadas nas categorias *Garbic* e *Urbic*, com conceituações distintas em relação à natureza dos materiais contidos e no documento 101 da EMBRAPA, na proposta de ordem para os Antropossolos, pertencendo à subordem dos Antropossolos líxicos.

Palavras-chave: Sistemas de classificação de solos, WRB, Antropossolos, Technosols, Anthroposols.

2.1. INTRODUÇÃO

Há uma infinidade de paisagens diferentes no planeta, compostas por solos que evoluíram naturalmente, os quais possuem características específicas, de acordo com as áreas de ocorrência, resultantes de processos contínuos de transformação. A ação da sociedade sobre a natureza passou a ocorrer de forma acelerada após o processo industrialização. Assim, não apenas os processos naturais agem sobre os solos, mas há também interferências antrópicas.

O homem, ao longo de milhares de anos, produziu, em escala crescente, volumes pedológicos com características discrepantes dos solos naturais. Esses solos possuem características distintas devido à diversidade de seus constituintes e tempo de formação, bem como particularidades, conforme o tipo de uso, com potencialidades e fragilidades variadas, se comparados aos solos naturais. Sobretudo, porque possuem menores capacidades de resiliência, elevam o potencial de contaminação do aquífero e sua suscetibilidade à erosão, além de comportamentos geotécnicos discrepantes (CURCIO et al., 2004).

Todos os solos nas cidades são afetados pela intervenção humana, direta ou indiretamente, pois até mesmo os solos naturais recebem contribuições de poeira e precipitação com contaminantes. Os solos urbanos passar por processos que diferem dos solos rurais; nos primeiros há o despejo de cargas contaminantes, geralmente mais altas,

por materiais de origem e composição química diversa. Os solos antropogênicos são formados essencialmente pela influência humana e experimentam de intemperismo acelerado, se comparados aos solos naturais (ROSSITER,2007).

A principal diferença entre solos urbanos e naturais resulta da acumulação de resíduos antropogênicos, os quais formam uma camada cultural[22] entre propriedades específicas e composição. Numerosos tipos de depósitos municipais antropogênicos podem ser distinguidos: detritos de construções de casas, resíduos municipais, rocha-mãe escavada de poços de fundações (alicerces), resíduos industriais e poluentes, jardins criados artificialmente e solos de jardins etc. (ALEXANDROVSKAYA e ALEXANDROVSKIY, 2000).

Conforme Pedron (2007) é necessário ter cautela ao se classificar solos urbanos e rurais, pois há parques presentes no perímetro urbano que podem não apresentar as alterações comuns do processo de urbanização e manter preservadas características naturais. Já nas áreas rurais, pode haver o predomínio de solos naturais, ou solos alterados pela agricultura, bem como volumes com depósitos de resíduos de atividades humanas, tais como lixões, valas sanitárias e outros depósitos que, mesmo localizados em ambientes rurais, poderiam ser classificados por sua origem antrópica.

Até o momento, existem poucas discussões sobre a função ecológica do solo no planejamento urbano e, via de regra, os estudos para este fim estão limitados aos elementos físico-químicos e, raramente, são consideradas as relações das características do solo com os atributos biológicos; menor ainda é a consideração dos efeitos antrópicos da urbanização sobre o solo, sejam eles sociais, econômicos ou culturais (MYSCZAK, 2013).

Os solos antropizados devem ser abordados como uma classe em expansão, principalmente nos centros urbanos, ao longo de rodovias e ferrovias, áreas de mineração, entre outras. Os materiais contidos nesses solos são de natureza diversa e podem ser inertes ou contaminantes, uma vez que, principalmente em ambientes urbanos, é comum identificar contaminação por metais pesados (CURCIO et al., 2004).

[22] As camadas culturais aterradas de solos naturais são caracterizadas pela alta alcalinidade, estratificação, traços evidentes de diferentes impactos tecnogênicos e conteúdo de rochas. Este também é contaminado por uma ampla variedade de elementos químicos, e contém numerosos artefatos arqueológicos (Boitsov et al., 1993). Contém quantidades considerável de substâncias de origem humana, incluindo muitos poluentes (Thornton, 1991). Existem várias indicações de formação de solos dentro destas camadas, inclusive aquelas dispersas no sedimento e formando horizontes pouco desenvolvidos de solos aterrados. Portanto, estas camadas são simultaneamente um solo, um sedimento, e uma camada cultural (Alexandrovskiy et al., 1997). Os processos que ocorrem são peculiares de solos urbanos (Alexandrovskiy et al., 1997). (ALEXANDROVSKAYA e ALEXANDROVSKIY, 2000).

A crescente abrangência geográfica desses volumes torna importante que haja organização sobre o seu conhecimento, propiciando uma linguagem homogênea a fim de facilitar a troca de informações e também detalhar as potencialidades e fragilidades específicas de cada local. No entanto, as ações de mapeamento e classificação dos solos antropogênicos ainda são escassas e realizadas com dificuldades por causa da grande variabilidade de camadas verticais sobrepostas, dimensão espacial, composição por diferentes tipos de materiais e grau de desenvolvimento, carecendo também de estruturação e/ou recomendações sobre o seu uso.

A inclusão dos solos antropogênicos em sistemas de classificação foi iniciada na década de 1990 em diversos países, no *Soil Mapa of the World*, de 1988; na Austrália por Isbell em 1996; e na Rússia que, em 1997, sediou em Moscou a *International Conference: Problems of Anthropogenic Soil Formation* que abordou sobre temas direcionados às alterações antropogênicas nos solos (CURCIO et al., 2004).

A proposta da FAO, através da WRB em 1988, incluiu a ordem do *Anthrosols* para contemplar solos afetados pela atividade humana resultante de alterações, por meio de modificação ou soterramento dos horizontes originais, remoção ou alteração dos horizontes superficiais, adição prolongada de materiais orgânicos, irrigação contínua etc. Essa ordem foi estruturada em 4 subclasses sob diferentes intervenções: a classe (i) *Aric,* para solos resultantes do processo de cultivo profundo, porém com horizontes de diagnóstico remanescentes, a classe (ii) *Cumulic,* para solos resultantes da acumulação de sedimentos acima de 50 cm, (iii) *Firmic,* para solos relacionados à presença de altos teores de anidrido fosfórico, e (iv) *Urbic,* para solos com mais de 50 cm de espessura resultantes de atividades de minas, construções, terraplanagem, entre outros (CURCIO et al., 2004).

Após novas discussões, a ordem dos *Anthrosols*[23] aparece mais detalhada na WRB de 2006. Essa ordem continua relacionada ás alterações antrópicas, porém voltada aos impactos causados pela agricultura. Para alterações no ambiente urbano uma nova ordem é inserida: os *Technosols*. Essas duas ordens estão inseridas em um grupo de solos com forte influência humana: os *Anthrosols* devido ao seu longo e intensivo uso pela agricultura e os *Technosols* por conterem significativa quantidade de artefatos.

[23] O conceito de *Anthrosol* na WRB 2006: *Anthrosols* compreendem solos que foram modificados profundamente por meio de atividades humanas, como a adição de materiais orgânicos ou resíduos domésticos, irrigação e cultivo. O grupo inclui os solos conhecidos de outra maneira, como: Terra Preta do Índio (Brasil), Agrozems (Rússia), *Terrestrische anthropogene Böden* (Alemanha), *Anthroposols* (Austrália), and *Anthrosols* (China).

Na Austrália, o conceito de *Anthroposols* foi incorporado ao sistema de classificação em 1992, como uma categoria, sem definição desenvolvida. Em 1996, esses solos foram conceituados como resultantes das atividades humanas e subdivididos em 7 subordens, de acordo com o tipo de modificação, incluindo atividades agrícolas e urbanas e uma diversidade de materiais, desde orgânicos até resíduos sólidos geradores de gás metano.

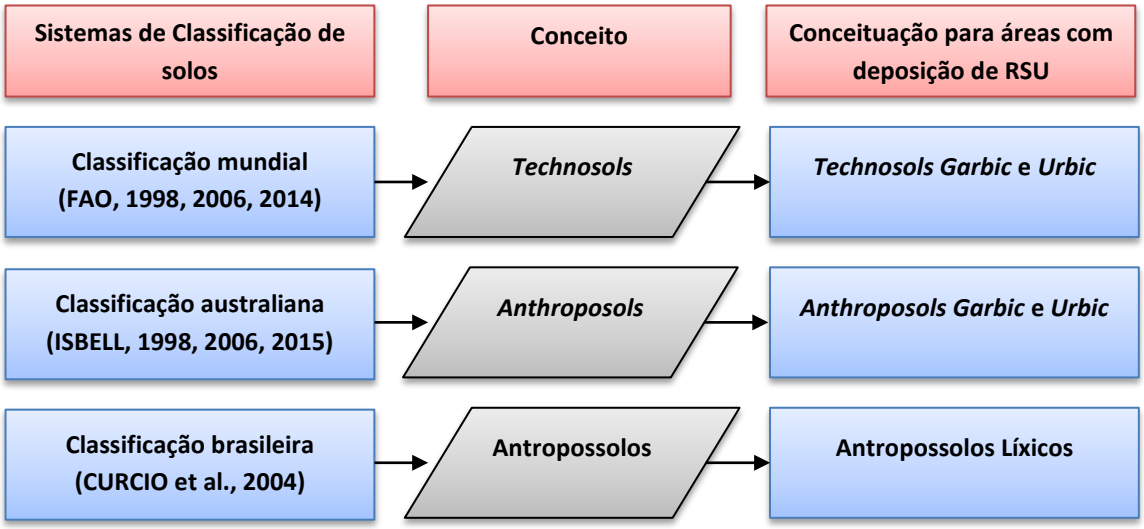
No Brasil, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) de 1999 apresentava o conceito de Camada Antrópica resultante de estruturação induzida exclusivamente pelo homem, identificada tanto em situação de superfície como de subsuperfície. A partir do SiBCS de 2006, essa camada passa a ser denominada Horizonte A Antrópico, modificada pelo uso do solo, porém voltado à adição de material orgânico, como os utilizados na agricultura. Em 2004, a EMBRAPA publica o documento 101 intitulado “Antropossolos: Propostas de ordem (1ª aproximação)”, que apresenta maiores detalhes sobre a proposta de classificação de solos resultantes de atividades antrópicas no ambiente urbano.

A evolução do conceito dos solos com alterações antrópicas, em diferentes sistemas de classificação, desde a discussão inicial até os conceitos atuais e de suas categorias e subcategorias, é de grande relevância, visto que nomenclaturas e conceitos diferentes são utilizados. Há um crescente aumento na quantidade de trabalhos sobre o tema, com distintas metodologias, visto que, são conceitos relativamente recentes e, por se tratarem de ambientes urbanos, há uma infinidade de diferenças entre países e cidades, o que leva a necessidade de adaptações. Desta forma, o ponto inicial para este trabalho é a discussão conceitual dessa nova ordem de solos.

Para exemplificar alguns conceitos, utilizados nos sistemas de classificação, serão apresentadas discussões que levaram à inserção de uma nova categoria de solos, resultantes de ações antrópicas, na WRB utilizada em âmbito mundial, como referência para outros países organizarem os seus sistemas de classificação. E as classificações australiana[24] e brasileira, para verificar a evolução dos conceitos e propostas de subordens, as quais são classificadas de acordo com os tipos de processos e materiais encontrados nos solos, como no caso da deposição de RSU, que são artefatos capazes de alterar as características dos solos e podem possuir caráter contaminante. A organização do artigo é apresentada na Figura 8.

[24] A classificação australiana foi uma das primeiras a incorporar a conceituação de solos com alterações antrópicas a partir do ano 1992. O conceito de *Anthroposols* foi atualizado em 1998, 2006 e 2015.

Figura 8: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 1



Fonte: elaboração própria, 2017.

2.2. WORLD REFERENCE BASE FOR SOIL RESOURCES (WRB) E O CONCEITO DE TECHNOSOLS

Para estabelecer um sistema pedológico universal de classificação dos solos, que considerasse os problemas enfrentados por diversos países em resolver suas questões filosóficas e de mapeamento, isoladamente. De forma que, nos anos 1960, a FAO realiza o projeto *Soil Map of the World*, considerando a necessidade de se estabelecer uma legenda adequada e comum para um mapa generalizado (ROSSINTER, 2007).

No início da década de 1980, os países tornaram-se cada vez mais interdependentes do fornecimento de alimentos e produtos agrícolas. Os problemas de degradação do solo e a disparidade dos potenciais de produção e de capacidade de transporte da população tornaram-se preocupações internacionais que exigiam informação harmonizada sobre o solo. Nesse contexto, a FAO considerou ser necessário organizar uma estrutura para que os sistemas de classificação dos solos existentes fossem correlacionados e harmonizados. Ao mesmo tempo, serviria como um meio internacional de comunicação e de intercâmbio de experiências (FAO, 2006).

Por iniciativa da FAO, a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), o Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP), e a Sociedade Internacional de Ciência do Solo (ISSS), um grupo de cientistas de uma gama de instituições de estudos dos solos reuniram-se em Sofia, Bulgária, em 1980 e 1981, para melhorar o envolvimento internacional e dar seguimento ao mapa de solos mundial (FAO, 2006).

Na reunião, decidiu-se lançar um programa para desenvolver uma base de referência internacional para a classificação de solos (IRB - *International Reference Base for Soil Classification*), com vistas a um acordo sobre os principais agrupamentos de solo, que deveria ser reconhecida em uma escala global, com os mesmo critérios de definição e classificação para (i) facilitar o intercâmbio de informações e experiências, (ii) fornecer uma linguagem científica comum, (iii) fortalecer as aplicações da ciência do solo, e (iv) melhorar a comunicação com outras disciplinas (FAO, 2006).

O sistema de classificação proposto foi adotado pela *International Union of Soil Science* (IUSS), em seu 16° Congresso em 1998[25], como a terminologia recomendada para nomear e classificar solos. Foi testado por 8 anos e discutido novamente no Congresso de 2006, momento em que uma versão revisada foi adotada. A WRB é ideal para a discussão das propriedades dos solos, funções, uso potencial e gênese em escala mundial ou regional. A ampla aceitação da WRB deve-se a 3 fatores: (i) sua intenção não é substituir nenhum sistema existente, mas, facilitar a comunicação e a correlação entre os sistemas nacionais e locais; (ii) não tenta fornecer nomes para mapas de grande escala e, portanto, não interfere na iniciativa local; (iii) é baseada em uma intensiva experiência de campo, formando, assim, uma estratificação no universo de alto e médio níveis categóricos (ROSSITER,2007).

A classificação de solos é baseada nas propriedades do solo definidas em termos de horizontes de diagnóstico e propriedades e materiais que, tanto quanto possível, devem ser mensuráveis e observáveis no campo. A seleção das características de diagnóstico deve considerar a sua relação com os processos do solo em formação. A compreensão dos processos de formação do solo contribui para uma melhor caracterização dos solos. Na medida do possível, características de diagnóstico que são significativas para a gestão do solo devem ser selecionadas (FAO, 2014).

As discussões sobre as alterações antrópicas nos solos aparecem na WRB de 1998, onde é apresentada a classificação do horizonte diagnóstico *Anthropedogenic*[26], caracterizado por compreender uma variedade de horizontes superficiais e subsuperficiais,

[25] O conceito de solo no WBR de 1998: é um corpo natural continuo que possui três dimensões espaciais e uma dimensão temporal. As três características principais que regem solo são: i) Ele é formado por constituintes minerais e orgânicos e inclui os estados sólido, líquido e gasoso; ii) Os componentes são organizados em estruturas, específicos para o meio pedológico. Essas estruturas formam o aspecto morfológico da cobertura do solo, equivalentes à anatomia de um ser vivo. Eles resultam da história da cobertura do solo, sua dinâmica e propriedades reais. O estudo das estruturas de cobertura do solo facilita a percepção das propriedades biológicas, características físicas e químicas e permite compreender o passado e o presente do solo e prever o seu futuro; iii) O solo está em constante evolução, atribuindo-se, assim, ao solo sua quarta dimensão, o tempo (FAO, 2006).

[26] Do Grego *Anthropos*, humanos e pedogênese.

de forma que as características e propriedades desses horizontes dependem muito das práticas de manejo do solo, como oriundos de atividades de cultivo, fertilização intensiva, irrigação, atividades mecânicas no solo e outras. Na categoria de materiais de diagnóstico, os *anthropogeomorphic soil materials* são caracterizados como materiais minerais ou orgânicos não consolidados resultantes, em grande parte, de aterros (*land fills*), entulho de minas (*mine spoils*), aterros urbanos (*urban fills*), lixões (*garbage dumps*), dragagens (*dredgings*) etc. produzidos por atividades humanas. Esses materiais, no entanto, não estiveram sujeitos a um período de tempo longo suficientemente para causar marcas significativas nos processos pedogenéticos (FAO, 1998). Algumas características das subordens dos solos antropogeomórficos são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1: Características da composição dos *anthropogeomorphic soil materials*

SOLOS ANTROPOGEOMÓRFICOS (FAO, 1998)	
Aria	Material de solo mineral que possui em uma ou mais camadas, entre 25 e 100 cm da superfície do solo, 3% ou mais (por volume) fragmentos de horizontes diagnósticos que não estão dispostos em nenhuma ordem discernível.
Garbic	Material de resíduos orgânicos; aterro composto predominantemente por produtos de resíduos orgânicos
Reductic	Resíduos que produzem emissões gasosas (por exemplo, metano, dióxido de carbono) resultando em condições anaeróbicas no material.
Spolic	Material de terra resultante de atividades industriais (esvaziamento de minas, dragagem de rios, construções rodoviárias, etc.).
Urbic	Material de terra contendo escombros de construção e artefatos (detritos culturais> 35 por cento em volume).

Fonte: elaboração própria, 2017, a partir de FAO, 1998.

Na segunda edição da WRB, em 2006[27], os denominados Technosols[28] foram introduzidos como um grupo de referência de solos, frequentemente referidos como solos urbanos ou de minas (FAO, 2006).

Outra grande diferença na WRB de 2006 é o reconhecimento da atividade humana como fator na formação de solos e a inserção dos *Technosols* no início do documento, por três razões: (i) para introduzi-los e imediatamente destacá-los como solos que não devem ser tocados (solos tóxicos que devem ser tratados por especialistas); (ii) um grupo homogêneo de solos com materiais estranhos; (iii) políticos e gestores que consultam o documento irão imediatamente encontrar esses solos problemáticos (FAO, 2006).

A classificação de solos formados por materiais recentemente transportados causou considerável controvérsia. A finalidade principal de adotar essa categoria foi considerar o material que não poderia estar presente no solo, caso não houvesse intervenção humana por adição de artefatos ou apenas o seu transporte. Exemplos de artefatos são tijolos, cerâmicas, vidro, resíduos de pedras britadas, resíduo industrial, lixo, produtos processados de petróleo, entulhos de mineração e petróleo cru (ROSSITER,2007).

A WRB (2014) define simplificadamente um dos Grupos de Referência como: os solos com forte influência humana podem ser de dois tipos: (i) *Anthrosols*, solos com longo e intensivo uso agrícola e (ii) *Technosols*, solos que contém significativa quantidade de artefatos, conforme Quadro 2.

[27] **O conceito de solo no WRB 2006 e 2014:** Os WRB anteriores a 2006, como em todos os sistemas de classificação nacional de solos, para ser classificado, o solo era concebido como material da superfície da terra organizado em horizontes genéticos e pedogênese. Claramente, isto é uma dificuldade para relacionar solos em áreas urbanas, incluindo pavimentos e novos resíduos industriais. Para o WRB de 2006, Nachtergaele (2005) sugeriu a abordagem eminentemente prática de nomear todos os corpos identificáveis da epiderme da Terra. A maior vantagem dessa classificação é que pode ser utilizada para discutir as funções ambientais de qualquer lugar dentro dos primeiros 2 metros da superfície da Terra (uma prática ao invés de uma limitação filosófica); exceto onde se está coberto de gelo ou por corpos de água contínuos com profundidades maiores que 2 metros em sua superfície (FAO, 2006).

Vantagens dessa abordagem: Permite que os problemas ambientais sejam abordados de forma sistemática e holística e evita discussão estéril sobre uma definição universalmente aceita de solo com a necessidade de uma determinada espessura e estabilidade. A definição inclui rocha contínua (*continuous rock*), solos urbanos pavimentados, solos de áreas industriais, solos de caverna, bem como solos subaquáticos (ROSSITER,2007; FAO, 2006; FAO, 2014).

[28] Eles são reconhecidos, no novo sistema de classificação do solo russo, como Formações Superficiais Tecnogênicas e, na classificação australiana, como *Anthroposols*.

Quadro 2: Descrição dos Technosols na WRB 2006 e 2014

Descrição, distribuição, utilização e gestão de Referência Grupos de solos **TECHNOSOLS**	
Descrição sumária	*Technosols* compreendem um grupo que combina solos cujas propriedades e pedogênese são dominadas pela sua origem técnica. Eles contêm uma quantidade significativa de artefatos fabricados pelo homem ou são selados por *technic hard rock* (material criado pelos humanos, com propriedades diferentes da rocha natural). Eles incluem solos de resíduos (aterros sanitários, lodo, despojo de minas e cinzas), pavimentos com seus materiais subjacentes não consolidados, solos com geomembranas e solos construídos em materiais de criação humana.
Conotação	Solos dominados ou fortemente influenciados por material produzido pelo homem.
Material de origem	Todos os tipos de materiais feitos por ou expostos à atividade humana que, de outra forma, não ocorreriam na superfície da Terra. A pedogênese nesses solos é afetada fortemente pelos materiais e sua organização.
Ambiente	Principalmente em áreas urbanas e industriais.
Desenvolvimento do Perfil	Geralmente fraca, embora em depósitos antigos existem evidências de pedogênese natural. O desenvolvimento original do perfil pode ainda estar presente em solos naturais contaminados.
Distribuição regional	*Technosols* são encontrados em todo o mundo onde a atividade humana levou à construção de solo artificial, selagem do solo natural ou extração de material, normalmente não afetada por processos de superfície. Assim, cidades, estradas, minas, áreas de lixão (*refuse dumps*), derrames de petróleo, depósitos de cinzas de carvão (*coal fly ash deposits*) e similares estão incluídas.
Gerenciamento e uso	*Technosols* são fortemente afetados pela natureza do material ou a atividade humana realizada. Eles são mais propensos a conter substâncias tóxicas do que os outros tipos de solos e devem ser tratados com cuidado. Muitos *Technosols*, em particular os de áreas de lixão (*refuse dumps),* são cobertos com uma camada de solos natural a fim de permitir a revegetação. O solo continua a ser um *Technosol* desde que cumpra o requisito de ter ≥ 20% (em volume, média ponderada) de artefatos na parte superior de 100 cm da superfície do solo ou rocha contínua ou material técnico rígido (*technic hard material*) ou no caso de uma camada cimentada ou endurecida, a que for mais superficial, ser encontrada.

Fonte: elaboração própria, 2017, a partir de FAO, 2006 e 2014.

Como o principal qualificador, na WRB 2006 e 2014, de um *Technosol* é a presença de artefatos e de *technic hard material*, é apresentada a definição sobre cada um destes qualificadores, conforme Quadro 3:

Quadro 3: Qualificadores dos *Technosols* na WRB 2006 e 2014

ARTEFATOS (FAO, 2006 e 2014)	
Critério de diagnóstico	Artefatos são substâncias sólidas ou líquidas que podem ser: 1) Um ou ambos dos seguintes: a) criadas ou substancialmente modificadas por seres humanos como parte de um processo industrial ou fabricação artesanal; ou b) trazidas à superfície pela atividade humana a partir de uma profundidade onde não foram influenciadas pelos processos de superfície e depositadas em um ambiente onde elas não ocorrem naturalmente, com propriedades substancialmente diferentes a partir do ambiente onde são depositadas; e 2. Ter basicamente as mesmas propriedades químicas e mineralógicas como quando fabricadas pela primeira vez, modificadas ou escavadas.
Características adicionais	Exemplos de artefatos são tijolos, cerâmica, vidro, pedra britada ou revestida, placas de madeira, resíduos industriais, lixo, produtos de petróleo processados, betume[29], entulho e petróleo bruto.
***TECHNIC HARD ROCK* (FAO, 2006)**	
Critério de diagnóstico	*Technic hard rock* é o material consolidado resultante de um processo industrial, com propriedades substancialmente diferentes dos materiais naturais.
***TECHNIC HARD MATERIAL* (FAO, 2014)**	
Critério de diagnóstico	*Technic hard material*: 1. Material consolidado resultante de um processo industrial; 2. Com propriedades substancialmente diferentes dos materiais naturais; e 3. Contínuo ou com espaço livre cobrindo <5% de sua extensão horizontal.
Características adicionais	Exemplos de *technic hard material* são asfalto, concreto ou uma camada contínua de rochas trabalhadas.

Fonte: elaboração própria, 2017, a partir de FAO, 2006 e 2014.

Algumas mudanças foram feitas a partir da WRB 2006 para a publicação de 2014, inserindo maiores detalhes em relação à diferenciação de outros tipos de solos. Foram inseridos novos qualificadores principais e qualificadores suplementares – termos utilizados para classificação. De acordo com o tipo de material presente nos solos, conforme apresentado no Quadro 4.

[29] Bitumen (inglês) – Betume (português) (FAO, 2014).

Quadro 4: Definições de Technosols na WRB 2006 e 2014

TECHNOSOLS (FAO, 2006)	
Definição	1. 20 por cento ou mais (em volume, pela média ponderada) de artefatos superiores a 100 cm da superfície do solo ou rocha contínua ou uma camada cimentada ou endurecida, conforme a mais superficial; ou 2. Uma contínua, muito sutilmente permeável até impermeável, geomembrana construída de qualquer espessura começando até 100 cm da superfície do solo; ou 3. *Technic hard rock* iniciando a partir de 5 cm da superfície do solo e cobrindo 95 por cento ou mais da extensão horizontal do solo.
Qualificadores principais	1.Ekranic, 2.Linic, 3.Urbic, 4.Spolic, 5.Garbic, 6.Folic, 7.Histic, 8.Cryic, 9.Leptic, 10.Fluvic, 11.Gleyic, 12.Vitric, 13.Stagnic, 14.Mollic, 15.Alic, 16.Acric, 17.Luvic, 18.Lixic, 19.Umbric
Qualificadores suplementares	1.Calcaric, 2.Ruptic, 3.Toxic, 4.Reductic, 5.Humic, 6.Densic, 7.Oxyaquic, 8.Skeletic, 9.Arenic, 10.Siltic, 11.Clayic, 12.Drainic, 13.Novic
TECHNOSOLS (FAO, 2014)	
Definição	1. Com todas as seguintes características: a. Possuir ≥ 20% (em volume, média ponderada) de artefatos nos primeiros 100 cm da superfície do solo ou até rocha contínua ou *technic hard material* ou uma camada cimentada ou endurecidas; b. Não possuir uma camada contendo artefatos que se qualificam como argic, chernic, duric, ferralic, ferric, fragic, hydragric, natric, nitic, petrocalcic, petroduric, petrogypsic, petroplinthic, pisoplinthic, plinthic, spodic ou horizonte vertical iniciando em ≤ 100 cm da superfície do solo; c. Não possuir rocha contínua ou uma camada cimentada ou endurecida iniciando em ≤ 10 cm da superfície do solo; ou 2. Possuir uma contínua, muito sutilmente permeável para impermeável, geomembrana construída a partir de qualquer espessura iniciando em ≤ 100 cm da superfície do solo; ou 3. Conter *technic hard material* começando em ≤ 5 cm da superfície do solo.
Qualificadores principais	1. Ekranic, 2.Linic, 3.Urbic, 4.Spolic, 5.Garbic, 6.Cryic, 7.Isolatic, 8.Leptic, 9.Subaquatic/ Tidalic, 10.Reductic, 11.Hyperskeletic**.**
Qualificadores suplementares	1.Alcalic/ Dystric/ Eutric, 2.Andic, 3.Anthraquic/ Irragric/, 4.Hortic/ Plaggic/, 5.Pretic/ Terric, 6.Archaic, 7.Arenic/ Clayic/, 8.Loamic/ Siltic, 9.Aridic, 10.Calcic, 11.Cambic, 12.Carbonic, 13.Densic, 14.Dolomitic/ Calcaric, 15.Drainic, 16.Fluvic, 17.Folic/ Histic, 18.Gleyic, 19.Gypsic, 20.Gypsiric, 21.Humic/ Ochric, 22.Hyperartefactic, 23.Immissic, 24.Laxic, 25.Lignic, 26.Mollic/ Umbric, 27.Novic, 28.Oxyaquic, 29.Raptic, 30.Relocatic, 31.Salic, 32.Sideralic, 33.Skeletic, 34.Sodic, 35.Protospodic, 36.Stagnic, 37.Sulfidic, 38.Tephric, 39.Thionic, 40.Toxic, 41.Transportic, 42.Vitric

Fonte: elaboração própria, 2017, a partir de FAO, 2006 e 2014.

2.3. A CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS AUSTRALIANA E O CONCEITO DE ANTHROPOSOLS

A Classificação de Solos Australiana, de 1992, apresentava apenas a ordem dos *Anthroposols*, com denominação derivada do Grego *Anthropos* – Homem, conotação ao solo produzido pelo homem, por exemplo, rejeitos de mina, porém com uma classificação ainda não desenvolvida. Em 1996[30], com a publicação de uma nova Classificação de Solos,

[30] **O conceito de solo no Sistema de Classificação Australiano**: A maioria dos conceitos de solos envolvem a ideia de um corpo natural organizado na superfície da terra que serve como um meio para o crescimento planta. Para a classificação o termo de "organização pedológica" (McDonald et al., 1990) é usado para distinguir os materiais do solo. Este é um conceito amplo usado para todas as modificações incluídas no material do solo

a ordem dos *Anhroposols* apresenta uma definição e classificação em subordens. *Anthroposols* são definidos como:

> Solo resultante de atividades que levaram a uma profunda modificação, truncamento ou enterramento dos horizontes originais do solo, ou a criação de novos materiais originais do solo por uma variedade de meios mecânicos. Onde o enterro de um solo pré-existente está envolvido, os materiais antrópicos devem ser de 0,3 m ou mais de espessura. As características pedogenéticas podem ser o resultado do processo *in situ* (geralmente o desenvolvimento mínimo de um horizonte A1, às vezes o desenvolvimento mais forte dos horizontes típicos do solo) ou o resultado do processo pedogenético antes da modificação ou adição (ou seja, a presença de solo pré-existente identificável material) (ISBELL, 1996, p. 18).

É comum que hajam dificuldades relacionadas à classificação dos solos, visto que são corpos tridimensionais. Em grande parte dos países, a entidade classificada é o perfil do solo, que é um corte vertical do solo a partir da superfície através de todos os horizontes do material de origem ou substrato, de forma que as dimensões laterais da seção podem variar dependendo do método de análise (ISBELL, 1996).

Porém, no caso especial dos *Anthropossols*, é necessária uma análise partir desse conceito de solo, uma vez que, nessa ordem, as atividades humanas em parte são a principal responsável pela criação do material de origem não-natural, bem como pelos processos não-naturais de alteração, por exemplo, profunda movimentação por meios mecânicos ou outros, ou a adição de uma ampla gama de materiais antropogênicos na superfície dos solos, incluindo resíduos de produtos químicos tóxicos (ISBELL, 1996).

O conceito de solo utilizado na classificação de solos australianos, também se aplica aos *Anthroposols* e, portanto, às superfícies seladas e semi-seladas, tais como ruas, estradas etc., consideradas como anteriormente como "não-solo". Além disso, em situações de deposição, o material antrópico deve ser de 0,3 m ou mais de espessura, onde estão sobrepostas camadas de solos. Desta forma, para ser qualificado como *Anthroposol,* o material precisa possuir algumas características pedogenéticas, e os principais critérios para a sua identificação são: (i) presença de artefatos no perfil, ou (ii) conhecimento de que os solos ou seus materiais de origem foram criados ou alterados pela ação humana (ISBELL, 1996; ISBELL, 2015).

Isbell (1996; 2015) considera que os *Anthroposols* diferem-se de outros solos, que normalmente têm sua origem conhecida, com um grau de certeza, e, portanto, pode-se invocar um conhecimento do processo, em vez de definir os atributos pedogênicos para classificar inicialmente o solo. Pode-se, então, subdividir nos níveis mais elevados com

---

resultantes do efeito dos processos químicos, físicos e biológicos e que estão envolvidos na formação do solo (ISBELL, 1996).

base nos tipos de processo e na natureza do produto que constitui o material de origem do novo solo.

Em 1996, essa categoria foi dividida em sete subordens – *Cumulic, Hortic, Garbic, Urbic, Dredgic, Spolic e Scalpic* – a fim de fornecer um quadro conceitual para a classificação dos solos antrópicos, com base em processos induzidos pelo homem, os quais fornecem determinados tipos de materiais capazes de originar novos solos. As subordens são um resumo simplificado relevante de uma grande variedade de processos e produtos antrópicos. A necessidade de subdivisão abaixo do nível de subordem é provável que seja mais desejável em algumas classes do que em outras, mas um grande problema na criação de classes inferiores é a falta de dados laboratoriais e sobre a morfologia das propriedades dos solos antrópicos. Portanto, existe uma abertura para novas subdivisões e até mesmo categorias, que poderão ser incluidas a partir do desenvolvimento do estudos sobre o tema. Na Classificação de 2015, foi inserida uma nova subordem denominada *Fusic*. As subordens dos *Anthroposols* são definidas conforme o Quadro 5:

Quadro 5: Definições de *Anthroposols* de acordo com ISBELL (2015)

ANTHROPOSOLS (ISBELL, 2015)	
Subordens	**Definição**
Fusic [IT]	Solos que têm camadas superficiais de pelo menos 0,3 m de espessura que mostram evidência de turfa queimada (muitas vezes sob a forma de camadas de cinzas coloridas) e compreendem > 20% do material do solo *fusic*.
Cumulic [HR]	Solos que foram formados por aplicações de materiais depositados por humanos, tais como depósitos de lama (*mill-mud*) etc., ou a acumulação de conchas e materiais orgânicos para compostagem (*middens).* (A profundidade mínima do enterro é de 0,3 m).
Hortic [HS]	Solos que tiveram adições de resíduos orgânicos, como composteiras (*composts*), cobertura de folhas (*mulches*) etc. que foram incorporados ao solo e suprimiram características pedológicas pré-existentes.
Garbic [HT]	Solo mineral ou materiais regolíticos que estão subjacentes por aterro de origem fabricada e predominantemente de natureza orgânica. Esses materiais podem ser de origem doméstica ou industrial e, geralmente, ocorrem como formas de relevo artificialmente elevados. A intenção é designar resíduos de atividade humana suficientemente altos em matéria orgânica para gerar quantidades significativas de metano quando colocados sob condições anaeróbicas.
Urbic [HU]	Materiais minerais de solo ou regolíticos que estão subjacentes aterrados predominantemente por material de natureza mineral. O preenchimento pode ser totalmente de origem fabricada (vidro, plástico, concreto, etc.) ou conter uma mistura de materiais fabricados e materiais de origem pedogênica. O preenchimento geralmente ocorre como uma forma de relevo artificialmente elevada.
Dredgic [HV]	Solos que formaram ou estão se formando em materiais minerais que foram dragados por meio de ação humana do mar ou de outras vias navegáveis, ou depositados como uma pasta (slurry) resultante de operações de mineração; Ex. Lagoas de rejeitos, lagoas de sal, resíduos de lavagem de carvão, etc. Os materiais dragados geralmente ocorrem como uma unidade litologicamente

	distinta que cobre as superfícies planas de inundação (enterradas). Tais depósitos ocorrem freqüentemente em áreas costeiras – exemplos comuns são aeroportos, campos de golfe e outros empreendimentos urbanos.
Spolic [HW]	Solos que se formaram ou estão se formando em materiais minerais que foram movidos por equipamentos de terraplanagem na mineração, construção de rodovias, construção de barragens etc. Os materiais contêm poucos artefatos para se qualificarem como *Urbic*. Os materiais *Spolic* estão cada vez mais cobertos por solos superficiais (*topsoil*) pré-existentes.
Scalpic [HX]	Solos que se formaram ou estão se formando em superfícies terrestres que foram criadas por humanos cortando qualquer solo existente com equipamentos mecânicos, como escavadeiras e máquinas niveladoras. As ocorrências comuns são encontradas ao longo das estradas onde geralmente são associadas com áreas de preenchimento com materiais *Spolic*. Em alguns casos, podem ocorrer remanescentes truncados dos horizontes inferiores dos solos pré-existentes. As áreas do solo *Scalpic* tipicamente têm expressões geomórficas peculiares, muitas vezes com encostas lisas e íngremes.

Fonte: elaboração própria, 2017, a partir de Isbell, 2015.

Nos solos *Garbic, Urbic* e alguns *Spolic* é prática comum cobrir os materiais antrópicos com uma camada de material do solo, como auxílio à recuperação. Este material do solo é considerado como parte da subordem e pode ser usado como base para classificação de categorias inferiores. Obviamente, haverá situações de sobreposição entre algumas das subordens. Por exemplo, às vezes, pode ser difícil decidir entre *Garbic* e *Urbic, Cumulic e Hortic*. Nessas situações semelhantes, serão necessários julgamentos e/ou conhecimento do processo. As subordens são um resumo relevante simplificado de uma gama quase infinita de processos e produtos antrópicos. A necessidade de subdivisão abaixo do nível da subordenação provavelmente será mais desejável em algumas classes do que em outras, mas um grande problema na criação de classes de categorias mais baixas é a falta de dados sobre a morfologia e as propriedades laboratoriais dos solos antrópicos (ISBELL, 2015).

2.4. O SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (SIBCS) E O CONCEITO DE ANTROPOSSOLOS

No Brasil, as discussões sobre as alterações antrópicas nas características dos solos foram inicialmente inseridas no documento do SiBCS de 1999 e mantidas nas classificações de 2006, 2009 e 2013, no nível de horizontes diagnóstico superficiais, como horizonte A antrópico. O horizonte A antrópico é um horizonte formado ou modificado pelo uso contínuo do solo, pelo homem, como lugar de residência ou cultivo, por períodos prolongados, com adições de material orgânico em mistura ou não com material mineral, ocorrendo, às vezes, fragmentos de cerâmicas e restos de ossos e conchas. O horizonte A antrópico assemelha-se aos horizontes A chernozêmico ou A húmico, já que a saturação por bases é variável, e, geralmente, difere destes por apresentar teor de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico mais elevado que na parte inferior do solum (EMBRAPA, 1999, 2006, 2009).

No SiBCs de 1999, 2006[31] e 2009, o termo horizonte A antrópico era aplicado às antigas áreas de ocupação humana como os sambaquis[32] e a Terra Preta de Índio, por possuírem características encontradas em três tipos de solos que, no geral, consideram as terras utilizadas em atividades agrícolas para classificação. Os tipos de solos que apresentam o Horizonte A antrópico, segundo o SiBCS (1999, 2006 e 2009), são:

- Latossolos Amarelos Distrocoesos antrópicos: Solos com horizonte A antrópico.
- Latossolos Amarelos Distróficos antrópicos: Solos com horizonte A antrópico (Terra Preta do Índio)
- Gleissolos Tiomórficos Órticos antropogênicos: Solos alterados por atividades de mineração, construção de estradas, dragagens ou outras operações de movimento de terra.

O documento que oficializa o conceito de Antropossolos no Brasil é de 2004, intitulado "Antropossolos: Proposta de origem (1ª aproximação)"[33], com o objetivo de organizar os conhecimentos sobre os volumes de solos produzidos pela sociedade e com potencialidades e fragilidades ambientais diferentes dos solos utilizados na agricultura (CURCIO et al., 2004).

Curcio et al. (2004) apresentam essa nova ordem de classificação denominada Antropossolos, que considera as mudanças causadas nas características dos solos naturais. Visto que são gerados grandes volumes pedológicos com diferenças de materiais constituintes, técnicas de composição e tempo de formação, que contém formas de uso, potencialidades e fragilidades variáveis. O nome da ordem foi formado pela associação do elemento formativo *antropo* (do grego *Anthropos*: homem) com a terminação *solos*, cujo significado composto é "solo produzido pelo homem" e tem a seguinte definição:

> Compreende volume formado por várias ou apenas uma camada antrópica, desde que possua 40 cm ou mais de espessura, constituído por material orgânico e/ou inorgânico, em diferentes proporções, formado exclusivamente por intervenção humana, sobrejacente a qualquer horizonte pedogenético, ou saprolitos de rocha,

[31] **Conceito de solo no SiBCS 2006:** O solo que classificamos é uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contêm matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas. Quando examinados a partir da superfície, consistem de seções aproximadamente paralelas, organizadas em camadas e, ou, horizontes que se distinguem do material de origem inicial, como resultado de adições, perdas, translocações e transformações de energia e matéria, que ocorrem ao longo do tempo e sob a influência dos fatores clima, organismos e relevo. O corpo tridimensional que representa o solo é chamado de pedon. A face do pedon que vai da superfície ao contato com o material de origem, constituindo a unidade básica de estudo do SiBCS, é o perfil de solo, sendo avaliado em duas dimensões e perfazendo uma área mínima que possibilite estudar a variabilidade (EMBRAPA, 2006).

[32] Acúmulo de moluscos marinhos, fluviais ou terrestres, feitos pelos índios. Nesses jazigos de conchas se encontram, correntemente, ossos humanos, objetos líticos e peças de cerâmica (GUERRA, 1993).

[33] Elaborado pela Embrapa Florestas em conjunto com a Universidade Federal do Paraná e a Universidade Estadual de Marechal Cândido Rondon.

> ou rocha não intemperizada. Constituem volumes com morfologia muito variável em razão da natureza de seus materiais constitutivos, técnicas de composição e tempo de formação. Em geral, apresentam pequeno grau de evolução, caracterizado pela pequena relação pedogenética entre as camadas. A saturação iônica do complexo sortivo é bastante variável e depende, principalmente, do tipo de material utilizado em sua formação, além das características do material do solo remanescente. É muito comum ser identificada a presença de materiais tóxicos e sépticos em sua composição. A drenagem é bastante diversa, e está diretamente relacionada à natureza e à quantidade dos materiais constitutivos, técnicas de estruturação para formação do volume, bem como do ambiente de deposição (Curcio et al.,2004, p. 21).

No documento, é descrita a caracterização de uma condição diagnóstica de antropogênese, sendo necessária a identificação de uma das seguintes situações:

- Inversão ou mistura de horizontes genéticos e/ou diagnósticos;
- Presença de materiais antrópicos[34];
- Remoção de horizontes do solo feitos pelo homem, de forma manual, por máquinas e/ou implementos;
- Modificação na paisagem ocasionada pelo homem através da ação de máquinas e/ou implementos;
- Composição granulométrica e química modificada;
- Presença de materiais tóxicos e/ou sépticos.

A estruturação em níveis categóricos foi feita visando apresentar um nível elevado de especificidade considerando a forma de intervenção humana e a natureza de seus materiais constitutivos, assim, as intervenções foram agrupadas em três grandes ações, de acordo com o Quadro 6:

Quadro 6: Classificação das principais intervenções humanas sobre os solos

Principais intervenções humanas sobre os solos	
Adição	Incorporação de materiais inertes e/ou nocivos sobre solos e/ou saprolitos e/ou regolitos e/ou rochas.
Decapitação	Retirada parcial ou total de solos e/ou saprolitos, regolitos e rochas por intervenção direta do ser humano.
Mobilização	Movimentação parcial ou total de solos, inclusive podendo alcançar saprolitos, regolitos e rocha.

Fonte: elaboração própria, 2017, a partir de CURCIO et al., 2004.

Foram propostas 4 subordens para o segundo nível hierárquico: i) Líxicos – para adição de lixos nocivos no solo; ii) Sômicos – para as ações de mobilização com adição de

[34] Material antrópico: Compreende materiais de natureza mineral ou orgânica produzidos pela atividade humana, envolvendo, entre outros, plásticos, papéis, ossos, vidros, cerâmicas, concreto, materiais de reboco, caliça e embalagens diversas (CURCIO et al.,2004).

materiais não nocivos; iii) Decapíticos – para a decapitação de solos e/ou saprolitos e rochas; e iv) Mobilíticos – quando se verifica apenas a mobilização dos solos. Há duas subordens de adição, os Líxicos e os Sômicos, por causa da natureza dos materiais constitutivos, os quais podem ou não determinar contaminação ambiental (CURCIO et al., 2004). As subdivisões podem ser observadas no Quadro 7.

Quadro 7: Definição e agrupamentos dos Antropossolos pela Embrapa (2004)

ANTROPOSSOLOS (EMBRAPA, 2004)		
SUBORDENS		
Classe	**Elemento Formativo**	**Termo de conotação e memorização**
Líxico	Lix	Lixo. Detritos domésticos ou industriais
Decapítico	Decapit	Decapitado. Remoção de horizontes do solo
Sômico	Som	Soma. Adição de horizontes do solo
Mobilítico	Móbil	Mobilização. Movimentação de horizontes do solo
GRANDES GRUPOS		
Áquico	Áqui	Água. Sujeito a saturação por água
Órtico	Órt	Típico. Condição habitualmente encontrada
Totálico	Total	Inteiro. Retirada total do solo
Parciálico	Parciál	Parte. Retirada de partes do solo
Mésclico	Méscl	Mistura. Mistura de horizontes do solo
Camádico	Camád	Camada. Materiais do solo dispostos em camadas
Êquico	Êqui	Igual. Camadas dispostas semelhantes ao solo original
Inêquico	Inêqu	Desigual. Camadas dispostas não semelhantes ao solo original
SUBGRUPOS		
Tóxico	Tóx	Nocivo. Presença de materiais nocivos ao ambiente
Séptico	Sépt	Nocivo. Presença de organismos patogênicos
Eutrófico	Eutróf	Rico. Alta saturação por bases
Distrófico	Distróf	Pobre. Baixa saturação por bases
Alumínico	Alumín	Alumínio. Altos teores de alumínio trocáveis
Homogênicos	Homogên	Homogêneo. Constituição uniforme
Heterogênicos	Heterogên	Heterogêneo. Constituição desuniforme
Saprolítico	Saprolít	Decomposto. Rocha Intemperizada

Fonte: CURCIO et al., 2004.

Cada subordem possui um ou mais grandes grupos e subgrupos correspondentes, de acordo com o tipo de material e de atividade necessária para sua formação, combinados conforme o documento 101 da EMBRAPA. Neste, o principal interesse são as áreas de antigos depósitos de resíduos sólidos e, portanto, serão exploradas, no próximo item, as classificações mais adequadas para esse tipo de solos.

2.5. CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS ANTROPOGÊNICOS EM ÁREAS DE ANTIGOS DEPÓSITOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A FAO (2014) apresenta o conceito de *Technosols* como uma classe composta por qualificadores principais e suplementares. Entre os qualificadores principais, há duas subclasses relacionadas à adição de materiais ao solo, *Garbic* e *Urbic*, que podem ser utilizadas para a classificação de antigas áreas de depósitos de resíduos sólidos e possuem conceitos muito semelhantes e devem ser utilizados em casos específicos, conforme o Quadro 8.

Quadro 8: Conceitos de *Technosols Garbic* e *Urbic* na WRB 2014

TECHNOSOLS	
Garbic (ga)	***Urbic (ub)***
Garbic (ga) (do inglês *garbage*, lixo): com uma camada ≥ 20 cm de espessura, dentro de ≤ 100 cm da superfície do solo, com ≥ 20% (por volume, média ponderada) de artefatos contendo ≥ 35% (por volume) de resíduos orgânicos (somente em *Technosols*)	*Urbic* (ub) (do latim *urbs*, cidade): com uma camada ≥ 20 cm de espessura, dentro de ≤ 100 cm da superfície do solo, com ≥ 20% (por volume, média ponderada) de artefatos contendo ≥ 35% (em volume) de entulho e refugo de assentamentos humanos (somente nos *Technosols*)

Fonte: elaboração própria, 2017, a partir de FAO, 2014.

A diferença entre as duas subclasses está no tipo de material que é depositado no solo: a *Garbic* para resíduos orgânicos e a *Urbic* para rejeitos domiciliares e entulhos. Isto torna difícil a distinção entre essas duas subclasses, pois, no caso brasileiro, os resíduos sólidos urbanos, destinados aos aterros sanitários, controlados e lixões, possuem ao mesmo tempo resíduos com origens diversas, que variam de orgânico, papel, vidro, plástico, entulhos de construções, tecidos até mesmo resíduos de eletrônicos, lâmpadas, pilhas, entre outros.

Na Classificação Australiana (ISBELL, 1996), entre as subordens propostas, as que mais possuem relação com as antigas áreas de depósitos de resíduos sólidos são a *Garbic* e a *Urbic*. A *Garbic* é composta por solos aterrados por materiais manufaturados onde

predominam os de natureza orgânica, que podem ser de origem doméstica ou industrial e geralmente ocorrem como formas de relevo artificialmente elevadas. A *Urbic* é composta por aterros de natureza predominantemente mineral, e o preenchimento pode ser inteiramente de origem manufaturada, como vidro, plástico, concreto etc., ou conter uma mistura de materiais fabricados e materiais de origem pedogênica, ocorrendo geralmente como um relevo artificialmente elevado (ISBELL, 1996), conforme descritos no Quadro 9.

Quadro 9: Conceitos de Anthroposols Garbic e Urbic no Sistema Australiano de Classificação de Solos

ANTHROPOSOLS	
Garbic	***Urbic***
Solo mineral ou materiais regolóticos que estão subjacentes por terra preenchida de origem fabricada e predominantemente de natureza orgânica. Esses materiais podem ser de origem doméstica ou industrial e geralmente ocorrem como formas de relevo artificialmente elevadas. A intenção é designar resíduos de atividade humana suficientemente altos em matéria orgânica para gerar quantidades significativas de metano quando colocadas sob condições anaeróbicas.	Solo mineral ou materiais regolíticos que estão subjacentes por terra com preenchimento predominantemente de natureza mineral. O preenchimento pode ser totalmente de origem fabricada (vidro, plástico, concreto etc.) ou conter uma mistura de materiais fabricados e materiais de origem pedogênica. O preenchimento geralmente ocorre como uma forma de relevo artificialmente elevada.

Fonte: elaboração própria, 2017, a partir de Isbell, 2015.

Mesmo com a proposta de subordens em algumas situações, elas poderão ser utilizadas de forma integrada, devido à variedade de materiais. Por exemplo, às vezes pode ser difícil decidir entre *Garbic* e *Urbic*, e capacidade crítica e conhecimento do processo e de outras situações serão necessários. A questão dos solos contaminados por resíduos tóxicos também não está resolvida. Tais solos poderiam ser incluídos na subordem *Garbic*, mas, se os resíduos são tóxicos para a vida vegetal e animal, seus componentes não podem ser considerados como estritamente solo, o que poderia ser feito em algumas situações, seria referir-se ao local como uma fase contaminada de solo pré-existente (ISBELL, 1996).

A Classificação Brasileira (CURCIO, et al., 2004) denomina esta categoria de Antropossolos e, para o caso específico das áreas de disposição de resíduos sólidos, a subordem correspondente para classificação são os Antropossolos Líxicos. Detalhados em seus grandes grupos e subgrupos no Quadro 10:

Quadro 10: Classificação de Antropossolos Líxicos

ANTROPOSSOLOS			
LÍXICOS			
Volumes constituídos exclusivamente por materiais orgânicos e/ou inorgânicos de fabricação humana, nocivos ao ambiente, podendo estar misturados ou em camadas.			
Áquicos		**Órticos**	
Volumes que estão sujeitos à influência do lençol freático, no mínimo uma vez ao ano		Volumes que não estão sujeitos à influência do lençol freático.	
Toxissépticos	Volumes que apresentam em sua constituição materiais tóxicos e sépticos estando sujeitos à saturação hídrica plena por influência do freático pelo menos uma vez por ano**.**	**Toxissépticos**	Volumes que apresentam em sua constituição materiais tóxicos e sépticos.
Tóxicos	Volumes que apresentam em sua constituição materiais tóxicos, estando sujeitos à saturação plena por influência do freático pelo menos uma vez por ano.	**Tóxicos**	Volumes que apresentam em sua constituição materiais tóxicos.
Sépticos	Volumes que apresentam em sua constituição materiais sépticos, estando sujeitos à saturação hídrica plena por influência do freático pelo menos uma vez por ano.	**Sépticos**	Volumes que apresentam em sua constituição materiais sépticos.

Fonte: CURCIO et al., 2004.

Os Antropossolos Líxicos são volumes que contêm materiais orgânicos e/ou inorgânicos resultantes de atividade humana adicionados ao solo, e, por ser uma definição ampla, podem abranger diversos elementos e artefatos, contaminantes ou não. Podem ser subdivididos segundo a influência do aquífero freático: os Áquicos com influência e os Órticos sem influência, ambos divididos em subgrupos, na quarta ordem, de acordo com a constituição dos materiais, sendo eles sépticos, tóxicos ou toxissépticos. Contudo, não há uma definição sobre quais elementos ou materiais constituem cada um desses subgrupos.

CONSIDERAÇÕES

O aumento de áreas urbanizadas causou mudanças sobre os elementos da paisagem. No caso dos solos, as alterações em suas propriedades representaram alterações tão significativas que foi necessário a criação de uma nova categoria para classificação, já que suas características não podem mais ser enquadradas nos grupos de solos naturais. Há diferença entre o tempo de formação de um solo natural organizado em horizontes e os processos acelerados pela ação do homem, principalmente no ambiente urbano, com a retirada, transporte e adição de materiais ao solo. As camadas são

misturadas, dificultando a identificação com novas características, porém continua a ser um tipo de solo.

A identificação dos solos antropogênicos (*Technosolos, Anthroposols,* Antropossolos) não é realizada através da organização dos horizontes, mas por meio dos tipos de processos, como a retirada e transporte de solo de seu local de origem, ou pelo tipo de materiais que estão presentes em sua composição, como os solos que recebem adição de artefatos variados.

A WRB inicia, em 1998, o uso de novas terminologias para solos com alterações antrópicas, relacionadas aos solos urbanos, com os horizontes *Anthropedogenic* voltados às características dos solos utilizados para o cultivo por longos períodos, que na WRB de 2006 recebe a denominação de *Anthrosol*. Naquele momento, tais solos foram inseridos na categoria de material de diagnóstico, e não como um horizonte ou ordem. Os *Anthropogeomorphic soil materials* foram considerados como incapazes de causar mudanças expressivas nos processos pedogenéticos pelo pouco tempo em que se encontravam no solo.

Na WRB de 2006, é reconhecida a importância da atividade humana como fator da formação de solos, com a inserção do termo *Technosols* como um grupo de solos caracterizados pela presença de artefatos e *technic hard rock*. Para resolver questões de classificação, já que os solos em ambiente urbano, em geral, perderam suas características de perfil, uma nova proposta de identificação de solos é apresentada, a qual propõe nomear todos os corpos identificáveis mesmo sem a existência de perfis. A partir de então, os solos em ambientes urbanos puderam ser classificados de acordo com os tipos de materiais e processos a que foram submetidos. Na WRB de 2014, houve mudanças principalmente em relação aos qualificadores principais e qualificadores suplementares que passaram a conter mais detalhes quanto ao tipo de material para a classificação.

Em todas as classificações, ainda podem ser acrescidos novos qualificadores ou subordens devido à grande variedade de novos produtos criados todos os dias, resultantes dos avanços tecnológicos. Tais produtos, em muitos casos, acabam sendo descartados rapidamente, devido a lógica da sociedade do descartável[35], onde a troca por novos produtos é impulsionada pelas propagandas publicitárias. Os materiais descartados, nem sempre recebem a destinação adequada, como no caso de muitos municípios brasileiros, que destinam seus RSU para áreas de lixões, que são áreas onde os resíduos são depositados diretamente nos solos sem medidas de proteção. Está prática altera as

[35] Rodrigues (1998).

características físicas e químicas dos solos, e devido a quantidade de artefatos, estas áreas dever ser classificadas como *Technosols* Urbic e Garbic, conforme a classificação da FAO (2014) e no caso brasileiro como Antropossolos Líxicos (CURCIO et al., 2004), os quais devem ser estudados para obtenção de maiores detalhamentos sobre as suas características, visto que ainda são classes propostas recentemente.

A Classificação de Solos Australiana inicia, em 1992, suas discussões sobre a necessidade de criação de uma ordem de solos modificada por influência antrópica, porém apenas como proposta e sem detalhes sobre suas características ou uma definição para os *Anthroposols*. Já na classificação de 1996, estes são apresentados como solos modificados pelas atividades antrópicas, que podem ser classificados em níveis de ordem e subordens, sendo atualizados em 2002 e 2015.

No Brasil, o SiBCS (1999, 2006 e 2009) utiliza o conceito de horizonte A Antrópico para solos que sofrem alterações em suas características devido à ação antrópica, mas consideram as mudanças causadas pelo uso do solo por longos períodos de cultivo, portanto voltados a solos com maiores possibilidades de ocorrência em áreas rurais, principalmente resultantes da adição de material orgânico misturado a materiais minerais e, em alguns casos, da adição de fragmentos de cerâmicas e restos de ossos e conchas, como em sambaquis e a Terra Preta do Índio. A proposta de ordem dos Antropossolos não está inserida diretamente no SiBCS, permanecendo desde 2004 como um documento de primeira aproximação e sem receber atualização desde então.

O uso do conceito de Antropossolos é proposto em 2004 e considera as alterações nas características dos solos, principalmente voltado ao ambiente urbano, levando em conta as ações de decapitação, adição e mobilização, podendo estes ser classificados em nível de grandes ordens, grandes grupos e subgrupos de acordo com o tipo de ação e de material presente em sua composição.

A WRB é um documento norteador mundial, porém não exclui o uso dos sistemas de classificação propostos por cada país, visto que há grandes diferenças entre as características dos solos ao redor do mundo. Assim, os sistemas como a WRB e as propostas de classificação da Austrália e Brasil podem ser utilizados como complementares, além de fornecerem bases, através da experiência de cada país, para aperfeiçoar os estudos sobre os novos tipos de solos no ambiente urbano, dada a enorme diversidade de características, ações e materiais em sua composição. Os estudos com a aplicação de novas metodologias para classificação desses solos serão contribuições para ampliar o conhecimento e também para formular novas propostas de classes dentro dessas categorias ainda recentes.

REFERÊNCIAS

ALEXANDROVSKAYA, E. I. e ALEXANDROVSKIY, A. L. History of the cultural layer in Moscow and accumulation of anthropogenic substances in it. **Catena,** nº. 41, 2000, p. 249–259.

CURCIO, G. R., LIMA, V. C., GIAROLA, N. F. B. **Antropossolos:** proposta de ordem (1ª Aproximação). EMBRAPA Florestas, Colombo, 2004.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação, Rio de janeiro, 1999.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro, 2006.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro, 2013.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Soil map of the world** – revised. Rome, 1988. (FAO. World soil resources, report, 60).

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **World reference base for soil resources**, World Soil Resources Reports nº 84, Rome, 1998.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. IUSS Working Group WRB. **World reference base for soil resources 2006**. World Soil Resources Reports nº. 103, Rome, 2006.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. IUSS Working Group WRB. **World Reference Base for Soil Resources 2014**, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports nº. 106, Rome, 2014.

ISBELL, R. F. **A Classification system for Australian soils** (Second approximation). Townsville: CSIRO Division of soils, 1992.

ISBELL, R.F. **The australian soil classification**. Collingwood: CSIRO, 1996.

ISBELL, R.F. **The australian soil classification**. Collingwood: CSIRO, 2015.

MYSCZAK, L. A. **Aplicação da proposta de ordem dos Antropossolos no bairro Ganchinho, Curitiba - PR.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geografia), Universidade Federal do Paraná, 2013.

PEDRON, F. de A.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. de; KAMINSKI, J. Solos urbanos. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.34, n.5, p.1647-1653, set-out, 2004.

ROSSITER D. G. (2007): Classification of Urban and Industrial Soils in the World Reference Base for Soil Resources. **Journal Soils Sediments,** n. 7 (2), p. 96–100.

SOBOCKÁ, J. Specifics of urban soils (Technosols) survey and mapping. In: **19th World Congress of Soil Science**, Soil Solutions for a Changing World, August 2010, Brisbane, Australia.

ARTIGO 2

3. ATRIBUTOS DO RELEVO E SUA RELAÇÃO COM OS SOLOS NO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE PRUDENTE – SP

Resumo: Este artigo apresenta as relações existentes entre os atributos morfológicos e morfométricos identificados a partir de um modelo digital de elevação (MDE) e os solos existentes no município de Presidente Prudente – SP, que encontra-se situado sobre os depósitos sedimentares da Formação Adamantina, pertencente ao Grupo Bauru. Com base no MDE, foram derivados cinco atributos primários do relevo: elevação, declividade, geoformas, perfil de curvatura e orientação das vertentes (aspecto). Foram realizadas amostragens de solos para avaliar as interações entre os atributos do relevo e os tipos de solos. Os resultados mostraram que os Argissolos estão predominantemente associados às declividades de 0 – 3%, porém com presença em outras classes de declividades, visto sua predominância na região devido ao material de origem, e posições hipsométricas de 420 e 440 metros, pertencentes ao domínio de vertentes retilíneas, em áreas de altas vertentes, orientadas para as direções norte e nordeste. Os Latossolos Vermelhos predominam nas áreas de declividades de 3 a 8% em altitudes médias de 460 a 480 metros, em curvaturas retilíneas e localizadas no topo e nas altas vertentes, orientadas para Sudeste e Oeste. Os Neossolos estão localizados em posições hipsométricas de 400 a 480 metros, predominantemente em áreas com altas declividades, de acordo com as características do município, nas classes de 8 a 20% e acima de 20%, e localizados nas áreas de predomínio das vertentes convexas e médias vertentes orientadas para as direções Sudeste e Sul.

Palavras-chave: Solos, relevo, paisagem, modelo digital de elevação, declividade, curvatura do relevo, geoformas, aspecto.

3.1. INTRODUÇÃO

Os solos possuem características diferenciadas, desde a sua formação, que influenciam diretamente nas potencialidades de uso para cada região. Assim, visando o melhor aproveitamento e planejamento do uso do solo, é importante que haja conhecimento sobre suas características, que podem ser obtidas por meio de levantamentos e mapeamentos de solos, principalmente por metodologias que relacionam solos e paisagem.

Para Lepsch (2002, p. 9-10), o solo pode ser definido como uma “coleção de corpos naturais dinâmicos, que contém matéria viva, e é resultante da ação do clima e da biosfera sobre a rocha, cuja transformação em solo se realiza durante certo tempo e é influenciada pelo tipo de relevo”. Para Bockheim et al. (2005), o solo é a materialização dos processos morfogenéticos que ocorrem na paisagem, caracterizando a interdependência entre solo e relevo, devendo serem estudados em conjunto. Carré e McBratney (2005) consideram a paisagem como o principal fator para delinear e, taxonomicamente, alocar tipos de solo, visto que existe uma estratificação de unidades de mapeamento de solo relacionada com a paisagem, especialmente para as unidades fisiográficas de relevo.

As discussões a respeito do surgimento dos estudos sobre a relação solo-paisagem indicam como marco o surgimento do conceito de Catena[36], sendo que, a partir desse conceito, vários modelos de paisagem propuseram estudar e entender as relações entre as condições do solo e a topografia (CAMPOS, 2012; QUEIROZ-NETO, 2002, BOCKHEIM et al., 2005). O uso dos conceitos de superfícies geomórficas, unidades de vertentes e curvatura do terreno, na relação solo-paisagem são fundamentais para estudos de gênese, levantamento e classificação de solos, assim como para a obtenção de informações de estimativas de erosão, estabelecimento de manejo, planejamento e uso do solo (CAMPOS, 2012).

A influência do relevo sobre o comportamento do solo pode ser observada, à medida que se dirige da posição mais alta à posição mais baixa, direção onde haverá maior concentração de umidade, ocasionada pelo escoamento superficial e fluxo subsuperficial, comandado primordialmente pela ação gravitacional, que influencia no processo genético dos solos. Nos locais com maiores declividades, devido à intensidade dos processos erosivos, há a ocorrência de solos mais jovens, que, em geral, são pouco desenvolvidos. Por outro lado, nas áreas onde as declividades são mais suaves, os solos serão mais desenvolvidos (DEMATTÊ et al., 1996; CAMPOS, 2012; CHAGAS, 2013).

Chagas (2013) indica a estreita relação entre o plano de curvatura e a espessura dos solos. Como regra geral, os solos mais profundos e mais evoluídos ocupam encostas convexas, enquanto os mais rasos (saprolíticos) e menos evoluídos tendem a ocorrer em encostas côncavas. Também propõe que as condições de energia e fluxo de massa influenciam os tipos de vegetação e sua sucessão e estes fluxos são afetados pela topografia por meio da influência combinada da elevação, declividade, orientação e rugosidade do terreno.

A declividade, a orientação e a curvatura da superfície terrestre, são potencialmente úteis para melhorar a predição da ocorrência dos tipos de solos nas paisagens (CAMPOS, 2012). Para Ippoliti et al. (2005) e Carré e McBratney (2005), os principais atributos topográficos usados para a delimitação de solos são: a elevação, a declividade, a orientação e a curvatura da superfície terrestre.

[36] Catena é uma unidade prática de mapeamento [...] que agrupa solos que, a despeito de estarem colocados em pontos diferentes de um sistema natural de classificação, tendo em vista suas diferenças morfológicas e fundamentais, estão, no entanto, relacionados na sua ocorrência por condições topográficas e se repetem nas mesmas posições, uns em relação aos outros, sempre que aquelas condições estão presentes (MILNE, 1934).

Outro atributo que pode auxiliar na predição de solos é a geoforma[37], que consiste em um padrão característico de terreno e exibe uma variação definida em tamanho, escala e forma de características geomórficas, distinguido pelas dimensões (comprimento, largura e altura) e pela frequência estatística dos atributos geomórficos. Em geral, as formas e medidas de superfície local são interpretadas para compreender processos que controlam a distribuição espacial, redistribuição de material e energia na paisagem. As relações de forma e processo são utilizadas para fazer inferências relativas às condições locais dos regimes de umidade superficial e subterrânea, tipo, textura e estabilidade de sedimentos não consolidados, além de tipos e grau de desenvolvimento pedogênico (MACMILLAN e SHARY, 2009).

Vários pesquisadores encontraram relações estatísticas satisfatórias entre atributos do terreno derivados de um MDE. O uso de modelos permite obter uma aproximação topográfica da realidade com base em curvas de nível e canais de drenagem, oferecendo suporte para o mapeamento de diversos parâmetros topográficos (KINGEBIEL et al., 1988; STABILE e VIEIRA, 2010).

3.2. EXPERIÊNCIAS DA APLICAÇÃO DE MDE[38] NOS ESTUDOS ENTRE RELAÇÃO DO RELEVO E SOLOS

Para Moore et al. (1993), os levantamentos de solos podem ser melhorados por meio da utilização de atributos do terreno derivados de um MDE, fornecendo assim, um método para geração de mapas de alta resolução que possibilitam a identificação de aspectos da superfície do terreno que são difíceis de serem notados na interpretação de fotografias aéreas tradicionais.

Martins et al. (2007) ao realizar estudos no Parque Nacional da Serra dos Órgãos - RJ, utilizaram um MDT para agregar informações sobre o relevo e seus parâmetros derivados, como declividade, altitude e curvatura para classificação dos solos, combinados com análises químicas e físicas de amostras coletadas. Obtiveram bons resultados na classificação das catenas e conseguiram observar uma polaridade evolutiva onde os solos aumentam progressivamente a maturidade do topo para a base das vertentes.

Sousa Junior e Demattê (2008) determinaram a incidência de cada solo nas respectivas classes de declives e altitudes que foi posteriormente comparado com um

[37] *Landform* (termo em inglês).

[38] Os trabalhos apresentados utilizam os conceitos de MDE (Modelo Digital de Elevação), MDT (Modelo Digital do Terreno) e MNT (Modelo Numérico do Terreno).

mapa de solo feito pelo método tradicional. Cada solo apresentou comportamento diferenciado em relação às classes de declividade e, nas faixas limítrofes, houve sobreposição de dois ou mais tipos de solo. O MDE apresentou semelhanças com o mapa de solos, podendo auxiliar na sua determinação, juntamente com observações de campo.

Stabile e Vieira (2010) analisaram o papel da topografia sobre a distribuição das feições erosivas na bacia hidrográfica Água da Faca, em Piratininga – SP, utilizando como base um MDE. Concluíram que o uso do MDE foi relevante, pois permitiu uma análise profunda da relação entre os parâmetros topográficos, por meio de sobreposição, combinada com reflexões sobre os produtos derivados e apoio de material bibliográfico.

Carré e McBratney (2005) definiram o conceito de *Terron*[39], descrito pelas propriedades do solo e interações com as características da paisagem. A metodologia utilizada foi a observação de uma base de dados tradicional de solos franceses, relacionando com dados das características da paisagem, espacialmente contínuos, derivados de um MDE, obtendo bons resultados.

Ippoliti et al. (2005) utilizaram SIG para o delineamento das geoformas e pedopaisagens, com base em uma carta topográfica, para gerar o MNT, a partir do qual foram extraídos os mapas de elevação, declividade e curvatura. Com auxílio de trabalhos de campo alcançaram uma exatidão global de 72% na classificação das formas da paisagem e na correlação entre as classes obtidas com as classes de solos dominantes.

O uso de produtos derivados do MDE aumenta a eficiência do trabalho de campo, e permite uma interpretação mais completa, e pode gerar melhores mapas preliminares, tornando o mapeamento de solos mais rápido e mais eficiente, com gasto menor de tempo para cobrir áreas mais amplas. Além da melhoria da qualidade dos mapas de solos, descrições e interpretações dos dados tabulares associados, que aumentam, consideravelmente, a capacidade para fornecer interpretações precisas e versáteis de um levantamento de solos (KINGEBIEL et al., 1988).

3.3. MATERIAL E PROCEDIMENTOS

3.3.1. Área de estudo

A área do município de Presidente Prudente – SP, apresentada na Figura 10, é composta por rochas sedimentares da Formação Adamantina, pertencente ao Grupo

[39] Para Carré e McBratney (2005), *Terron* é uma entidade que integra todas as propriedades do solo (*Pedon*) com fatores topográficos de formação do solo (aqui representado por características de paisagem), que pode ser assimilado ao terreno.

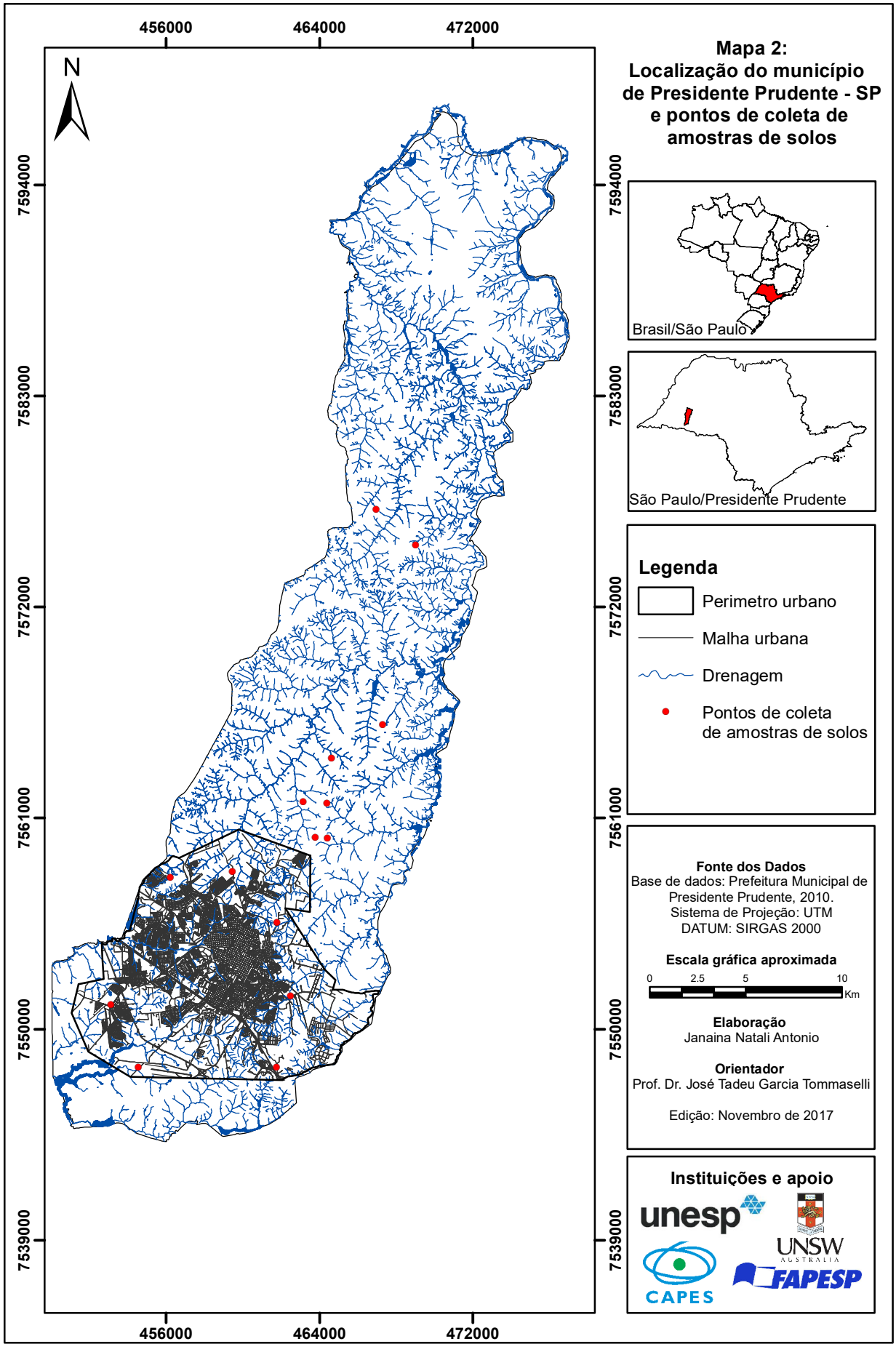
Bauru, que abrange uma vasta área no Oeste Paulista, Planalto Ocidental, exceto nas áreas mais rebaixadas dos vales dos principais rios (IPT, 1981).

As principais formas de relevo na região são as colinas médias, colinas alongadas e espigões, sendo que nas colinas médias as declividades são baixas (até 15%), com amplitudes inferiores a 100 metros, e nas colinas alongadas e espigões as amplitudes também se apresentam menores que 100 metros, porém as declividades são, em sua maioria acima de 15%, apresentando relevo dissecado associado aos arenitos com cimentação carbonática da Formação Adamantina (IPT, 1981).

Oliveira (1999) identificou na região do Oeste Paulista oito tipos de solos: os Argissolos Vermelho-Amarelos; os Argissolos Vermelhos; os Latossolos Vermelhos; os Nitossolos Vermelhos; os Gleissolos Háplicos; os Neossolos Quartzarênicos; os Neossolos Flúvicos; os Neossolos Litólicos. Os mais representativos da região de Presidente Prudente-SP são: solos desenvolvidos (Associação Latossolos), solos rasos a desenvolvidos (Associação Argissolos), solos rasos (Associação Neossolos) e solos hidromórficos (Associação Planossolos e Gleissolos) (FUSHIMI, 2012).

A localização do município e dos pontos de coleta de amostras[40] de solos é apresentada no Mapa 2.

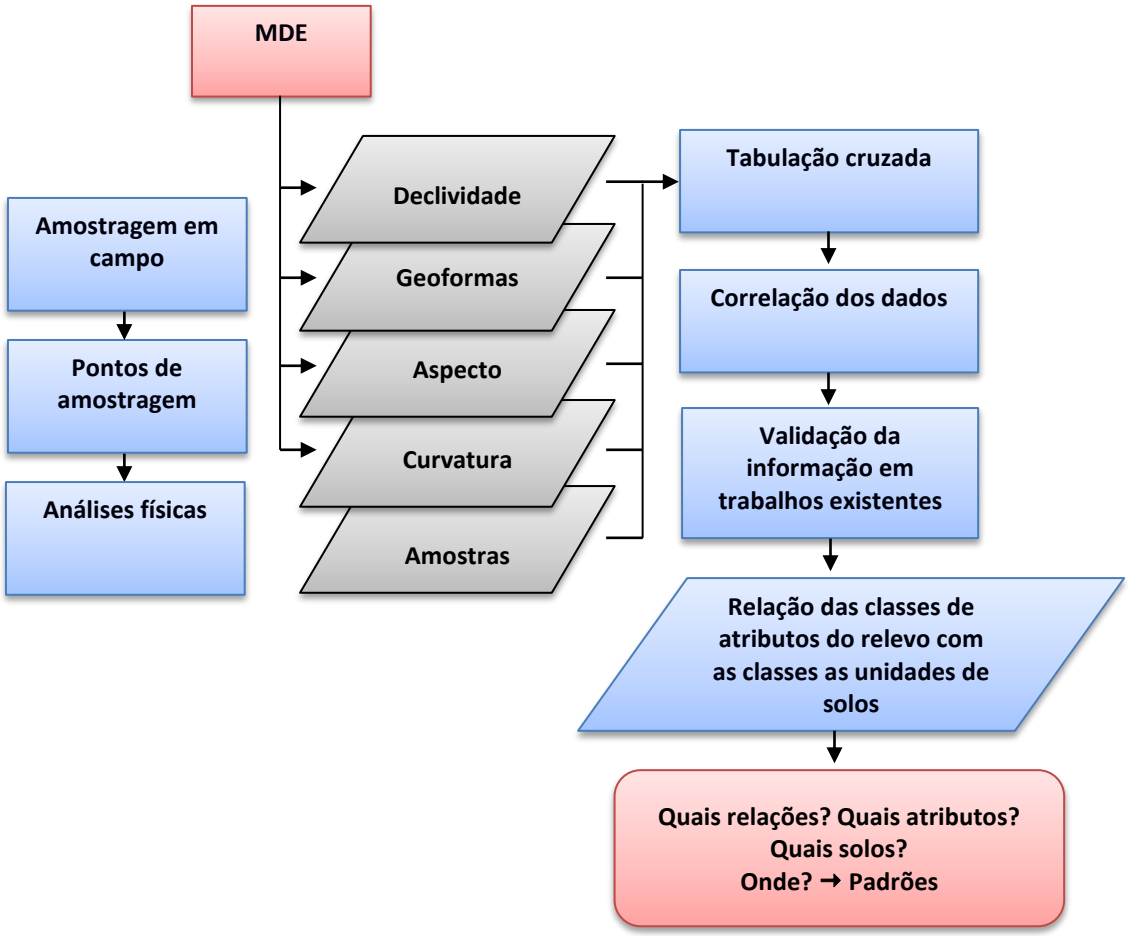
[40] A coleta de amostras de solos foi realizada seguindo os procedimentos indicados por Lemos e Santos (1996), e posteriores análises no Laboratório de Sedimentologia e Análise de Solos da FCT/UNESP, para identificação dos tipos de solo. Para a elaboração do mapa preditivo de solos foram adicionados 8 pontos de amostragem em áreas localizadas fora do perímetro urbano extraídos da dissertação de mestrado de Fushimi (2012).


456000
464000
472000
7594000
7583000
7572000
7561000
7550000
7539000
N
Mapa 2:
Localização do município
de Presidente Prudente - SP
e pontos de coleta de
amostras de solos
Brasil/São Paulo
São Paulo/Presidente Prudente
Legenda
Perimetro urbano
Malha urbana
Drenagem
Pontos de coleta
de amostras de solos
Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de
Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000
Escala gráfica aproximada
0 2.5 5 10
Km
Elaboração
Janaina Natali Antonio
Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli
Edição: Novembro de 2017
Instituições e apoio
unesp
UNSW
AUSTRALIA
CAPES
FAPESP

3.3.2. Elaboração de mapas com atributos do relevo

A elaboração de um MDE da área de estudo foi o procedimento inicial para obtenção dos modelos com características do relevo. Para a elaboração do MDE e dos mapas derivados foi utilizado o *software* ArcGIS 10.2[41] e base digital de curvas de nível de 10 em 10 metros, cedidos pela Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, na escala de 1:20.000. A elaboração do MDE foi o procedimento inicial para obtenção dos mapas com atributos do relevo, sendo eles: curvatura, declividade, geoformas e aspecto. A partir dos resultados das análises texturais e morfológicas foi realizada a identificação dos tipos de solos que posteriormente foram utilizadas na tabulação cruzada dos dados para determinar a relação existente entre atributos do relevo e solos, conforme as etapas de trabalho apresentadas do bloco diagrama ilustrado na Figura 9.

Figura 9: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 2



Fonte: elaboração própria, 2017.

[41] ArcGis é uma marca registrada da ESRI Inc.

O mapa de curvatura do relevo teve suas categorias definidas após diversos testes. Nesta etapa, os cálculos adotados pelo *software* fornecem valores positivos para as curvaturas convexas, valores negativos para as curvaturas côncavas e valores nulos para a curvatura retilínea. Valeriano (2003) e Stabile e Vieira (2010) afirmam que uma parcela muito pequena do que se estima ser retilíneo não apresenta curvatura rigorosamente nula, sendo necessária uma faixa de tolerância.

Valeriano (2003) e Valeriano e Carvalho Junior (2003) realizaram testes em conjunto de MDE para a determinação dos limiares para vertentes retilíneas. Os testes foram complementados por descrições relatadas na literatura geomorfológica e pelo próprio conhecimento de campo, e levaram à seleção do intervalo de –0,55% 100 m^{-1} a + 0,55% 100 m^{-1} para a classe de vertentes retilíneas. Valores abaixo desse intervalo foram classificados como côncavos e, acima, convexos. Para a área foram definidas três classes (côncava, convexa e retilínea), com seleção de intervalo de -0,5% a +0,5% para a classe de vertentes retilíneas, baseado em Valeriano (2003), e por ser análoga a uma delimitação feita manualmente em uma área de teste.

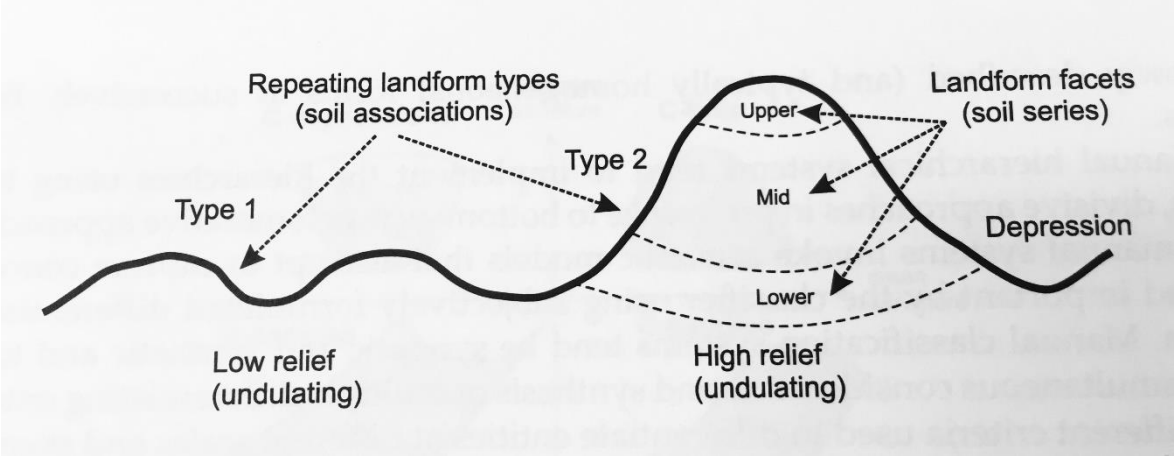
A declividade é um dos atributos de maior importância para discriminar classes de solos em mapeamentos (SIRTOLI, 2008; SOUZA, 2009; ARRUDA, 2012). Para a elaboração foram utilizados os parâmetros indicados pela EMBRAPA (2013), que propõe a utilização das seguintes classes de declividades: 0 – 3% (plano), 3 – 8% (suave ondulado), 8 – 20% (ondulado), 20 – 45% (forte ondulado) e 45 – 75% (montanhoso), e acima de 75% (escarpado).

Para a elaboração do mapa de geoformas[42] (*landfom*[43]), foram seguidos os parâmetros propostos por Reuter e Nelson (2009), baseados em MacMillan e Pettapiece (1997). A classificação resultante produz amplas áreas contínuas que refletem noções conceituais simples da posição relativa do relevo. A progressão da crista para a vertente superior para a média vertente e para a depressão é sistemática, contínua e claramente definida. Os limites de classes são puramente arbitrários e provavelmente requerem ajustes para diferentes tipos de paisagem (MaCMILLAN e PETTAPIECE, 1997). As diferenças entre as geoformas podem ser observadas na Figura 10.

[42] Compartimentos do relevo.

[43] Para elaboração do mapa de geoformas foi utilizada a extensão *Geomorphometry and Gradient Metrics version 2.0* que é uma extensão do ArcGIS contendo vários gradientes e métricas geomorfométricas usadas para análise da superfície. Estas métricas têm sido utilizadas em uma variedade de aplicações incluindo ecologia da paisagem, distribuição de espécies, predição de vegetação e estudos de sensoriamento remoto (EVANS, 2016).

Figura 10: Ilustração das diferenças conceituais entre tipos recorrentes e facetas de geoformas.



Fonte: MacMillan e Shary, 2009.

Um tipo de geoformas identifica um padrão característico de terreno que exibe uma variação definida em tamanho, escala e forma das características geomórficas e ocorre em uma posição contextual reconhecível relativa as características geomórficas adjacentes. Um tipo de geoforma (*landform*) tipicamente repete um ou mais ciclos completos de variação da ondulação (*waveform*) da crista para o vale (em abordagens regionais), e é distinguido pelas suas dimensões (comprimento, largura e altura) e pela frequência estatística dos seus principais atributos geomórficos (MaCMILLAN e SHARY, 2009).

O aspecto define a direção do fluxo de água e está relacionado diretamente com a evapotranspiração, insolação, teor de água no solo (MOORE et al., 1993; WILSON e GALLANT, 2000). Sirtoli (2008) evidenciou diferenças microclimáticas na área expressas pelas variações nos atributos topográficos de elevação e aspecto e confirmadas pela quantificação da radiação solar incidente nas diferentes encostas. Declividade e aspecto combinados também podem ser usados diretamente em processo de modelagem para a estimativa da quantidade de energia que atinge uma vertente (MOORE et al., 1993). O mapa de aspecto foi gerado automaticamente a partir do MDE e indica 9 direções: plano, norte, nordeste, leste, sudoeste, sul, sudeste, oeste e noroeste.

3.4. RESULTADOS E ANÁLISES

Os atributos do terreno estão diretamente relacionados aos processos de formação dos solos. Os atributos primários foram extraídos diretamente de um MDE, visto que

fornece informações relevantes sobre o relevo com potencial de caracterizar as formas topográficas de ocorrência de unidades de paisagem e os solos que nelas ocorrem (KLINGEBIEL et al., 1988, MOORE et al., 1993, CHAGAS, 2006, RIBEIRO, 2003). A partir da tabulação cruzada dos atributos do relevo extraídos do MDE com as amostras de solos foi possível identificar algumas características que ajudam a compreender a distribuição dos solos e verificar a existência de alguns padrões de ocorrência.

A partir do mapa hipsométrico (Figura 13), foi possível verificar que as amplitudes de elevação no município variam, em média, de 280 a 480 metros sendo que 58% das áreas estão situadas nas altitudes entre 360 a 440 metros. As áreas com altitudes abaixo de 360 metros representam 30%, enquanto que as acima de 440 metros representam 12%. As menores altitudes estão localizadas na área norte e as maiores na área sul, onde está situada a área urbana do município.

No município de Presidente Prudente – SP predominam as colinas médias, de interflúvios com áreas de 1 a 4 km^2, topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos, e as colinas alongadas e espigões, onde predominam interflúvios sem orientação preferencial, topos convexos, vertentes ravinadas com perfis retilíneos. Nas colinas médias, as declividades são de até 15%. Nas colinas alongadas e espigões, onde está situado o perímetro urbano, as declividades estão, em sua maioria, acima de 15%, sendo considerados declives médios a altos, associados aos arenitos com cimentação carbonática da Formação Adamantina (IPT, 1981).

A declividade é considerada um dos atributos topográficos primários de maior destaque nas relações entre relevo e solos (MOORE et al., 1993, SIRTOLI, 2008, ARRUDA et al., 2013), pois controlam os processos pedogenéticos por meio da relação direta com o fluxo superficial e subsuperficial da água que determinam o teor de água no solo e o potencial de erosão e deposição, entre outros processos importantes na formação dos solos (WILSON e GALLANT, 2000, CHAGAS, 2013). A figura 14 apresenta o mapa das classes de declividades.

Conforme Fushimi (2012), os Argissolos no município tendem a ocorrer em declividades, em média de 5 a 15% e em algumas áreas de topos suavemente ondulados. Os Latossolos ocorrem, frequentemente, em declividades de 0 – 5% e de 5 – 10%. Os Neossolos Regolíticos, são mais frequentes em vertentes côncavas e convexas, com declividades acima de 20%. As classes dos solos hidromórficos (associação Planossolos e Gleissolos) localizam-se nas planícies aluviais e alvéolos.

A partir dos pontos coletados, de acordo com a distribuição na Figura 10, foram realizadas análises de granulometria para identificação textural dos horizontes e identificação dos tipos de solos, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Análises granulométricas das amostras de solos nas áreas periurbanas

Pontos de coleta de amostras	Horizonte	Profundidade	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe Textural	Características
P1	AP	28 cm	68	13	19	Franco Arenosa	Argissolos
	E	49 cm	72	13	15	Franco Arenosa	
	Bt	73 cm	66	11	23	Franco Argilo Arenosa	
P2	Bw	55 cm	68	13	19	Franco Arenosa	Latossolos
P3	AP	38 cm	79	5	16	Franco Arenosa	Argissolos
	E	107 cm	75	4	21	Franco Argilo Arenosa	
P4	AP	23 cm	76	8	16	Franco Arenosa	Argissolos
	E	27 cm	77	8	15	Franco Arenosa	
	Bt	40 cm	79	2	19	Franco Arenosa	
P5	AP	67 cm	66	7	27	Franco Argilo Arenosa	Neossolos
P6	AP	9 cm	74	3	23	Franco Argilo Arenosa	Latossolos
	Bw1	10 cm	73	3	22	Franco Argilo Arenosa	
	Bw2	131 cm	73	4	21	Franco Argilo Arenosa	
P7	AP	24	75	12	13	Franco Arenosa	Argissolos
	Bt1	10	61	6	33	Franco Argilo Arenosa	
	Bt2	136	64	9	27	Franco Argilo Arenosa	

Fonte: elaboração própria, 2017.

Ao relacionar o mapa de declividade (Mapa 4) e os pontos amostrados, identificou-se que os Latossolos estão distribuídos, predominantemente, nas declividades entre 3 – 8%, totalizando 60% das amostras, e as classes de 0 – 3% e > 20% representam 20% cada. Os Argissolos possuem a maioria das amostras em locais de baixas declividades, sendo que do total, 37% das amostras estão localizadas na classe de 0 – 3% e as classes de 3 – 8% e 8 -20% contabilizam 25% cada. Já os Neossolos estão localizados em uma área de transição entre as declividades de 8 – 20% e >20%, conforme informações das Tabelas 2 e 3.

A curvatura do terreno, que controla o fluxo superficial de água no solo, é o principal fator que determina a profundidade do solo entre as encostas côncavas e convexas. Os solos menos profundos ocupam as encostas côncavas e os mais profundos as encostas convexas. Essas formas influenciam na distribuição de água e materiais solúveis das partes mais elevadas para as mais baixas (WILSON e GALLANT, 2000; CHAGAS, 2013).

As características da curvatura do relevo, apresentadas no Mapa 5 e Tabela 3, indicam que as unidades de solos dos Argissolos e Latossolos estão predominantemente localizadas nas áreas de vertentes retilíneas, sendo que os Argissolos totalizam 50% das os Latossolos 60% do total de amostras coletadas. Os Neossolos estão, predominantemente, localizados nas vertentes côncavas. Tais informações estão de acordo com o levantamento realizado por Fushimi (2012), que indica que os solos rasos são mais frequentes em vertentes côncavas e convexas, com declividades acima de 20%, associados aos Neossolos Litólicos.

Ao relacionar o mapa de geoformas, apresentado no Mapa 6, aos pontos amostrados foi observado que as amostras de Argissolos estão, predominantemente, localizadas nas altas vertentes. Os Latossolos encontram-se localizados, principalmente, em áreas de topo e em altas vertentes, e a classe dos Neossolos está situada predominantemente nas médias vertentes, conforme as Tabelas 2 e 3.

O aspecto[44] é o atributo do relevo que se refere à orientação da encosta e que, se agrupado ao gradiente da declividade, determina a quantidade de radiação solar, evapotranspiração, teor de água, energia disponível para fotossíntese, fatores que afetam a distribuição das propriedades dos solos e o potencial agrícola de uma área (IRVIN et al. 1997, SIRTOLI, 2008, MOORE et al. 1993, WILSON e GALLANT, 2000, CHAGAS, 2006). Em ao mapa de aspecto (Mapa 7), do total de pontos amostrados de Argissolos, 38% possuem a orientação da vertente direcionada ao lado nordeste, 37% norte e 25% para o sudeste. Os Latossolos estão localizados predominantemente em encostas direcionadas para o Sudeste, com 40% e Oeste, também 40% do total de amostras. Os Neossolos estão distribuídos com 50% das amostras para o lado Sul e 50% para Sudeste.

O atributo aspecto não demonstrou ser um atributo determinante na relação com o predomínio das unidades de solos, visto que é um atributo que se torna menos significativo na relação com os solos, quando o gradiente de declividade é pequeno (MITASOVA e HOFIERKA, 1993; SIRTOLI 2008). As amostras de campo demonstraram que as vertentes orientadas para o sudeste, nos primeiros horizontes de identificação apresentaram matizes voltadas para o marrom (2,5 YR 4/3 – 4/4), e as faces voltadas para o norte e nordeste possuem cor mais avermelhada (entre 2,5 YR 4/6 – 4/8 a 5 YR 5/4), em concordância com Chagas (2006) e Sirtoli (2008).

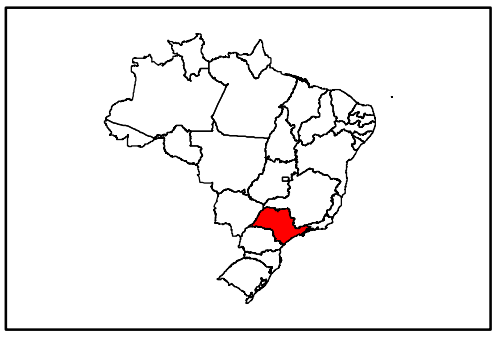
[44] A orientação da encosta (aspecto) é um atributo topográfico primário pouco explorado nos estudos das relações solo-paisagem no Brasil, talvez devido à dificuldade de obtenção pelo método tradicional da fotointerpretação, porém com uso de SIGs sua obtenção passou a ser um procedimento prático (CHAGAS, 2006).

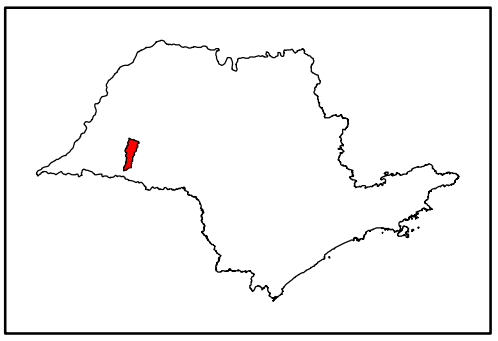
456000 464000 472000

7594000 7583000 7572000 7561000 7550000

N

Mapa 3: Hipsométrico de Presidente Prudente - SP





Legenda

- Perímetro urbano
- Malha urbana
- Drenagem

Classes hipsométricas (metros)

460 ⊢ 480	360 ⊢ 380
440 ⊢ 460	340 ⊢ 360
420 ⊢ 440	320 ⊢ 340
400 ⊢ 420	300 ⊢ 320
380 ⊢ 400	280 ⊢ 300

Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada
0 2 4 8
Km

Elaboração
Janaina Natali Antonio

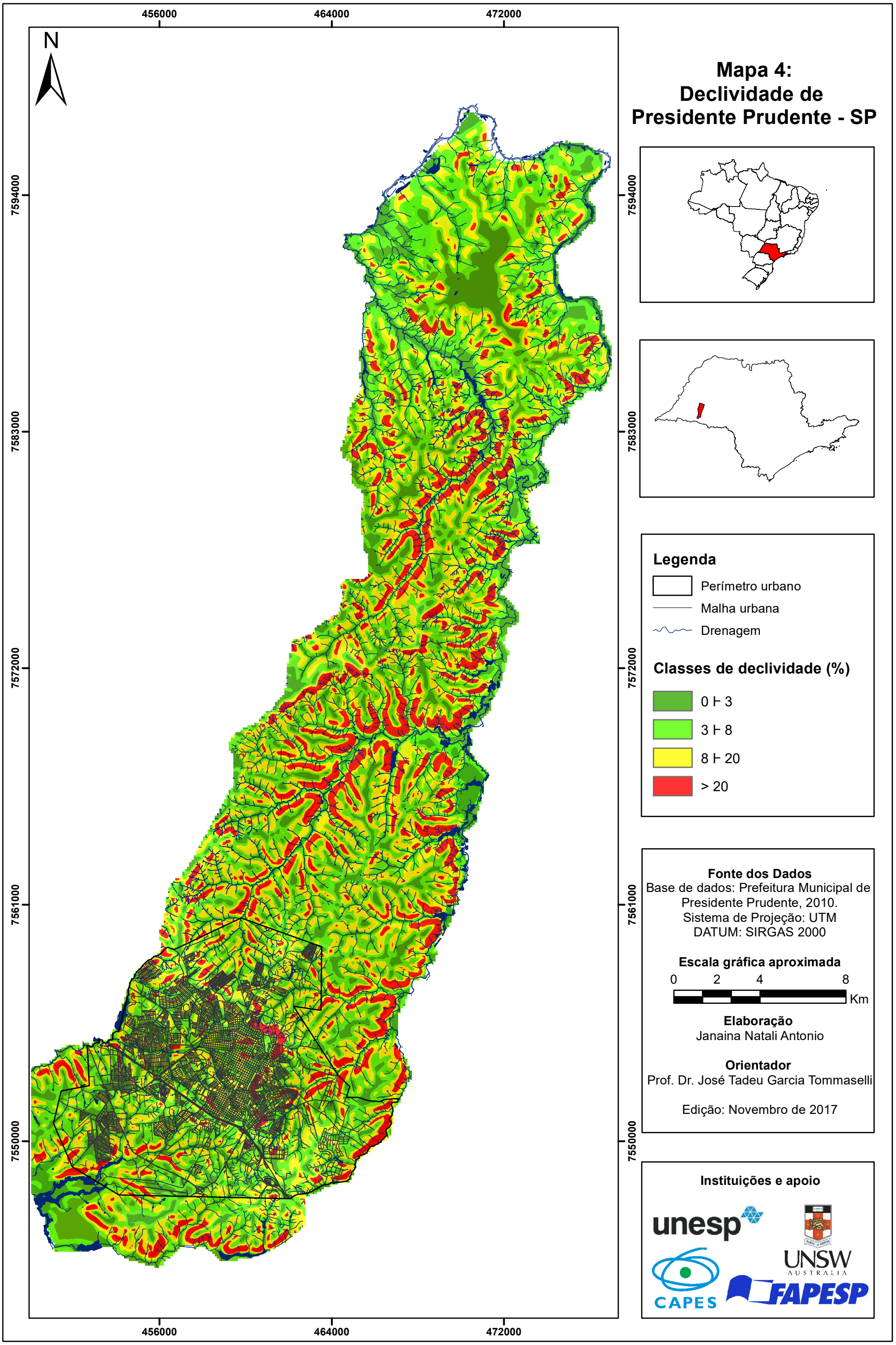
Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

Instituições e apoio

unesp UNSW AUSTRALIA CAPES FAPESP

Mapa 4: Declividade de Presidente Prudente - SP



Legenda

- Perímetro urbano
- Malha urbana
- Drenagem

Classes de declividade (%)

- 0 ⊢ 3
- 3 ⊢ 8
- 8 ⊢ 20
- > 20

Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada
0 2 4 8
Km

Elaboração
Janaina Natali Antonio

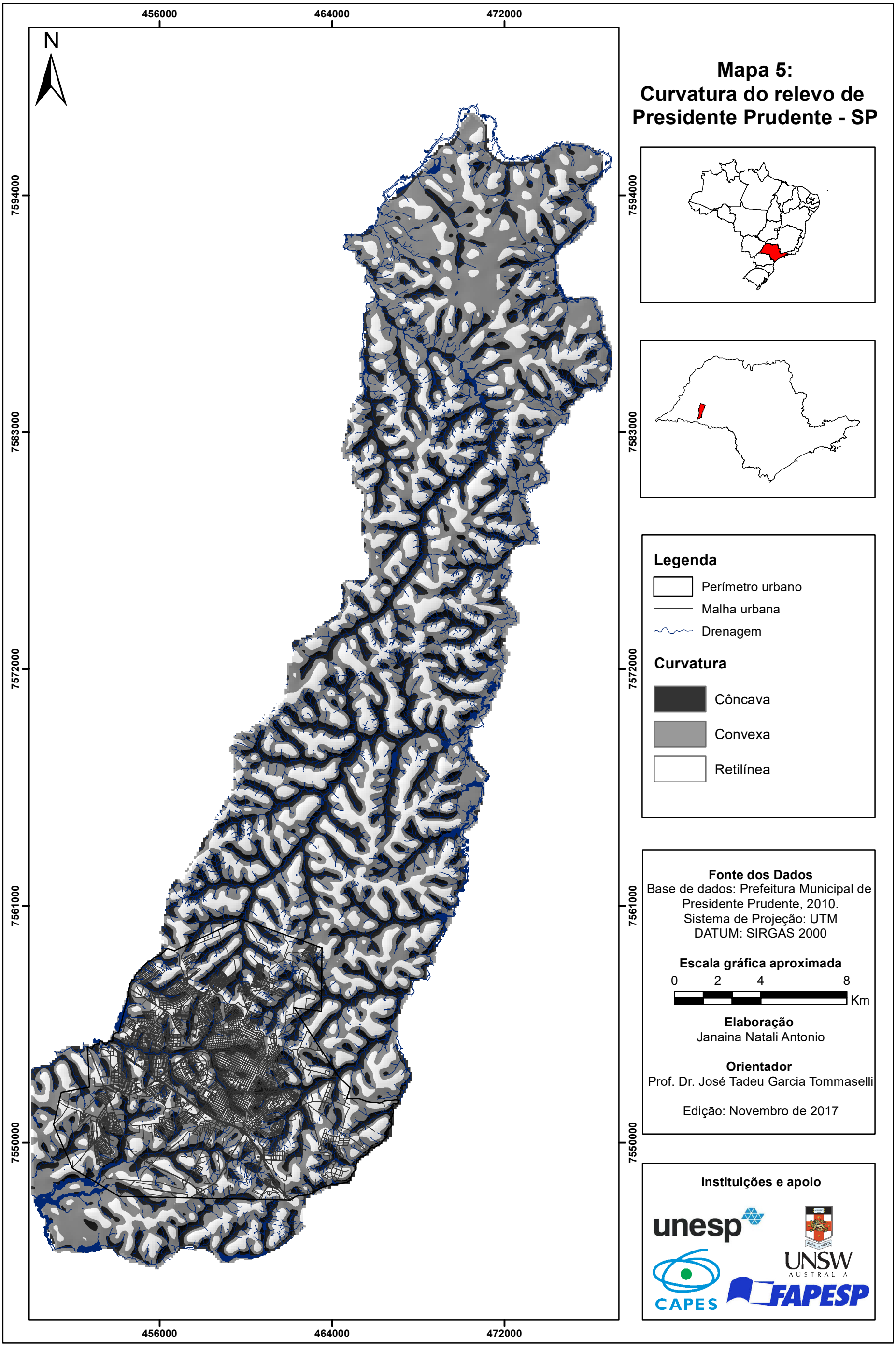
Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

Instituições e apoio

unesp · UNSW AUSTRALIA · CAPES · FAPESP

Mapa 5: Curvatura do relevo de Presidente Prudente - SP



Legenda

- Perímetro urbano
- Malha urbana
- Drenagem

Curvatura

- Côncava
- Convexa
- Retilínea

Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada
0 2 4 8
Km

Elaboração
Janaina Natali Antonio

Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

Instituições e apoio

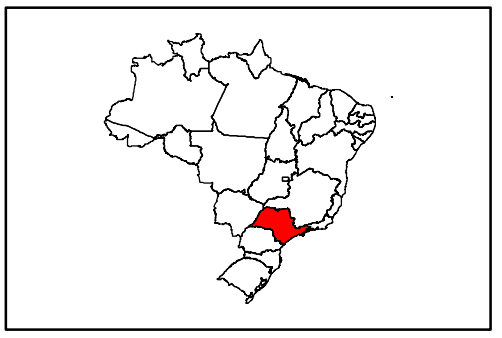
unesp
UNSW AUSTRALIA
CAPES
FAPESP

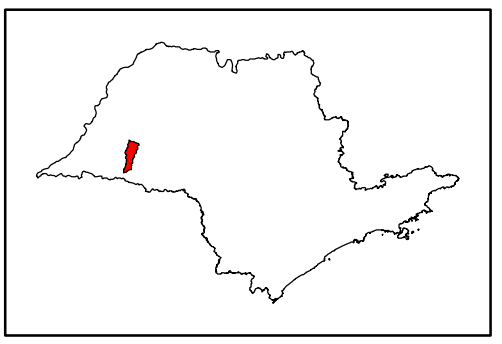
456000 464000 472000

7594000 7583000 7572000 7561000 7550000

N

Mapa 6: Geoformas de Presidente Prudente - SP





Legenda

- Perímetro urbano
- Malha urbana
- Drenagem

Curvatura

- Topo
- Alta vertente
- Média vertente
- Fundo de vale

Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada
0 2 4 8
Km

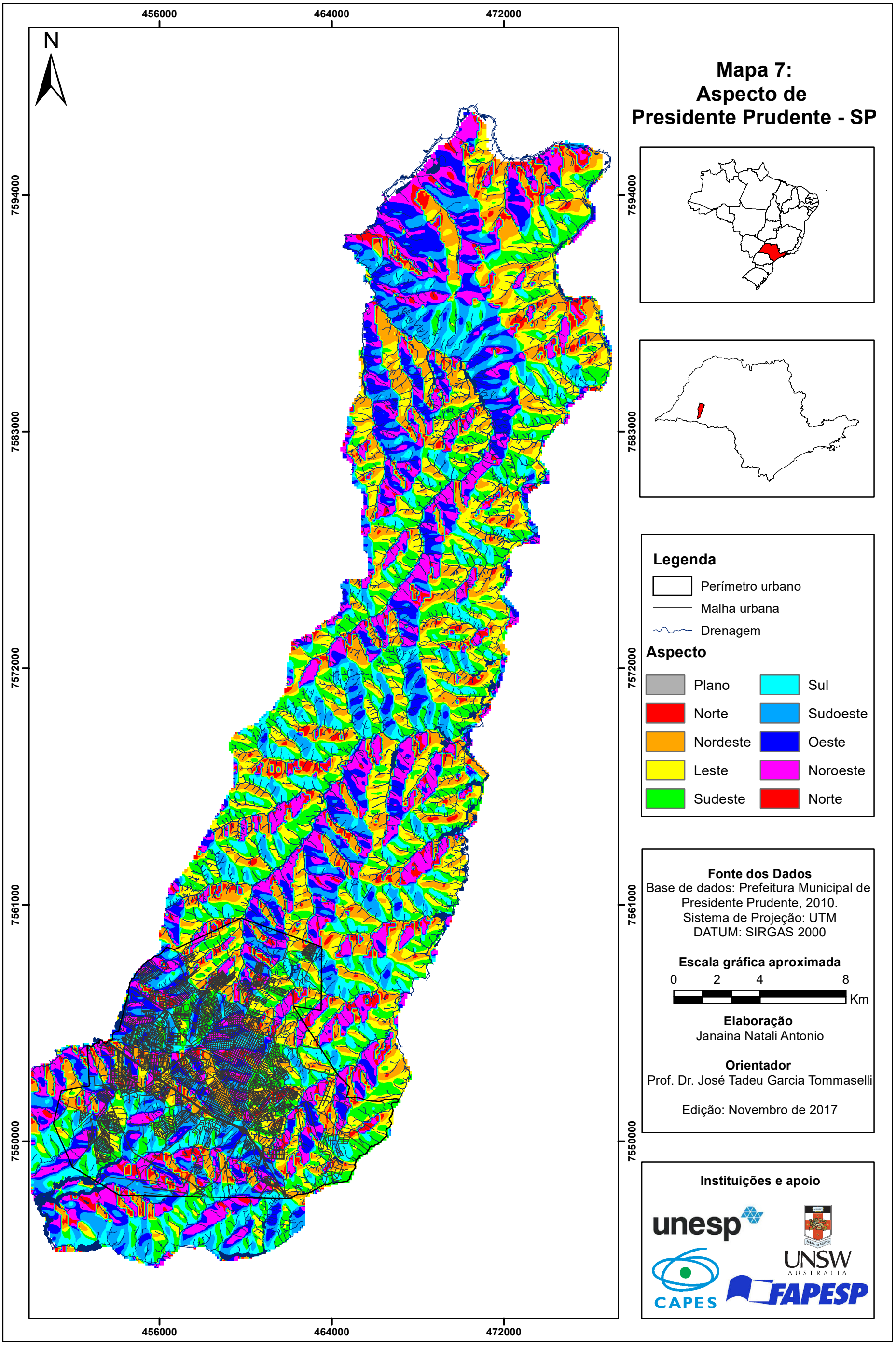
Elaboração
Janaina Natali Antonio

Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

Instituições e apoio

unesp UNSW AUSTRALIA CAPES FAPESP


456000
464000
472000
N
7594000
7583000
7572000
7561000
7550000
Mapa 7:
Aspecto de
Presidente Prudente - SP
Legenda
Perímetro urbano
Malha urbana
Drenagem
Aspecto
Plano
Norte
Nordeste
Leste
Sudeste
Sul
Sudoeste
Oeste
Noroeste
Norte
Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000
Escala gráfica aproximada
0 2 4 8
Km
Elaboração
Janaina Natali Antonio
Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli
Edição: Novembro de 2017
Instituições e apoio
unesp
UNSW
AUSTRALIA
CAPES
FAPESP

As elevações no município (Tabela 2), variam em torno de 280 a 480 metros, com amplitudes médias de 200 metros, sendo que 58% das áreas estão situadas nas altitudes entre 360 a 440 metros. As áreas com altitudes abaixo de 360 metros representam 30%, enquanto que as acima de 440 representam 12%. As menores altitudes estão localizadas na área norte e as maiores na área sul, onde está situada a área urbana do município.

A orientação das vertentes (aspecto) é bem distribuída e com poucas variações (Tabela 2) sendo que 14% são inclinadas na direção Leste; as direções Sudeste, Sul, Sudoeste representam 10% da área cada; as direções Oeste, Noroeste e Plana representam 11% cada; as direções Norte e Nordeste representam 12% cada. Portanto, este atributo, por possuir distribuição homogênea teve baixa influência de reconhecimento de padrões de distribuição dos tipos de solos.

Os resultados obtidos para o perfil da curvatura (Tabela 2) mostram que 43% das vertentes no município são retilíneas, 31% são vertentes convexas e 26% côncavas. O mapa de geoformas apresenta como áreas predominantes as médias vertentes com 29% e altas vertentes com 28%, seguidas pelas áreas de topo que representam 23% e pelos fundos de vale, representando 20% da área total. Enquanto as declividades suaves onduladas representam 31% e as onduladas representam 34% do total da área, as baixas declividades, planas, totalizam 21% e as altas, de relevo forte ondulado, representam 14%.

Tabela 2: Tamanho da área e percentual das classes de atributos do relevo e solos no município de Presidente Prudente – SP

Atributos do relevo		**Área**	
		(m²)	**(%)**
Elevação (m)	280 - 300	2059	4
	300 - 320	3818	8
	320 - 340	4282	9
	340 - 360	4635	9
	360 - 380	7164	14
	380 - 400	8286	16
	400 - 420	6951	14
	420 - 440	7052	14
	440 - 460	4100	8
	460 - 480	2007	4
Declividade (%)	0 – 3	10355	21
	3 – 8	17372	34
	8 – 20	15843	31
	> 20	6784	14
Curvatura	Côncava	12956	26
	Convexa	15401	31
	Retilínea	21997	43
Geoformas	Topo	10673	23
	Alta vertente	12589	28
	Média vertente	12217	29
	Fundo de vale	14875	20
Aspecto	Plano	5342	11
	Norte	5889	12

Nordeste	6108	11
Leste	6968	14
Sudeste	5230	10
Sul	4819	10
Sudoeste	5171	10
Oeste	5527	11
Noroeste	5300	11

Fonte: elaboração própria, 2017.

As Tabelas 3 e 4 mostram que os Argissolos estão predominantemente associados às declividades de 0 – 3%, mas também presentes nas declividades de 3 – 8% e 8 – 20%, posições hipsométricas de 420 e 440 metros e pertencentes ao domínio de vertentes retilíneas em áreas de altas vertentes, orientadas para as direções Norte e Nordeste. Os Latossolos predominam nas áreas de declividades de 3 a 8%, em altitudes médias de 460 a 480 metros, em curvaturas retilíneas e localizadas no topo e nas altas vertentes, orientadas para Sudeste e Oeste.

Tabela 3: Relação das classes de atributos do relevo com as classes as unidades de solos classificadas

Atributos do relevo	Classes de atributos	Percentual de ocorrência das classes de atributos do relevo derivados nas amostragens de solos			
		Argissolos	Latossolos	Neossolos	% total de atributos
Elevação (m)	380 - 400	12	0	0	4
	400 - 420	38	17	50	35
	420 - 440	50	33	0	28
	460 - 480	0	50	50	33
Declividade (%)	0 – 3	37	20	0	19
	3 – 8	25	60	0	28
	8 – 20	25	0	50	25
	> 20	13	20	50	28
Curvatura	Côncava	12	0	0	4
	Convexa	38	40	100	59
	Retilínea	50	60	0	37
Geoformas	Topo	37	40	0	26
	Alta vertente	50	40	0	30
	Média vertente	0	20	100	40
	Fundo de vale	13	0	0	4
Aspecto	Norte	37	0	0	12
	Nordeste	38	0	0	13
	Sudeste	25	40	50	38
	Sul	0	0	50	17
	Oeste	0	40	0	13
	Noroeste	0	20	0	7

Fonte: elaboração própria, 2017.

Os Neossolos estão localizados em posições hipsométricas de 400 – 420 e de 460 – 480 metros, predominantemente em áreas com altas declividades, de acordo com as características do município, nas classes de 8 a 20% e acima de 20%. E localizados nas

áreas de predomínio das vertentes convexas e médias vertentes orientadas para as direções Sudeste e Sul, conforme dados das Tabelas 3 e 4.

Tabela 4: Unidades de solos e atributos do relevo predominantes nos pontos de amostragem

Unidade de Mapeamento	Elevação (m)	Declividade (%)	Curvatura	Geoformas	Orientação
Argissolos	420 – 440	0 – 3	Retilínea	Alta vertente	Norte/Nordeste
Latossolos	460 - 480	3 – 8	Retilínea	Topo/Alta vertente	Sudeste/Oeste
Neossolos	400 – 420 460 - 480	8 – 20 > 20	Côncava	Média vertente	Sudeste/Sul

Fonte: elaboração própria, 2017.

Fushimi e Nunes (2012) identificaram como principais características dos Latossolos Vermelhos a presença em áreas de topos suavemente ondulados dos compartimentos das colinas convexadas e amplas, e em vertentes com extenso comprimento de rampa e morfologia retilínea, e posições hipsométricas que variam entre 400 a 480 metros em declividades médias de 0 a 10%. Para os Argissolos Vermelhos as principais ocorrências foram identificadas nas colinas de topos menos extensos e no domínio das vertentes convexo-côncavas e retilíneas em declividades aproximadas de 5 a 20%. Os Neossolos Regolíticos foram predominantemente encontrados em vertentes íngremes com declividades acima de 20%. Nos fundos de vales, com altitudes em média de 290 a 340 metros, identificou-se a presença de solos hidromórficos (Planossolos e Gleissolos) e de depósitos sedimentares de origem antrópica, ou seja, depósitos tecnogênicos. Nesses locais, as declividades médias variam entre 0 a 5%.

CONSIDERAÇÕES

A utilização de modelos de paisagem que relacionam atributos do relevo com características do solo foi realizada com sucesso apresentando resultados promissores para o levantamento e a classificação de solos. Esses modelos apresentam-se como uma alternativa eficiente nos estudos das relações solo-paisagem, pois permitem vislumbrar o solo no sentido conceitual como corpo natural, ao mesmo tempo em que inter-relaciona todas as possíveis causas de variação de tipos (CHAGAS, 2012). Na área estudada foram observadas relações dos tipos de solos predominantes, principalmente ligadas a declividades e à posição no terreno, referente às geoformas.

Os Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos são solos originários de rochas areníticas, com cimentação calcária do Grupo Bauru (NUNES, 2002), portanto, são predominantes no município e podem ser encontrados em variadas posições de declive

desde relevos planos até os ondulados, com predominância nas áreas de relevo plano, no perfil de curvatura retilíneo e embora, nos pontos amostrados, predominem nas áreas de altas vertentes, podem ser encontrados em áreas de baixas vertentes e de topo, devido à sua predominância derivada do material de origem.

Os Latossolos são, em geral, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos, e sua ocorrência está, geralmente, relacionada às zonas que apresentam estação seca pronunciada, semiáridas ou não. São típicos das regiões equatoriais e tropicais, ocorrendo também em zonas subtropicais, distribuídos, sobretudo, por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos, normalmente em relevo plano e suave ondulado, embora possam ocorrer em áreas mais acidentadas, inclusive em relevo montanhoso. São originados a partir das mais diversas espécies de rochas e sedimentos, sob condições de clima e tipos de vegetação diversos (EMBRAPA, 2013). Os Latossolos presentes na área predominam nas baixas declividades, em geral, planas e suave onduladas, em vertentes retilíneas e nas áreas de topo ou de altas vertentes, relacionado ao fato de que há o predomínio de colinas amplas, onde prevalecem interflúvios com área superior a 4 km² de topos extensos e aplainados (NUNES, 2002).

Os Neossolos compreendem solos constituídos por material mineral ou orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, que podem impedir ou limitar a evolução dos solos (EMBRAPA, 2013). Em geral, as declividades de relevo ondulado e forte ondulado em alguns casos, em vertentes convexas e localizados na porção das médias vertentes e altas vertentes.

Por meio da tabulação cruzada dos dados, foi possível constatar as relações existentes entre os tipos de solos, e amplamente discutidas na literatura, principalmente entre os solos desenvolvidos e mais profundos em áreas de relevo plano e suave ondulado, e quantos os solos rasos estão relacionados as áreas de relevos ondulados e forte ondulados. Os dados levantados, portanto, confirmam a existência da ocorrência de padrões de tipos de solos e relevo e serão utilizados para a elaboração de um mapa preditivo de solos utilizando redes neurais artificiais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. de. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, São Paulo, n. 41, 1964.

ALVES, M. R. **Múltiplas técnicas no mapeamento digital de solos**. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008.

AZEVEDO, A. C. de e DALMOLIN, R. S. D. **Solos e ambiente**: uma introdução. Palloti, Santa Maria, 2006.

BOCKHEIM, J. G. GENNADIYEV, A.N., HAMMER, R.D., TANDARICH, J.P. Historical development of key concepts in pedology. Geoderma , v. 124 p. 23–36, 2005.

BURROUGH, P. A.; BOUMA, J.; YATES, S. R., The state of the art in pedometrics. **Geoderma,** v. 62, p. 311-326, 1994.

CAMPOS, M. C. C. Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. **Ambiência**. Guarapuava (PR) v.8 n.3 p. 963 – 982, 2012.

CARRÉ, F. e McBRATNEY, A. B. Digital *terron* mapping. **Geoderma** 128, p. 340 - 353, 2005.

CHAGAS, C. da S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de Mar de Morros.** Tese (Programa de pós-graduação em solos e nutrição de plantas). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2006.

CHAGAS, C. da S., FERNANDES FILHO, E. I. BHERING, S. B. Relação entre atributos do terreno, material de origem e solos em uma área no noroeste do estado do Rio de Janeiro. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 25 n. 1, p. 147-162, 2013.

DEMATTÊ, J. L. I.; MAZZA, J. A.; DEMATTE, J. A. M. Caracterização e gênese de uma topossequência de Latossolo Amarelo-Podzol originado de material da Formação Barreiras - Estado de Alagoas. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.53, p.20-30, 1996.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Rio de Janeiro, 2013.

EVANS, J. **ArcGis geomorphometry e gradient metrics.** In: Quantitative methods in spatial ecology. Disponível em: http://evansmurphy.wix.com/evansspatial#!arcgis-gradient-metrics-toolbox/crro, 2016.

FUSHIMI, M. e NUNES, J. O. R. Geomorfologia do município de Presidente Prudente - SP, Brasil. **Revista Geográfica de América Central**. Número Especial EGAL, 2011, Costa Rica II Semestre 2011 p. 1-16.

FUSHIMI, M. e NUNES, J. O. R. Principais classes de solos do município de Presidente Prudente - SP: identificação e caracterização. **Boletim goiano de geografia**. Goiânia, v. 32, n. 1, p. 45-58, jan./jun. 2012

FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares nas áreas rurais do município de Presidente Prudente - SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente - SP, 2012.

HEUVELINK, G. B. M. The definition of pedometrics. **Pedometron**, n. 14, p. 2-3, Gainesville, 2003.

IPPOLITI, G. A. R.; COSTA, L. M. da; SCHAEFER, C. E. G. R., FERNANDES FILHO, E. I.; GAGGERO, M. R. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de "mar de morros" (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 29, núm. 2, pp. 269-276, 2005.

KLINGEBIEL, A. A.; HORVATH, E. H.; REYBOLD, W. U.; MOORE, D. G.; FOSNIGHT, E. A.; LOVELAND, T. R. **A guide for use of digital elevation model data for making soil surveys.** Siox Falls, South Dakota, 1988.

LEMOS, R. C. de. e SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Sociedade Brasileira do Solo, Campinas, 1996.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

MaCMILLAN, R. A e PETTAPIECE, W. W. **Soil landscape models**: automated landscape characterization and generation of soil-landscape models. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Canada, 1997.

MaCMILLAN, R. A e SHARY, P. A. Landforms and landform elements in geomorphometry. In: HENGL, T. e REUTER, H. I. **Geomorphometry**: Concepts, software, applications. Developments in soil science, volume 33, Elsevier, 2009

MARTINS, E. de S., CARVALHO JUNIOR, O. A. de, SOUZA, V. V. de, COUTO JUNIOR, A. F., OLIVEIRA, S. N. de, GOMES, R. A. T., REATTO, A. Relação solo-relevo em vertentes assimétricas no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, RJ. **Revista Brasileira de** Geomorfologia, v.8, n.1, p.45-62, 2007.

MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping particularly for East African soils. Londres, **Soil Research,** v. 4, n. 2, p.183-98, 1934.

MITASOVA, H.; HOFIERKA, J. Interpolation by Regularized spline with tension: II. application to terrain modeling and surface geometry analysis. **Mathematical Geology**, v.25, p.657-671, 1993.

MOORE, I. D., GESSLER, P. E., NIELSEN, G. A., PETERSON, G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.443-452, 1993.

NUNES, J. O. R. **Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada a escolha de áreas para construção de aterro sanitário em Presidente Prudente - SP.** Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente - SP, 2002.

OLIVEIRA, J. B. de. **Solos do Estado de São Paulo:** descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: Instituto Agronômico, 1999.

QUEIROZ-NETO, J. P. de. Análise estrutural da cobertura pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 15 p. 77–90, 2002.

WILSON, J. P. & GALLANT, J. C. Digital terrain analysis. In: WILSON, J. P. e GALLANT, J. C. (eds.). **Terrain analysis: principles and applications**. New York: John Wiley e Sons, 2000.

REUTER, H. I. E NELSON, A. Geomorphometry in ESRI Packages. In: HENGL, T. e REUTER, H. I. **Geomorphometry**: Concepts, software, applications. Developments in soil science, volume 33, Elsevier, 2009.

SOUSA JUNIOR, J. G. de A. e DEMATTÊ, J. A. M. Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, V. 32, p. 449-456, 2008.

SIRTOLI, A. E. **Mapeamento de solos com auxílio da geologia, atributos do terreno e índices espectrais integrados por redes neurais artificiais**. (Tese de Doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

STABILE, R.A. e VIEIRA, B. C. Características Morfológicas das Feições Erosivas da Bacia Água da Faca, Piratininga (SP): Considerações Preliminares. **Anais...** In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, Recife, 2010.

VALERIANO, M. de M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v.7, n.3, p.539-546, 2003.

VALERIANO, M. de M. e CARVALHO JUNIOR, O. A. de. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 4, nº 1, p. 17-29, 2003.

ARTIGO 3

4. INTEGRAÇÃO DE ATRIBUTOS DO RELEVO PARA O MAPEAMENTO PREDITIVO DE SOLOS COM USO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Resumo: Este artigo tem como objetivo apresentar o mapeamento preditivo de solos do município de Presidente Prudente – SP por meio da utilização de redes neurais artificiais (RNA) e da integração de atributos do relevo. A compreensão da relação existente entre os solos e os atributos do relevo derivados de um modelo digital de elevação (MDE) forneceu informações para relacionar os principais padrões de ocorrência de tipos de solos aos atributos de elevação, declividade, perfil de curvatura do relevo, geoformas e aspecto. Entre as variáveis utilizadas para o mapeamento preditivo dos solos, as que tiveram destaque foram a declividade e as geoformas, apresentando similaridade de padrão de ocorrência. Considerando que as áreas de ocorrência dos Neossolos estão principalmente relacionadas às áreas de declividades de 20% ou acima, os Latossolos têm padrão de ocorrência nas áreas com declividades inferiores a 8%, enquanto os Argissolos variam em declividades médias acima de 3% e abaixo de 20% e os solos hidromórficos (Gleissolos e Planossolos) estão localizados nos fundos de vale com declividades abaixo dos 3%. As RNAs se mostraram uma técnica eficiente para o delineamento das unidades de solos, bastante semelhante ao mapa delineado de forma convencional, e permitiram a identificação de componentes da paisagem por meio do estabelecimento de padrões gerados a partir das coletas de amostras.

Palavras-chave: mapeamento de solos, atributos do relevo, redes neurais artificiais, modelo digital de elevação.

4.1. INTRODUÇÃO

As relações entre os solos e a paisagem são a base do mapeamento de solos. Tradicionalmente[45], utiliza-se a análise estereoscópica de fotografias aéreas para o delineamento manual das unidades de solo/paisagem que, posteriormente, são constatadas no trabalho de campo. A análise digital do terreno introduz algumas vantagens em relação ao método tradicional para a separação dessas unidades, sendo uma alternativa rápida e econômica que pode ser aplicada para a quantificação e a classificação do relevo, permitindo a definição automática ou semiautomática das unidades morfológicas da paisagem (IPPOLITI et al., 2005).

A utilização de sensores remotos mais apropriados, em termos de escala e resolução, aliada à intensificação dos trabalhos de campo, proporcionam melhora considerável no produto do mapeamento, visto que os levantamentos detalhados são mais onerosos e requerem mais tempo de execução e capital investido (IBGE, 2007). O advento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitiu a modelagem matemática do relevo e a integração de dados discretos e contínuos distribuídos na paisagem, integrando os

[45]Lima (2013).

fatores ambientais por meio de técnicas geoestatísticas, também designados como mapeamento digital de solos (MARTINS et al., 2007).

Essa abordagem não prescinde de estudos de campo, mas auxilia na escolha de áreas representativas para estudos detalhados e posteriormente na extrapolação dos dados por meio de modelagem (SOMMER e SCHLICHTING, 1997; MARTINS et al., 2007). O desenvolvimento de técnicas nas áreas de geoprocessamento e sensoriamento remoto contribui para o levantamento de solos, gerando e integrando informações na elaboração de mapas de solos de maneira mais rápida e menos onerosa do que com métodos tradicionais, porém sempre mantendo um nível de comprovação da veracidade dos mapas por intermédio dos trabalhos de campo.

Estudos na área de Pedometria[46] são realizados com auxílio de metodologias quantitativas para a realização de mapeamentos semiautomáticos. Zhu et al. (2010) realizaram a previsão de propriedades do solo utilizando a lógica *fuzzy* e a regressão linear múltipla. Klingebiel et al. (1988) consideraram a relação existente entre a elevação do terreno e as características da paisagem e de solos durante os mapeamentos.

Rosa (2012) realizou estudo para analisar as funções de predição espacial de solos (FPESe) na região central do Rio Grande do Sul utilizando modelos de regressão linear múltiplos construídos com os atributos do terreno, elevação, índice de convergência e índice de potência de escoamento. As FPESe explicaram mais da metade da variância de dados com desempenho semelhante ao do mapeamento tradicional de solos, sendo que as áreas com maior incerteza ocorrem nas áreas de maior heterogeneidade geológica, de forma que as predições poderiam ser melhoradas com dados geológicos acurados.

McBratney et al. (2000) utilizaram diferentes técnicas pedométricas e uma variedade de dados auxiliares, utilizando as abordagens de CLOPORT[47], geoestatísticas e métodos não-lineares, como modelos de regressão e classificação e RNA, gerando um método híbrido. Dobos et al. (2000) propõem o mapeamento regional de solos mediante a combinação de um modelo digital de elevação e dados radiométricos de satélites. Burrough et al. (1994) apresentaram discussão sobre variação temporal e espacial dos solos sob três aspectos: (i) a teoria, (ii) as aplicações e (iii) as ferramentas indicadas para o estudo

[46] A aplicação de matemática e métodos estatísticos para a modelagem quantitativa dos solos, com o objetivo de analisar a sua distribuição, propriedades e comportamento (HEUVELINK, 2003).

[47] Ao utilizar métodos de levantamentos e mapeamento de solos, há uma abordagem clássica, conhecida como o método CLORPT, estabelecida por Dokuchaev nos primórdios da Ciência do Solo, a qual estabelece que o solo é o resultado da interação entre cinco fatores: clima (Climate - Cl), organismos (Organisms - O), relevo (Relief – R), material de origem (Parent material - P) e tempo (Time – T). Os quatro primeiros fatores, interagindo no tempo, criam uma série de processos específicos que levam à diferenciação em horizontes e, consequentemente, à formação do solo. Esse método foi implementado por Jenny em 1941 (EMBRAPA, 2003).

de variabilidades dos solos, modelagem e programas estatísticos que podem ser utilizados para os levantamentos de solos.

Alves (2008) realizou o mapeamento de solos integrando informações obtidas por sensoriamento remoto e geoprocessamento – imagens Landsat TM 5 –, obtendo resultados satisfatórios na estimativa de atributos e grupos texturais do solo e índices de relevo. A aplicação de modelos de paisagem com vistas à compreensão do comportamento dos atributos do solo apresenta-se como uma alternativa eficiente nos estudos das relações solo-paisagem, pois esses modelos permitem vislumbrar o solo no sentido conceitual como corpo natural, ao mesmo tempo em que inter-relaciona todas as possíveis causas de variação (CAMPOS, 2012).

Ippoliti et al. (2005) elaboraram um mapa síntese preliminar de distribuição de pedoformas que auxiliou no mapeamento de solos e se mostrou uma alternativa rápida e econômica em comparação ao delineamento manual a partir da análise estereoscópica de fotografias aéreas. O principal mérito do método descrito foi a maior eficiência obtida no trabalho de campo após a realização de uma classificação digital preliminar em virtude de um modelo de ocorrência de solos previamente conhecido, porém os autores destacaram a importância dos trabalhos de campo para realizar ajustes necessários.

É clara, portanto, a eficiência que os mapeamentos digitais têm demonstrado através de bons resultados com menores custos e de forma mais rápida que os mapeamentos tradicionais, e a relação existente entre os atributos do relevo e as características dos solos.

4.2. O USO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA O MAPEAMENTO DE SOLOS

O aumento da complexidade e do volume de problemas a serem resolvidos computacionalmente tornou clara a necessidade de ferramentas computacionais mais sofisticadas que pudessem reduzir a necessidade de intervenção humana, que fossem capazes de aprender a partir da experiência passada, como na abordagem de Inteligência Artificial em que a capacidade de aprendizado é considerada essencial (FACELI et al., 2011).

As RNAs fazem parte do ramo da Inteligência Artificial (RIBEIRO, 2003) e se baseiam em modelos matemáticos e de engenharia baseados em neurônios biológicos (KOVÁCS, 2002), permitindo que informações lógicas ou valores numéricos possam ser processados para gerar um dado de saída (RIBEIRO, 2003). Para realizar este processamento o conhecimento é adquirido pela RNA através do processo de

aprendizagem e armazenados pela conexão entre os neurônios, conhecidas como pesos sinápticos (HAYKIN, 2001).

As vantagens do uso de sistemas inteligentes são que estes possuem características semelhantes, tais como: paralelismo massivo, representação e computação distribuídas, habilidade de generalização, adaptabilidade, processamento de informações contextual inerente, tolerância a falhas (ROSA, 2011), alta versatilidade (VIEIRA e ROISENBERG, 2008), velocidade no processamento (SABO, 2006) e reconhecimento de padrões com uma quantidade pequena de amostras de treinamento (RIBEIRO, 2003).

O funcionamento da RNA é determinado pela conexão entre as unidades de processamento. É possível treinar uma rede para reproduzir uma função particular através do ajuste das conexões entre as unidades (RIBEIRO, 2003). A organização das RNAs em camadas é conhecida como topologia ou arquitetura de rede, as quais podem ser compostas por apenas uma camada simples ou por multicamadas formadas por várias camadas intermediárias (SABO, 2006). Uma RNA é formada por camada de entrada, camadas ocultas ou intermediárias e camada de saída, de acordo com o problema a ser resolvido.

A organização das RNA em camadas é conhecida como topologia ou arquitetura da rede, e podem ser compostas por apenas uma camada simples, ou por multicamadas, compostas por várias camadas intermediárias (SABO, 2006). Uma RNA é formada da seguinte forma:

• **Camada de entrada**: onde é feita a apresentação e distribuição dos dados a rede;

• **Camadas ocultas ou intermediárias**: onde é realizado o processamento dos dados, por meio das conexões ponderadas;

• **Camada de saída:** onde é realizada a conclusão e apresentação dos resultados finais.

O exemplo de um neurônio simples com três entradas (X1, X2, X3) e seus respectivos pesos (W1, W2, W3) e com uma única saída (Y) de dados, é descrito na Figura 11.

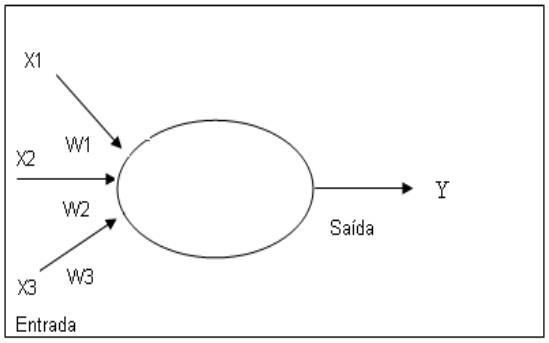


Figura 11: Exemplo de um neurônio.
Fonte: Ribeiro, 2003.

De acordo com Souza (2006), no treinamento supervisionado a saída obtida é comparada com um vetor de saída desejado (o qual foi inicialmente apresentado à rede) e um erro é calculado a partir dessa diferença. Os pesos atribuídos para cada entrada são atualizados conforme o algoritmo é usado, para minimizar este erro. O aprendizado supervisionado, portanto conta com uma estrutura de adaptação dos pesos com objetivo de encontrar a menor diferença entre a saída esperada e a obtida.

Com a utilização desta metodologia é possível avaliar padrões associados aos tipos de rochas, formas do terreno, textura do solo, condições da rede de drenagem, suscetibilidade ao escoamento e materiais inconsolidados sobre as rochas, já que os componentes da natureza não podem ser entendidos se estudados isoladamente (RIBEIRO, 2005). As RNA vêm sendo utilizadas com sucesso em análises ambientais, na linha das técnicas quantitativas que são utilizadas em Pedometria[48], em grande parte dos casos com a finalidade de realizar a predição de classes de solos com maior rapidez e precisão, e com custos mais baixos, obtendo bons resultados em trabalhos recentes.

Zhu (2000) desenvolveu uma abordagem de RNA para preencher um modelo de similaridade de solo, projetada para representar a paisagem do solo como contínuos espaciais para modelagem, no oeste de Montana – EUA. Os dados de entrada foram um conjunto de fatores ambientais formativos do solo e os dados de saída um conjunto de valores de classes de solo prescritas. O estudo de caso mostrou que a informação espacial do solo derivada da abordagem de RNA revela maiores detalhes espaciais e possui qualidade superior à derivada do mapa de solo convencional.

Chagas (2006) realizou um estudo para avaliar a utilização de atributos do terreno e dados de sensores remotos utilizando RNA para a predição de classes de solos no

[48] A aplicação de matemática e métodos estatísticos para a modelagem quantitativa do solos, com o objetivo de analisar a sua distribuição, propriedades e comportamento (HEUVELINK, 2003).

noroeste do Rio de Janeiro – BR. Sua avaliação foi baseada no conceito solo-paisagem e testou diferentes combinações entre as variáveis: geologia, elevação, declividade, aspecto, plano de curvatura, índice de umidade e três índices derivados de uma imagem do sensor ETM+ Landsat-7. Seus resultados mostraram que o mapa gerado por RNA obteve desempenho superior ao dos mapas produzidos pelo método convencional e pelo classificador MAXVER.

Sirtoli (2008) utilizou RNA para a predição de unidades de solos com a utilização de atributos do terreno e índices espectrais. Realizou testes com conjuntos das variáveis ambientais: geologia, declividade, aspecto, elevação, perfil e plano de curvatura, radiação solar anual incidente, índice de umidade, índice de capacidade de transporte de sedimentos, índice de corrente de máximo fluxo, *NDVI* e teor de óxidos de ferro na área da Formação Guabirotuba em Curitiba – BR. Os mapas delineados por RNA apresentaram resultados semelhantes aos do mapa delineado de forma convencional, porém com mais detalhes espaciais, e permitiu identificar pequenos componentes na paisagem difíceis de serem caracterizados pelo mapeamento convencional.

Arruda (2012) utilizou RNA e outras técnicas digitais para obtenção de mapas de solos no município de Barra Bonita – BR com as variáveis do relevo: declividade, elevação, perfil de curvatura, plano de curvatura e índice de convergência derivados, MDE, e informações de geologia e superfícies geomórficas. Os resultados indicaram a mesma disposição de solos nos mapas digitais em relação aos convencionais. Entre os atributos do terreno, os que exibiram maior influência na distinção de solos foram a elevação e a declividade, confirmando a possibilidade de se obter mapas digitais de solos com uso de variáveis ambientais que expressem a relação solo-paisagem.

As RNAs são aplicadas com sucesso em análises ambientais utilizadas em Pedometria, com finalidade de predição de classes de solos com maior rapidez e precisão, além de custos mais baixos que em mapeamentos convencionais e, por isso, há um crescente aumento no número de trabalhos nessa área.

4.3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

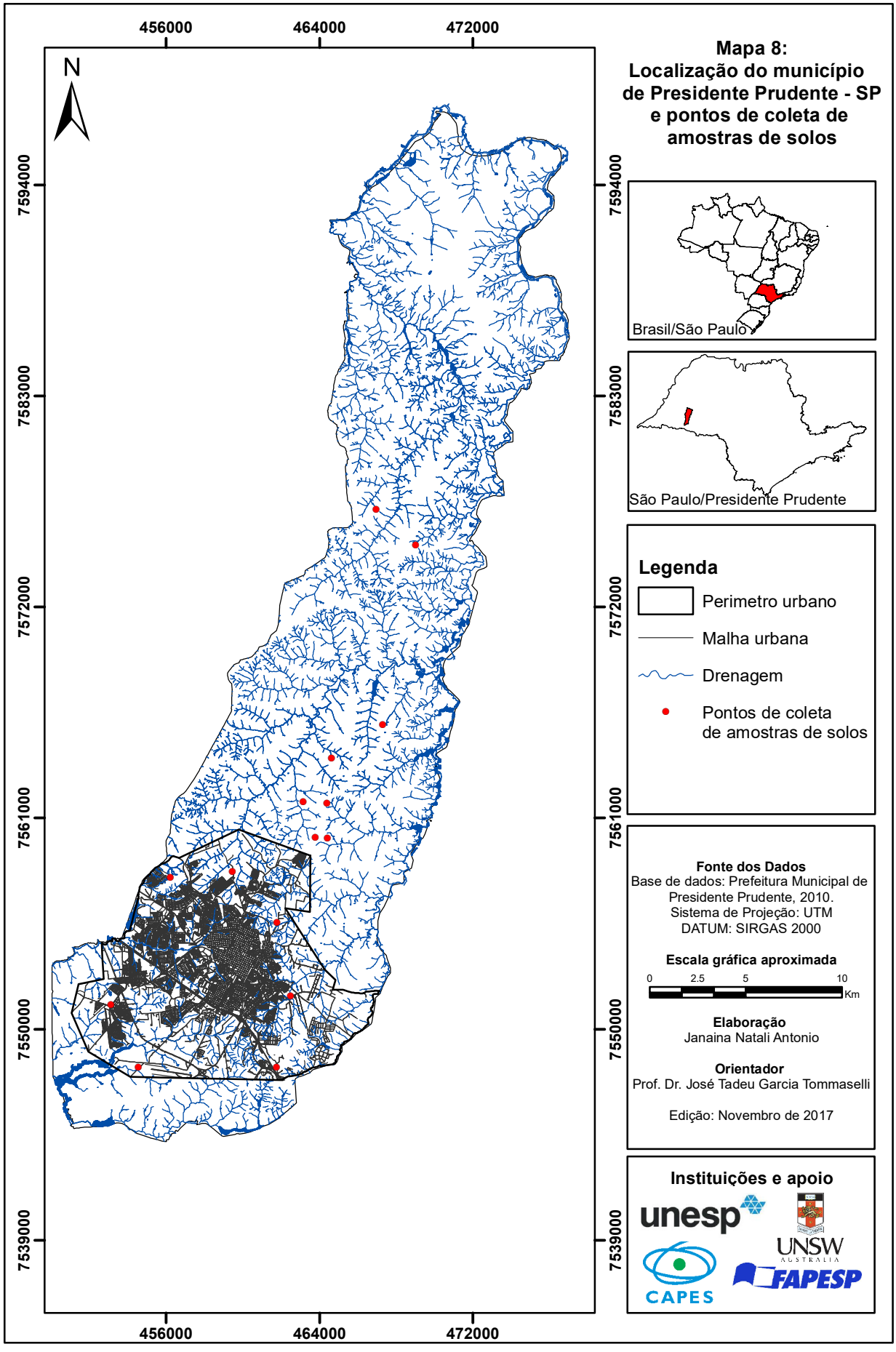
4.3.1. Área de estudo

A área do município de Presidente Prudente – SP, apresentada na Figura 18, é composta por rochas sedimentares da Formação Adamantina, pertencente ao Grupo Bauru, que abrange uma vasta área no Oeste Paulista, Planalto Ocidental, exceto nas áreas mais rebaixadas dos vales dos principais rios (IPT, 1981).

As principais formas de relevo na região são as colinas médias, colinas alongadas e espigões, sendo que nas colinas médias as declividades são baixas (até 15%), com amplitudes inferiores a 100 metros, e nas colinas alongadas e espigões as amplitudes também se apresentam menores que 100 metros, porém as declividades são, em sua maioria acima de 15%, apresentando relevo dissecado associado aos arenitos com cimentação carbonática da Formação Adamantina (IPT, 1981). A localização do município é apresentada na Figura 18.

Oliveira (1999) identificou na região do Oeste Paulista oito tipos de solos: os Argissolos Vermelho-Amarelos; os Argissolos Vermelhos; os Latossolos Vermelhos; os Nitossolos Vermelhos; os Gleissolos Háplicos; os Neossolos Quartzarênicos; os Neossolos Flúvicos; os Neossolos Litólicos. Os mais representativos da região de Presidente Prudente-SP são: solos desenvolvidos (Associação Latossolos), solos rasos a desenvolvidos (Associação Argissolos), solos rasos (Associação Neossolos) e solos hidromórficos (Associação Planossolos e Gleissolos) (FUSHIMI, 2012). A localização do município e dos pontos de coleta de amostras[49] de solos é apresentada no Mapa 8.

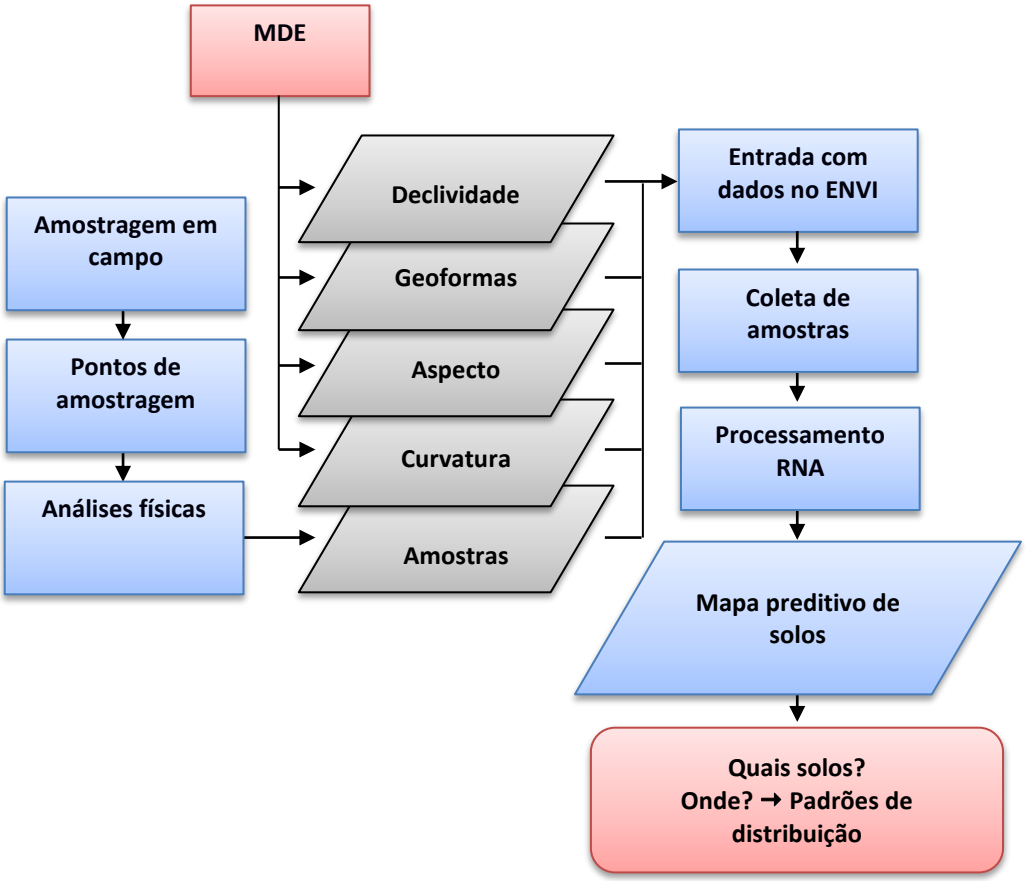
[49] A coleta de amostras de solos foi realizada seguindo os procedimentos indicados por Lemos e Santos (1996), e posteriores análises no Laboratório de Sedimentologia e Análise de Solos da FCT/UNESP, para identificação dos tipos de solo. Para a elaboração do mapa preditivo de solos foram adicionados 8 pontos de amostragem em áreas localizadas fora do perímetro urbano extraídos da dissertação de mestrado de Fushimi (2012).


456000
464000
472000
7594000
7583000
7572000
7561000
7550000
7539000
N
Mapa 8:
Localização do município
de Presidente Prudente - SP
e pontos de coleta de
amostras de solos
Brasil/São Paulo
São Paulo/Presidente Prudente
Legenda
Perimetro urbano
Malha urbana
Drenagem
Pontos de coleta
de amostras de solos
Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de
Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000
Escala gráfica aproximada
0
2.5
5
10
Km
Elaboração
Janaina Natali Antonio
Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli
Edição: Novembro de 2017
Instituições e apoio
unesp
UNSW
AUSTRALIA
CAPES
FAPESP

4.3.2. Elaboração de mapas com atributos do relevo

Para a elaboração do mapa preditivo de solos do município de Presidente Prudente – SP foram realizados os procedimentos indicados na Figura 12.

Figura 12: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 3



Fonte: elaboração própria, 2017.

A elaboração de um MDE da área de estudo foi o procedimento inicial para a obtenção dos modelos com características do relevo. Para a elaboração do MDE e dos mapas derivados, foram utilizados o *software* ArcGIS 10.2[50] e a base digital de curvas de nível[51]. Os atributos do relevo utilizados foram: elevação, perfil de curvatura, declividade, geoformas e aspecto[52], que combinados com os resultados das amostras texturais e morfológicas foram organizados por tabulação cruzada.

[50] ArcGis é uma marca registrada da ESRI Inc., Redlands, CA, EUA.

[51] Com equidistância de 10 metros, cedidas pela Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, na escala de 1:20.000.

[52] O mapa de aspecto corresponde ao de orientação das vertentes.

O mapa de curvatura do relevo teve suas categorias definidas após diversos testes para adequação dos tipos de curvatura às informações das curvas de nível. Foram definidas três classes (côncava, convexa e retilínea), com seleção de intervalo de -0,5% a +0,5% para a classe de vertentes retilíneas, com base em Valeriano (2003) e pela proximidade da delimitação feita manualmente em uma área de teste.

Para a elaboração do mapa de declividade, foram utilizados os parâmetros indicados pela EMBRAPA (2013), que propõe a utilização das seguintes classes de declividades: 0 – 3% (plano), 3 – 8% (suave ondulado), 8 – 20% (ondulado), 20 – 45% (forte ondulado), 45 – 75% (escarpado) e acima de 75% (montanhoso).

Para a elaboração do mapa das geoformas, foram utilizados os conceitos de Evans (2016) e Reuter e Nelson (2009), baseados em MacMillan e Pettapiece (1997), que consideram quatro tipos de geoformas: *Crest* – *Shoulder* (topo), *Upper* – *Mid Slope* (alta vertente), *Mid* – *Lower Slope* (média vertente) e *Toe* – *Depression* (fundo de vale).

O mapa de aspecto define a direção do fluxo de água e está relacionado diretamente com a evapotranspiração, insolação, teor de água no solo e, por consequência, o grau de evolução dos solos (MOORE et al., 1993; WILSON e GALLANT, 2000). A elaboração do mapa de aspecto foi baseada em Reuter e Nelson (2009).

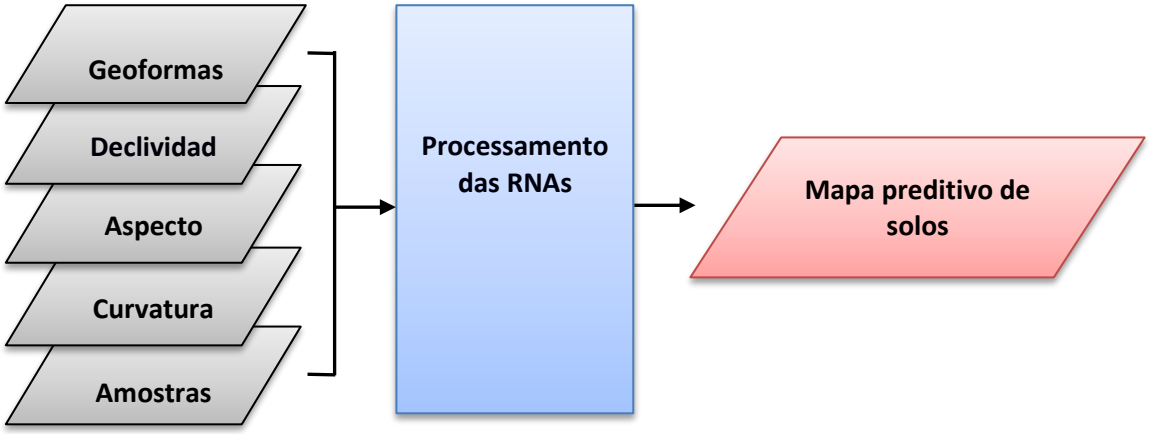
4.3.3. Processamento das variáveis do relevo e elaboração do mapa preditivo de solos

4.3.3.1. Variáveis de entrada

Para o processamento do mapa preditivo de solos, foram utilizadas as variáveis de entrada: declividade, geoformas, aspecto e curvatura, das quais os dados foram agrupados em arquivo único, com 5, 4 e 3 bandas, para a coleta de amostras de treinamento e processamento das RNAs. A Figura 13 exibe o diagrama de blocos explicando a sequência realizada para o processamento das RNAs[53].

[53] O processamento das RNAs foi realizado no Software ENVI 4.4. ENVI é marca registrada da Better Solutions Consulting, LLC.

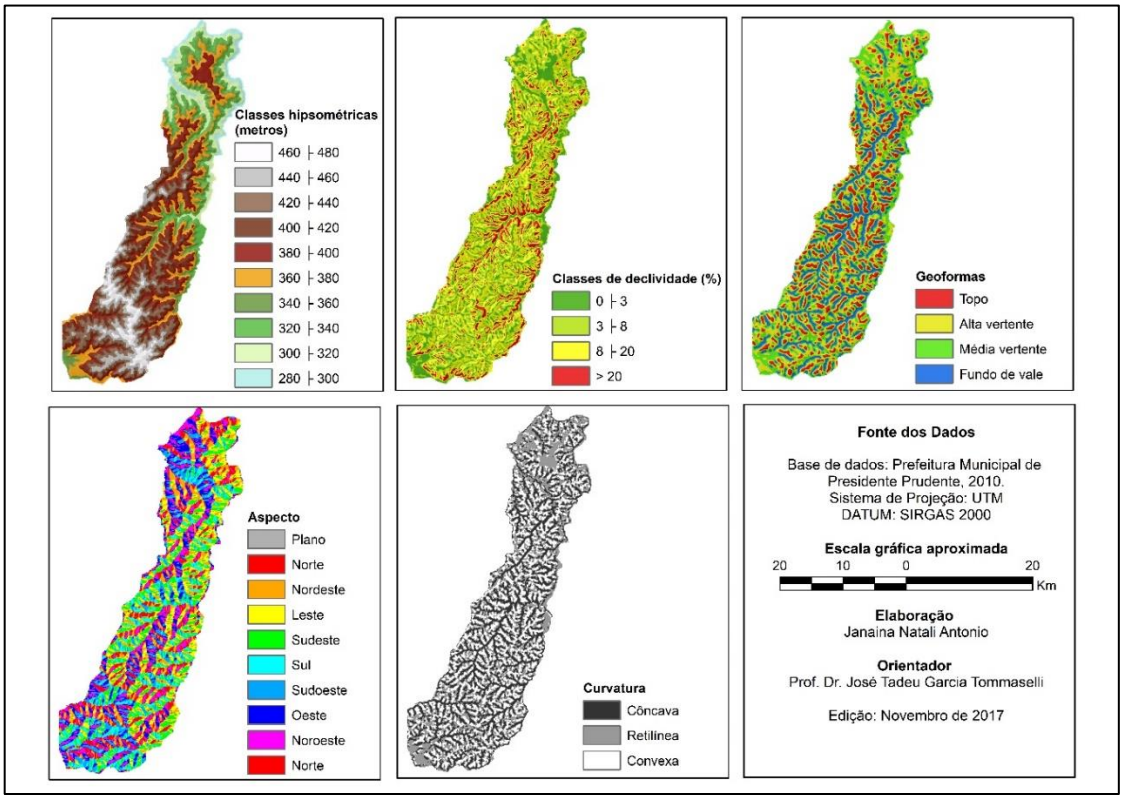
Figura 13: Diagrama de blocos da sequência utilizada para o processamento das RNAs para a elaboração de um mapa preditivo de solos



Fonte: elaboração própria, 2017.

Após o procedimento de entrada dos dados, é necessário realizar a coleta de amostras de treinamento utilizadas para a amostragem e o processamento pelas RNAs. A coleta de amostras ocorreu nos locais indicados na Figura 9. Os dados resultantes compuseram o arquivo com os elementos aspecto, curvatura, geoformas e declividade, apresentados na Figura 14 e no Quadro 11.

Figura 14: Elementos do relevo utilizados para o processamento do mapa preditivo de solos no perímetro urbano de Presidente Prudente – SP

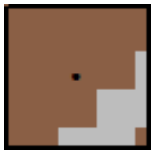
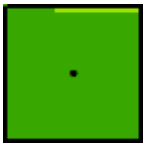
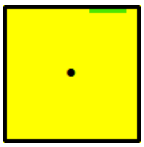
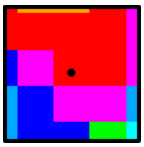
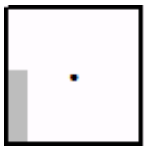
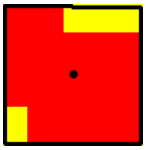
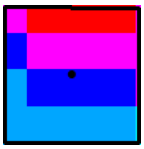
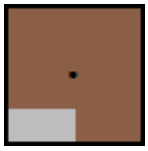
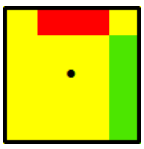
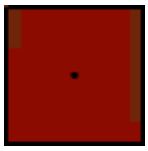
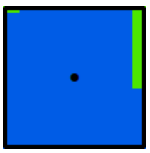
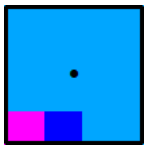
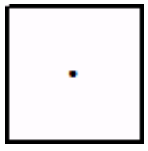
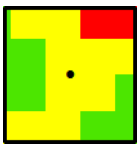
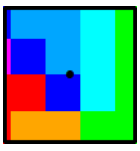
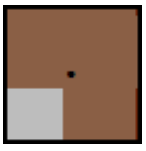
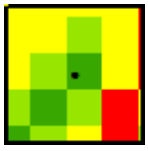
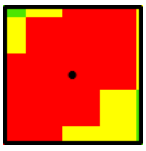
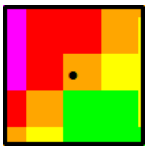


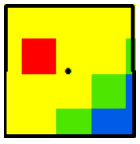
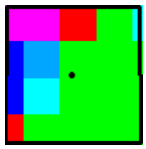
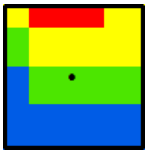
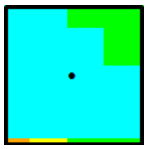
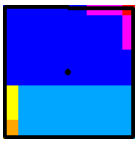
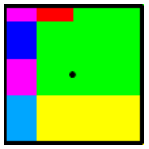
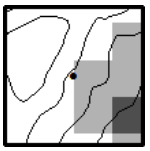
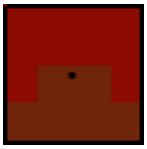
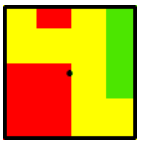
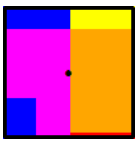
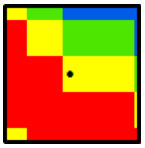
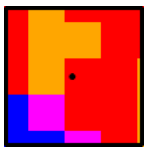
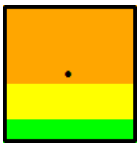
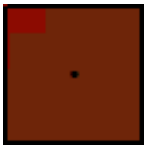
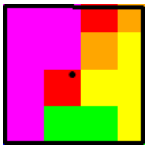
Fonte: elaboração própria, 2017.

4.3.3.2. Coleta de amostras de treinamento

A coleta de amostras de treinamento foi realizada de acordo com a localização dos perfis de solos coletados para análises granulométricas e morfológicas para a identificação dos tipos de solos, conforme apresentado no Quadro 11.

Quadro 11: Variáveis de entrada para as RNAs

	Elevação	Declividade (%)	Geoformas	Aspecto	Curvatura	Perfil do solo
Ponto 1						 Argissolos
Ponto 2						 Latossolos
Ponto 3						 Argissolos
Ponto 4						 Argissolos
Ponto 5						 Neossolos
Ponto 6						 Latossolos
Ponto 7						 Argissolos

Ponto 8						 Latossolos
Ponto 9						 Neossolos
Ponto 10						 Latossolos
Ponto 11						 Argissolos
Ponto 12						 Latossolos
Ponto 13						 Argissolos
Ponto 14						 Argissolos
Ponto 15						 Argissolos

Fonte: elaboração própria, 2017.

Foram realizados testes de processamento com diferentes arquiteturas na classificação por RNA, no aplicativo ENVI 4.4, até a obtenção de resultado semelhante aos

padrões encontrados por Fushimi (2012) apresentados na Tabela 5 (resultados e discussão).

Para a coleta de amostras de treinamento uniforme, foram coletados, em média, a quantidade de 190 pixels para cada classe de solo. Na sequência, foram realizados testes com diferentes números de camadas de entrada para avaliar a influência das variáveis de entrada.

4.3.3.3. Arquitetura das redes e algoritmo de treinamento

As RNAs com aprendizado supervisionado contam com a apresentação sucessiva de conjuntos de padrões de entrada e seus correspondentes padrões de saída, sendo que, durante o processo, realizam um ajuste de pesos das conexões entre elementos de processamento, segundo uma determinada lei de aprendizagem, até que o erro entre os padrões de saída gerados pela rede alcance um valor mínimo (MEDEIROS, 1999).

De acordo com Souza (2006), no treinamento supervisionado, a saída obtida é comparada com um vetor de saída desejado (o qual foi inicialmente apresentado à rede) e um erro é calculado a partir dessa diferença. Os pesos atribuídos para cada entrada são atualizados conforme o algoritmo usado, a fim de que este erro seja minimizado. O aprendizado supervisionado, portanto, conta com uma estrutura de adaptação dos pesos com objetivo de encontrar a menor diferença entre a saída esperada e a obtida.

A arquitetura das RNAs deve ser ajustada de acordo com o problema a ser resolvido e, neste caso, de acordo com as características das variáveis de entrada e com o objetivo de obter classes de solos aproximadas às do esboço pedológico proposto por Fushimi (2012). Para este estudo, foram realizados testes semelhantes ao realizado por Antonio (2009).

Para verificar a influência das variáveis de entrada e dos parâmetros da arquitetura da RNA, foram realizados testes utilizando o algoritmo de treinamento *backpropagation* variando o número de variáveis de entrada com 5[54], 4[55] e 3[56] camadas de entrada e o número de parâmetros da arquitetura das RNAs: modo de ativação logística (*sigmoidal*), contribuição limiar de treinamento (*training threshold contribution*), a taxa de aprendizado (*training rate*), a dinâmica de treinamento (*training momentum*), critério de saída EMQ –

[54] MDE, Declividade, Formas do relevo, Aspecto e Curvatura.

[55] Declividade, Formas do relevo, Aspecto e Curvatura.

[56] Declividade, Formas do relevo e Aspecto

erro médio quadrático – de treinamento (*training RMS exit criteria*), número de camadas ocultas (*number of hidden layers*) e número de iterações de treinamento (*number of training iterations*).

Para a verificação da influência das variáveis de entrada, foram realizados testes preliminares variando o número de variáveis de entrada e alterando os parâmetros de modelagem da RNA.

4.4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.4.1. Arquitetura das RNA e algoritmo de treinamento

Os testes foram realizados com o algoritmo de treinamento *backpropagation* para RNAs multicamadas, alterando-se a quantidade de camadas de entrada e a sua topologia/arquitetura. O melhor resultado[57] da classificação com RNAs foi obtido com 4 camadas de entrada e 1 neurônio na camada oculta, e variações dos parâmetros de treinamento. Na Tabela 5, são apresentados os melhores resultados dos testes com 3, 4 e 5 camadas de entrada.

Tabela 5: Arquitetura das RNAs com melhores resultados

Arquiteturas Nº de camadas escondidas	Ativação	Limiar	Taxa	Dinâmica	EMQ	Interações
Arquitetura 1 3,1	Logística	0.8000	2.000	0.9000	0.2000	2000
Arquitetura 2 4,1	Logística	0.8000	1.000	0.8000	0.0800	2000
Arquitetura 3 5,1	Logística	0.8000	1.000	0.9000	1.0000	2000

Fonte: elaboração própria, 2017.

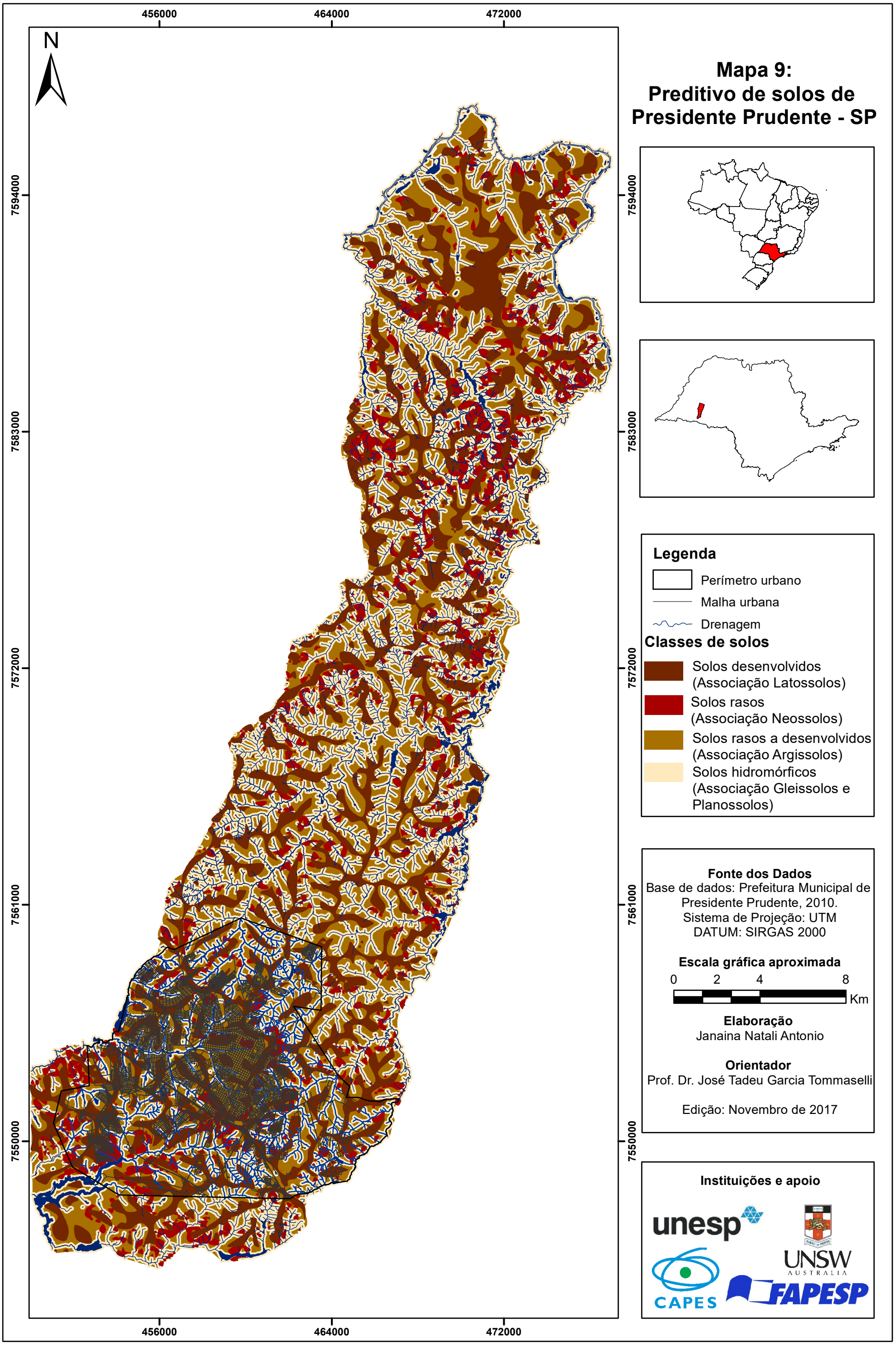
Não há critérios específicos para a definição do número de neurônios na camada oculta, porém uma quantidade reduzida de neurônios pode apresentar maior nível de generalização (SANTOS, 2005). Para os testes realizados, os melhores resultados foram obtidos com 1 camada oculta e variações nos outros parâmetros. O limiar para os três melhores resultados se manteve em 0.8000, bem como a taxa de interações em 2.000. A taxa foi de 2.000 para a arquitetura com 3 camadas de entrada e de 1.000 para as arquiteturas com 4 e 5 camadas de entrada. A dinâmica teve variação na arquitetura 2 com o valor de 0.8000 e para as arquiteturas 1 e 3 com o valor de 0.9000. O erro médio quadrático se manteve baixo, variando de 0.800 na arquitetura 2 e 1.000 na arquitetura 3.

[57] O melhor resultado foi escolhido considerando a proximidade visual com o esboço pedológico proposto por Fushimi (2012).

Os resultados obtidos das classificações utilizando as arquiteturas 1 e 2 apresentaram resultados semelhantes quanto à distribuição dos tipos de solos onde os solos hidromórficos estão associados às áreas de fundo de vale, próximas ao leito dos rios e com baixas declividades; os Latossolos estão associados às áreas de topos, com baixas declividades e perfil de curvatura retilíneo; os Argissolos, predominantes no município, estão associados às áreas com baixa declividade; os Neossolos estão principalmente relacionados às áreas de altas declividades e médias vertentes, e os solos hidromóficos na proximidades dos leitos dos rios. A classificação[58] resultante da arquitetura 2, com 4 camadas de entrada é apresentada no Mapa 9.

[58] Após a classificação o raster foi passado pelo filtro de média vizinhança, reclassificado e convertida para o formato vetorial digital.

Mapa 9:
Preditivo de solos de Presidente Prudente - SP



Legenda

- Perímetro urbano
- Malha urbana
- Drenagem

Classes de solos

- Solos desenvolvidos (Associação Latossolos)
- Solos rasos (Associação Neossolos)
- Solos rasos a desenvolvidos (Associação Argissolos)
- Solos hidromórficos (Associação Gleissolos e Planossolos)

Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada
0 2 4 8 Km

Elaboração
Janaina Natali Antonio

Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

Instituições e apoio

unesp · UNSW AUSTRALIA · CAPES · FAPESP

Os solos desenvolvidos, associação Latossolos, são típicos das regiões equatoriais e tropicais, ocorrendo também em zonas subtropicais, distribuídos, sobretudo, por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos, normalmente em relevo plano e suave ondulado; embora possam ocorrer em áreas mais acidentadas, inclusive em relevo montanhoso. São originados a partir das mais diversas espécies de rochas e sedimentos sob condições de clima e tipos de vegetação dos mais diversos (EMBRAPA, 2013).

Os solos rasos a desenvolvidos, associação Argissolos, sendo a segunda ordem mais extensa no Brasil, talvez seja a mais homogênea, uma vez que tais solos podem ser rasos ou muito profundos, arenosos ou argilosos em superfície e as transições podem ser graduais e abruptas. O relevo em que estão presentes também pode variar dos montanhosos aos suaves ondulados, e, quando associados aos Latossolos, costumam se situar em relevos mais declivosos (LEPSCH, 2010).

Os solos rasos, associação Neossolos, são constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico nem alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem, como maior resistência ao intemperismo ou composição química, ou dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos (EMBRAPA, 2013).

Os solos hidromórficos[59], associação Gleissolos, são solos formados principalmente a partir de sedimentos, estratificados ou não, sujeitos a constante ou periódico excesso de água. Desenvolvem-se comumente em sedimentos recentes nas proximidades dos cursos de água e em materiais colúvio-aluviais sujeitos a condições de hidromorfia, e também podem se formar em materiais residuais em áreas abaciadas e depressões. São eventualmente formados em áreas inclinadas sob influência do afloramento de águas subterrâneas. Os hidromórficos, associação Planossolos, ocorrem preferencialmente em áreas de relevo plano ou suave ondulado onde as condições ambientais e do próprio solo favorecem vigência periódica anual de excesso de água, mesmo que de curta duração, especialmente em regiões sujeitas à estiagem prolongada e até mesmo sob condições de clima semiárido (EMBRAPA, 2013).

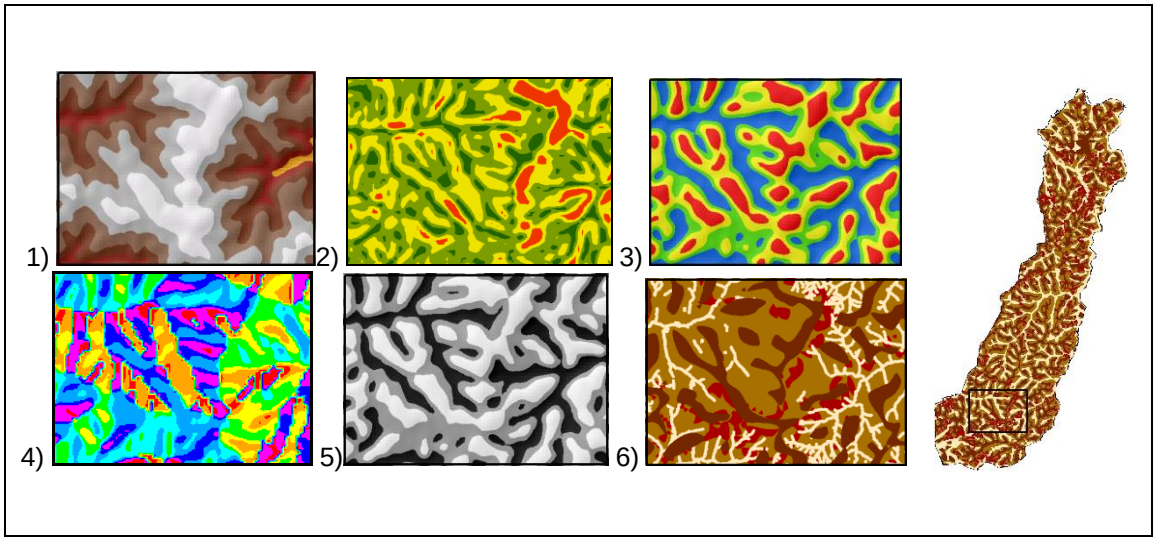
[59] A ocorrência dos solos hidromóficos está diretamente relacionada às áreas de baixadas, várzeas e depressões. Não foram coletadas amostras no perfil e foi inserida a localização de alguns pontos próximos aos leitos de rios em fundos de vale no momento do processamento com as RNA, no software ENVI 4.4.

4.4.2. Avaliação das variáveis de entrada

As interações complexas entre os diferentes fatores de formação dos solos ocorrem em padrões repetitivos, levando à formação de combinações que são a base para a definição, a identificação e o mapeamento de solos e entre os atributos mais utilizados estão elevação, declividade e orientação das encostas. São reconhecidos como os mais efetivos para a realização de levantamentos de solos de média escala (CHAGAS, 2006).

A relação entre os atributos morfométricos é apresentada em diversos trabalhos (CHAGAS, 2006, KLINGEBIEL et al., 1988, MOORE et al., 1993, GALLANT e WILSON, 2000, ZHU et al., 2001, CARRÉ e MCBRATNEY, 2005, CAMPOS, 2012, QUEIROZ-NETO, 2002, SIRTOLI, 2008, ARRUDA, 2012). Entre os principais atributos avaliados, elevação, declividade, aspecto e plano de curvatura são os que mais influenciam a distribuição dos solos na área avaliada (CHAGAS, 2006). Para melhor observar os padrões de ocorrência dos tipos de solos, foram realizados dois recortes[60] na área sul e norte do município, conforme as Figuras 15 e 16.

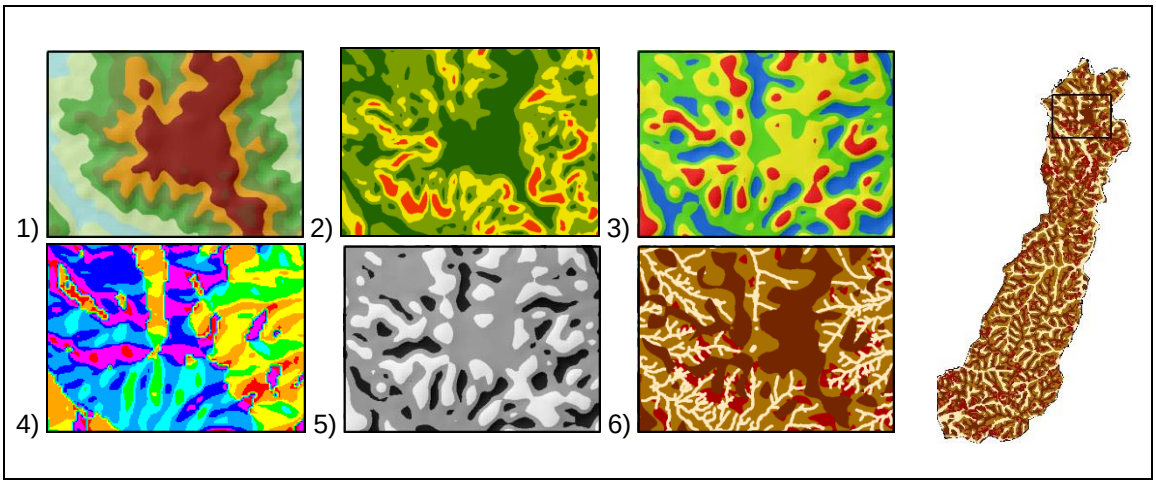
Figura 15: Recorte 1 (setor sul do município de Presidente Prudente – SP) das variáveis de entrada e resultado da classificação de solos. 1) hipsometria, 2) declividade, 3) geoformas, 4) aspecto, 5) curvatura e 6) solos.



Fonte: elaboração própria, 2017.

[60] O recorte 1 foi realizado na área das coordenadas UTM: 456.000 – 464000 e 755.0000 – 755.5500. O recorte 2 foi realizado na área das coordenadas geográficas: 466.000 – 474.000 e 758.3500 – 759.4000.

Figura 16: Recorte 2 (setor norte do município de Presidente Prudente – SP) das variáveis de entrada e resultado da classificação de solos. 1) hipsometria, 2) declividade, 3) geoformas, 4) aspecto, 5) curvatura e 6) solos.



Fonte: elaboração própria, 2017.

No recorte 1, Figura 15, a distinção das classes de solos (6) é visualmente perceptível no que tange a ocorrência dos Latossolos, principalmente relacionados aos atributos geoformas (3), nas áreas de topos, e curvatura (5), nas áreas de domínio das vertentes convexas. A ocorrência dos solos hidromórficos está relacionada às geoformas de fundos de vale, às curvaturas côncavas, e às áreas de declividade plana. A ocorrência de manchas de Neossolos está relacionada, principalmente, com declividades de relevo forte ondulado acima de 20%. Por sua vez, os Argissolos, que são os solos predominantes na área, estão distribuídos nas georformas das médias e altas vertentes, principalmente no domínio das curvaturas retilíneas e em declividades de relevo suave ondulado (3 - 8%) e ondulado (8 - 20%).

No recorte 2, Figura 16, a distinção de classes segue o padrão inerente à ocorrência dos Latossolos, principalmente relacionados às áreas de topo, no mapa de geoformas (3) e nas curvaturas (5) convexas e em declividades (2) de relevo suave ondulado (3 - 8%) e ondulado (8 - 20%). Os Neossolos estão associados principalmente às declividades de relevo forte ondulado (> 20%) e às altas vertentes, no mapa de formas de relevo (3). Nesse recorte, os solos hidromórficos aparecem em maiores dimensões devido à ocorrência de amplas áreas com curvaturas (2) retilíneas, declividades (2) planas e associadas às formas de relevo (3) de fundos de vale. Os Argissolos predominam nas declividades de relevo suave ondulado e ondulado, bem como nas curvaturas retilíneas e nas formas de relevo (3) de altas e médias vertentes.

Segundo Chagas (2006), de modo geral, os solos mais profundos e mais evoluídos estão localizados em encostas convexas e os solos mais rasos e menos evoluídos tendem

a ocorrer em encostas côncavas. A ocorrência de solos mais rasos nessas condições está relacionada, juntamente com a elevada declividade, com um maior fluxo convergente de água, fato que favorece a morfogênese, levando estes solos a um constante rejuvenescimento em resposta aos processos erosivos.

Fushimi e Nunes (2011) mostraram que a curvatura influenciou principalmente na ocorrência das classes de Latossolos em vertentes convexas por se localizarem nos topos suavemente ondulados das colinas convexizadas. Os Argissolos estão distribuídos nos domínios das vertentes côncavas, convexas e retilíneas e a ocorrência dos solos hidromórficos está relacionada às curvaturas convexas (FUSHIMI, 2012).

Sirtoli (2008) mostrou que a declividade apresentou maior relação com as unidades de solos, pois as de caráter hidromórfico predominaram em declividades inferiores a 3%, os Latossolos em declividades inferiores a 8%. Na área de estudo, foram obtidos dados semelhantes, visto que nas declividades baixas de 0 - 3% há predomínio dos solos hidromóficos. Os Latossolos estão predominantemente relacionados às declividades de 3 - 8%, enquanto os Neossolos predominam acima dos 20%. O principal atributo de relevo para a distinção de manchas de Neossolos foi a declividade.

Fushimi (2012) encontrou situações semelhantes aos Latossolos em relevos ondulados com declividades variando entre 5 e 15%, aos Argissolos em relevos suavemente ondulados a ondulados, em declividades aproximadas entre 5 e 20%, aos Neossolos mais frequentes em declividades acima de 20%, e aos solos hidromórficos em fundos de vales chatos, alvéolos e planícies aluviais[61] em declividades médias entre 0 a 5%, apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6: Padrões relacionados aos tipos de solos e atributos do relevo

Parâmetros	Tipos de solos	Fushimi (2012)	Antonio (2017)
Declividade	Latossolos	5 a 15	3 – 8
	Argissolos	5 a 20	3 – 8/ 8 – 20
	Neossolos	> 20	8 – 20/ > 20
	Hidromórficos	0 – 5	0 – 3
Curvatura	Latossolos	Convexa	Convexa
	Argissolos	Côncava/convexas/retilínea	Côncava/convexa/retilínea
	Neossolos	Côncava/convexa	Convexas
	Hidromórficos	Côncava	Côncava
Feições geomorfológicas/ geoformas	Latossolos	Topos	Topo
	Argissolos	Topo/vertente	Topo/Média e alta vertente
	Neossolos	Vertente	Média e alta vertente
	Hidromórficos	Planície aluvial e alvéolo	Fundo de vale

Fonte: elaboração própria, 2017.

[61] Nos fundos de vales em berço, têm-se planícies aluviais com a vegetação do tipo taboa e alvéolos, muitos deles degradados pela ação antrópica, sendo que, além da presença de solos hidromórficos (associação Planossolos e Gleissolos), há a presença de materiais sedimentares e manufaturados de origem tecnogênica (FUSHIMI e NUNES, 2011; FUSHIMI 2012).

O atributo aspecto apresentou pouca relevância na distinção de padrões de relevo e ocorrência de classes de solos. Apenas foi possível perceber a tendência de ocorrência dos Latossolos nas direções sudeste e leste e dos Argissolos nas direções norte e nordeste.

CONSIDERAÇÕES

O mapeamento digital de solos diminui o tempo e o custo dos mapeamentos em grandes e médias escalas e vem sendo realizado com bons resultados em diversas áreas do conhecimento. Contudo, é relevante destacar a importância da checagem de campo, pois as áreas podem apresentar variações que não são evidentes no material cartográfico. Neste trabalho, foram utilizados 15 pontos de amostragem em campo que serviram de base para a identificação de padrões de relevo quanto à ocorrência de determinados tipos de solos que, posteriormente, permitiram a identificação de padrões pelo processador de RNA.

Neste estudo, após os testes de avaliação das variáveis de entrada, os melhores resultados foram obtidos depois da retirada da variável hipsometria, sendo que o melhor resultado foi obtido com 4 variáveis de entrada. Entre eles, tiveram destaque a declividade e as geoformas, apresentando similaridade de padrão de ocorrência. As áreas de ocorrência dos Neossolos estão, principalmente, relacionadas às áreas de declividades de 20% ou acima. O padrão de ocorrência dos Latossolos está nas áreas com declividades inferiores a 8% e os solos hidromóficos estão localizados nos fundos de vale com declividades abaixo dos 3%, enquanto os Argissolos variam em declividades médias acima de 3% e abaixo de 20%, devido ao predomínio pelo material de origem.

No trabalho realizado por Sirtoli (2008), a declividade foi o atributo que apresentou maior relação com as unidades de solos, pois os hidromórficos predominaram em declividades inferiores a 3%, os Latossolos em declividades inferiores a 8%. Os resultados obtidos foram bastante semelhantes aos do mapa delineado de forma tradicional. O mesmo ocorreu no trabalho de Chagas (2006), em que o classificador por RNA mostrou maior exatidão que o de máxima verossimilhança e concordância com o mapeamento tradicional.

O resultado final da classificação com uso de RNA apresentou resultados semelhantes ao esboço pedológico proposto por Fushimi (2012), realizado de forma manual e utilizando por base o mapa geomorfológico do município de Presidente Prudente. Na classificação por RNA, ao invés de utilizar o mapa geomorfológico, optou-se por utilizar o mapa de geoformas.

A geomorfometria e o uso de parâmetros e objetos de superfície terrestre têm se mostrado altamente benéficos para a produção de novos mapas de solos ou para a melhoria dos existentes, especialmente nas escalas regionais (DOBOS e HENGL, 2009). O mapa de geoformas influenciou de forma significativa a identificação de padrões dos tipos de solos mapeados, principalmente solos hidromórficos relacionados às áreas de fundos de vale e Latossolos em áreas de topo, sendo que as áreas de altas e médias vertentes estão principalmente relacionadas à ocorrência dos Argissolos, porém com áreas de transição para os Latossolos.

Arruda (2012) verificou um comportamento semelhante entre as variáveis ambientais observadas nos Latossolos e nos Argissolos, o que dificultou a separação dessas classes pela técnica empregada. Em nosso caso, a mesma dificuldade foi constatada em campo, já que esses solos ocorreram em condições de relevo muito parecidas e com transição gradual. Por se tratar de um modelo preditivo, é possível que a separação de classes não seja exata, principalmente nessas duas classes predominantes.

A utilização de atributos do relevo associada ao uso de RNA apresentou resultados promissores que podem facilitar o mapeamento de solos, principalmente em relação aos custos e ao tempo demandado na forma tradicional, pois utilizam dados de diferentes origens e diferentes escalas. Ademais, mesmo de maneira preditiva, a abordagem pode ser utilizada para o planejamento de uso de acordo com as características de solos e relevo.

A metodologia pode ser aperfeiçoada através do uso de material cartográfico com maior resolução espacial, aumento no número de amostras coletadas em campo, bem como a inserção de mais camadas de entrada, e o aumento no número de amostras para o processamento das RNA.

Os mapeamentos de solos podem ser utilizados para o planejamento e uso de áreas. Os mapeamentos preditivos de solos podem ser utilizados para a comparação entre as possíveis características naturais dos solos no passado, com as atuais e também para a criação de cenários futuros, a partir da combinação de características e processos identificados. Os mapeamentos preditivos também podem ser úteis na identificação de solos em áreas urbanas, onde devido às alterações antrópicas não podem ter suas características naturais identificadas, da maneira tradicional, por meio da identificação de horizontes pela análise de perfil.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. A. de; STEIN, D. P.; MELO, M. S. de; BISTRICHI, C. A.; PONÇANO, W. L.; HASUI, Y.; ALMEIDA F. F. M. de. 1980b. Geologia do oeste paulista e áreas fronteiriças dos estados de Mato Grosso do Sul e Paraná. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 31. Camboriú, 1980. Anais… Camboriú, SBG. v. 5, p. 2799-2812.

ALVES, M. R. **Múltiplas técnicas no mapeamento digital de solos**. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2008.

ANTONIO, J. N. **Mapeamento de áreas potenciais a implantação de aterro sanitário em Guarapuava-PR, com uso de redes neurais artificiais.** Dissertação (mestrado em Gestão do Território). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná, 2009.

ARRUDA, G. P. de. **Estratégias de mapeamento digital de solos por redes neurais artificiais baseado na relação solo-paisagem.** Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2012.

BURROUGH, P. A.; BOUMA, J.; YATES, S. R., The state of the art in pedometrics. **Geoderma**, v. 62, p. 311-326, 1994.

CAMPOS, M. C. C. Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. **Ambiência**. Guarapuava (PR) v.8 n.3 p. 963 – 982, 2012.

CARRÉ, F. e McBRATNEY, A. B. Digital *terron* mapping. **Geoderma** 128, p. 340 - 353, 2005.

CHAGAS, C. da S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de Mar de Morros.** Tese (Programa de pós-graduação em solos e nutrição de plantas). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2006.

DOBOS, E; MICHELI, E; BAUMGARDNER, M, F; BIEHL, L; HELT, T. Use of combined digital elevation model and satellite radiometric data for regional soil mapping. **Geoderma**, v. 97, p 367–391, 2000.

DOBOS, E. e HENGL, T. Soil mapping applications. In: HENGL, T. e REUTER, H. I. **Geomorphometry**: Concepts, software, applications. Developments in soil science, volume 33, Elsevier, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapeamento digital de classes e atributos de solos**: métodos, paradigmas e novas técnicas. Rio de Janeiro, 2003.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação dos solos.** 3.ed. Brasília, 2013.

EVANS, J. **ArcGis geomorphometry e gradient metrics.** In: Quantitative methods in spatial ecology. Disponivel em: http://evansmurphy.wix.com/evansspatial#!arcgis-gradient-metrics-toolbox/crro, 2016.

FACELI, K.; LORENA, A. C.; GAMA, J.; CARVALHO, A. C. P. L. F. **Inteligência artificial: uma abordagem de aprendizado de máquina.** LTC, Rio de Janeiro, 2011.

FUSHIMI, M. e NUNES, J. O. R. Geomorfologia do município de Presidente Prudente - SP, Brasil. **Revista Geográfica de América Central**. Número Especial EGAL, 2011, Costa Rica II Semestre 2011 p. 1-16.

FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares nas áreas rurais do município de Presidente Prudente - SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente - SP, 2012.

HAYKIN, S. **Redes neurais**: princípios e prática. Bookman, Porto Alegre, 2001.

HEUVELINK, G. B. M. The definition of pedometrics. **Pedometron**, n. 14, p. 2-3, Gainesville, 2003.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de Pedologia.** Manuais técnicos em Geociências. Número 4: 2ª edição. Diretoria de Geociências; Rio de Janeiro, 2007.

IPPOLITI, G. A. R.; COSTA, L. M. da; SCHAEFER, C. E. G. R., FERNANDES FILHO, E. I.; GAGGERO, M. R. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de "mar de morros" (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 29, núm. 2, pp. 269-276, 2005.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**: 1:500.000. São Paulo: IPT, vol. I, 1981 (Publicação IPT 1184).

KLINGEBIEL, A. A.; HORVATH, E. H.; REYBOLD, W. U.; MOORE, D. G.; FOSNIGHT, E. A.; LOVELAND, T. R. **A guide for use of digital elevation model data for making soil surveys.** Siox Falls, South Dakota, 1988.

KOVÁCS, Z. L. **Redes neurais artificiais: fundamentos e aplicações**. Ed. Livraria da Física, São Paulo, 2002.

LEMOS, R. C. de. e SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Sociedade Brasileira do Solo, Campinas, 1996.

LEPSCH, I. F. **Solos**: formação e conservação. Melhoramentos, São Paulo, 2010.

LIMA, L. A. de S. et al. **Mapeamento de solos do tradicional ao digital**. EMBRAPA Cerrados, Planaltina – DF, 2013.

MARTINS, E. de S., CARVALHO JUNIOR, O. A. de, SOUZA, V. V. de, COUTO JUNIOR, A. F., OLIVEIRA, S. N. de, GOMES, R. A. T., REATTO, A. Relação solo-relevo em vertentes assimétricas no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.8, n.1, p.45-62, 2007.

McBRATNEY, A. B.; ODEH, I. O. A.; BISHOP, T. F. A.; DUNBAR, M. S. SHATAR, T. M. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. **Geoderma,** v. 97, p. 293-327, 2000.

MaCMILLAN, R. A e PETTAPIECE, W. W. **Soil landscape models**: automated landscape characterization and generation of soil-landscape models. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Canadá, 1997.

MEDEIROS, J. S. **Bancos de dados geográficos e redes neurais artificiais**: Tecnologia de apoio à gestão do território. Tese (Doutorado em Geografia física) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MOORE, I. D., GESSLER, P. E., NIELSEN, G. A., PETERSON, G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.443-452, 1993.

NUNES, J. O. R. **Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada a escolha de áreas para construção de aterro sanitário em Presidente Prudente-SP**. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2002.

OLIVEIRA, J. B. de. **Solos do Estado de São Paulo**: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: Instituto Agronômico, 1999.

QUEIROZ-NETO, J. P. de. Análise estrutural da cobertura pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 15 p. 77–90, 2002.

WILSON, J. P. e GALLANT, J. C. Digital terrain analysis. In: WILSON, J. P. e GALLANT, J. C. (eds.). **Terrain analysis: principles and applications**. New York: John Wiley e Sons, 2000.

RIBEIRO, S. R. A. **Integração de Imagens Landsat TM e dados auxiliares para a delimitação automática de unidades fisionômicas usando Redes Neurais Artificiais.** Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2003.

REUTER, H. I. E NELSON, A. Geomorphometry in ESRI Packages. In: HENGL, T. e REUTER, H. I. **Geomorphometry**: Concepts, software, applications. Developments in soil science, volume 33, Elsevier, 2009.

ROSA, A. S. **Funções de predição espacial de propriedades do solo**. (Mestrado em Ciência do solo) Universidade Estadual de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2012.

SABO, L. A. **Análise da incerteza na representação de classes temáticas resultantes da aplicação de uma rede neural artificial.** Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2006.

SANTOS, A. M. dos, SEIXAS, J. M. de, PEREIRA, B. de B., MEDRONHO, R. de A. Usando redes neurais artificiais e regressão logística na predição da hepatite A. **Revista brasileira de epidemiologia**. Vol. 8, n 2. São Paulo, jun. 2005.

SIRTOLI, A. E. **Mapeamento de solos com auxílio da geologia, atributos do terreno e índices espectrais integrados por redes neurais artificiais**. Tese (Doutorado em geologia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SOMMER, M. e SCHLICHTING, E. Archetypes of catenas in respect to matter – a concept for structuring and grouping catenas. **Geoderma**, 76: 1-33, 1997.

SOUZA, E. C. B. de. **Modelagem do relevo oceânico usando redes neurais artificiais**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2006.

VALERIANO, M. de M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v.7, n.3, p.539-546, 2003.

VIEIRA, R.C. e ROISENBERG, M. **Redes neurais artificiais**: Um breve tutorial, Laboratório de Conexionismo e Ciências Cognitivas, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

ZHU, A.; QI, F.; MOORE, A.; BURT, J. E. Prediction of soil properties using fuzzy membership values. **Geoderma**, v. 158, p. 199-206, 2010.

ARTIGO 4

5. AS CARACTERÍSTICAS DAS ANTIGAS ÁREAS DE DISPOSIÇÃODE RESÍDUOS SÓLIDOS EM PRESIDENTE PRUDENTE - SP

Resumo: O aumento da produção e consumo combinados com o aumento populacional e as novas relações entre a sociedade e a natureza no ambiente urbano levaram a criação novos problemas ambientais. Entre eles o aumento da produção de resíduos sólidos, que nem sempre recebem o tratamento e disposição adequada. Em Presidente Prudente - SP, como em muitos municípios brasileiros, realizou a disposição dos resíduos diretamente no solo na forma de lixões, em diversas áreas, utilizando-se de áreas desvalorizadas em fundos de vale, com ravinas ou voçorocas, e seguindo a lógica de produção do espaço urbano. Para caracterizar as áreas utilizadas para disposição dos resíduos sólidos foram utilizados os mapas de atributos do relevo: declividade, geoformas, aspecto, curvatura e o mapa preditivo de solos. As áreas estão predominantemente localizadas nos compartimentos de fundos de vale, em curvaturas côncavas, declividades de relevo ondulado e forte ondulado e em solos Argilosos e hidromóficos (Gleissolos e Planossolos). Os solos nestas áreas são alterados pela adição de materiais orgânicos e artefatos de origem e composições diversas, e podem conter substâncias contaminantes. Os solos que contém estas características são denominados de Antropossolos Líxicos. Como ainda é um conceito recente, os estudos para o conhecimento de suas características, são fundamentais para a compreensão da sua dinâmica e para propor medidas de recuperação e de planejamento para o uso adequado.

Palavras-chave: Espaço urbano, resíduos sólidos urbanos, gerenciamento, áreas de disposição, relevo, solos.

5.1. INTRODUÇÃO

As cidades desenvolveram-se a partir do processo de industrialização e, caracterizam-se por concentrar os investimentos, a produção e o consumo (SPOSITO, 1988). Além de concentrar a população, as áreas industriais e comerciais, as áreas urbanas, também concentram uma sobrecarga de problemas ambientais. O aumento demográfico é um dos fatores relacionados à degradação do ambiente. Entretanto, estes são agravados pela existência de desigualdades sociais (MORATO, 2005).

O desenvolvimento técnico-científico-informacional permitiu uma nova divisão territorial do trabalho, que ampliou os problemas ambientais, distribuindo-os de forma desigual (SANTOS, 1997). A desigualdade social reflete ambientalmente, materializada na forma de segregação espacial, resultante da ação dos agentes produtores do espaço urbano[62] e da distribuição desigual de renda. Portanto, a problemática ambiental urbana, resulta das contradições da produção social do espaço, baseada na relação conflituosa entre a sociedade e natureza, e na diferenciação de classes sociais. A ação, da sociedade

[62] Corrêa (1995) indica a existência de grandes agentes produtores, que acentuam e as práticas e processos de diferencial sócioespacial, são eles: (i) Os proprietários dos meios de produção; (ii) Os proprietários fundiários; (iii) Os promotores imobiliários; (iv) O Estado; e (v) Os grupos sociais excluídos.

sobre a natureza, ocorre com velocidade e intensidade diferentes, e baseada nos moldes técnico-científicos possui temporalidade incomparavelmente maiores que a dos processos naturais (RODRIGUES, 1998; GOMES, 2009).

São muitos os problemas ambientais[63], que ocorrem nas áreas urbanas, entre eles os deslizamentos, enchentes, poluição do solo, do ar, e das águas, entre outros, causados de disposição inadequada dos resíduos sólidos[64], nas áreas denominadas lixões. Tais áreas, muitas vezes, estão localizadas em fundos de vales, várzeas de corpos d'água, vertentes de relevo dissecadas, que do ponto de vista ambiental deveriam receber maior atenção no planejamento de seu uso (MAZZINI, 1997; NUNES, 2002). Para compreender a problemática dos resíduos sólidos urbanos (RSU), é importante considerar as formas de produção do espaço, e a ação dos agentes detentores do poder de decisão e controle sobre os meios de produção, assim, como a dinâmica da natureza e suas interfaces[65] (NUNES, 2002).

O período técnico-científico[66] promoveu uma série de mudanças na a sociedade, entre elas nos hábitos e padrões de consumo[67], que devido ao acelerado desenvolvimento de novas tecnologias, criação de novos produtos, e influência das propagandas publicitárias refletem no aumento da produção e descarte de RSU, bem como no uso intensivo de recursos naturais, poluição, degradação dos ecossistemas, etc. (CORTEZ, 2002; NUNES, 2002; IKUTA, 2010). O aumento do consumo e da produção de RSU não são, exclusivamente, causadores de problemas ambientais, mas a falta de tratamento e/ou destinação adequada, que estes resíduos recebem, como ocorre nos casos de planos considerados imediatistas, que não consideram as etapas de gerenciamento.

O gerenciamento de resíduos sólidos envolve as etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada[68] dos resíduos

---

[63] Efeito estufa, camada de ozônio, transgenias, formas de relevo tecnogênicas, chuva ácida, entre tantos outros (SUERTEGARAY,2002).

[64] Resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

[65] Geomorfológica, geológica, climática, cobertura vegetal, etc.

[66] Santos (2002).

[67] Outros trabalhos sobre o assunto: Roche (2000); Santos (2006); Bauman (2008); Baudrillard (2008); Antonio et al. (2007).

[68] Uma medida para diminuir os impactos ambientais da disposição dos RSU é a construção de aterros sanitários. O aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos consiste na técnica de disposição de resíduos no solo, sem causar danos ou risco à saúde pública e a segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios da engenharia para confinar resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao

sólidos, e deve ser realizado de forma integrada (TAKENAKA, 2008, BRASIL, 2010). O gerenciamento integrado dos resíduos sólidos é de responsabilidade do poder público local, e deve seguir critérios técnicos e sanitários e contemplar as dimensões ambientais, sociais, econômicas, culturais, políticas, institucionais e as atividades informais. Visto que, quando não geridos adequadamente agravam problemas ambientais já existentes e levam ao aparecimento de outros (JARDIM at al., 1995; TENÓRIO E ESPINOSA, 2004; TAKENAKA, 2008, IKUTA, 2010).

Entretanto, os RSU, em muitos municípios brasileiros, foram por muitos anos[69] depositados diretamente no solo sem medidas de proteção, nas áreas denominadas lixões[70], que geram uma série de impactos ambientais, a curto, médio e longo prazos. Entre os impactos estão à poluição do ar, de aquíferos e do solo, bem como a poluição visual e auditiva, e a proliferação de vetores como ratos, baratas, moscas e mosquitos nocivos à população. Outra característica, é que estas áreas encontam-se localizadas em áreas periféricas[71], muitas vezes em fundos de vale, proximidades de várzeas de cursos d'água, vertentes de relevo dissecadas, que do ponto de vista ambiental são inadequadas (JARDIM et al, 1995; MAZZINI, 1997; NUNES, 2002; HENARES, 2006; CANTÓIA, 2007).

Entre os impactos ambientais, causados pela disposição inadequada dos RSU, estão as alterações nos solos, que ocorrem devido à decomposição dos resíduos orgânicos e à produção de chorume, a adição de sustâncias químicas no solo, a presença de artefatos, causando alterações em suas características físicas e químicas que podem comprometer o seu uso futuro, devido à instabilidade do terreno e também da possibilidade de contaminação.

Nas áreas urbanas ocorrem diferentes tipos de alterações nos solos. De forma tão significativa, que foram propostas categorias para classificar os solos com alterações antrópicas. Em 1988, a FAO, em seu documento *Soil map of the world*, inseriu o conceito

menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou intervalos menores se for necessário (ABNT, 1984, NBR 8419).

[69] Os dados da CETESB (2016), para o estado de São Paulo, que sobre o enquadramento das instalações de destinação final de resíduos sólidos houve uma evolução. O número de municípios que dispõe os resíduos de forma adequada passou de 492 em 2011 para 601 em 2016, em termos de porcentagem representam em 2011 um total de 23,7% que encontravam-se em situação inadequada, enquanto em 2016 o percentual baixou para 5,9%. Embora tenha ocorrido a melhoria nas condições em relação à disposição final dos resíduos sólidos no Brasil, ainda há planos que não que não visam a solução definitiva do problema, mas apenas propõe medidas paliativas como a disposição em lixões (CETESB, 2016; PNSB, 2000; ABRELPE, 2015).

[70] Forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. O mesmo que descarga de resíduos a céu aberto (JARDIM 1995, p.76).

[71] A disposição dos resíduos sólidos em lixões apenas retira o problema do campo de visão da população na medida em que, após a sua deposição no solo, continua a existir localizados em áreas periféricas, causando a falsa impressão de que o problema foi resolvido (ANTONIO et al., 2007; TAKENAKA, 2008).

de *Anthrosols*[72]. A partir de discussões e atualizações, muito países acrescentaram, em seus sistemas de classificações de solos, uma categoria para solos com alterações antrópicas. No Brasil, a inserção da classe de solos antrópicos foi apresentada em 2004, propondo o conceito de Antropossolos[73].

Estas classificações têm em comum o fato de considerar as alterações ocorridas nos solos em razão de atividades antrópicas, de transporte, retirada ou adição de artefatos. Os artefatos adicionados ao solo possuem origens e composição diversas, entre eles pode haver a presença de elementos químicos tóxicos, capazes de causar contaminação ambiental.

As alterações nos solos, pela adição de artefatos, como ocorre em áreas de disposição de RSU, de acordo com a proposta de classificação brasileira, devem classificados na categoria de Antropossolos, pertencentes à subordem Líxicos. Os Antropossolos Líxicos são volumes que contêm materiais orgânicos e/ou inorgânicos resultantes de atividade humana, adicionados ao solo, e, por ser uma definição ampla, podem abranger diversos elementos e artefatos, contaminantes ou não. Podem ser subdivididos segundo a influência do aquífero freático: os Áquicos com influência e os Órticos sem influência, ambos divididos em subgrupos de acordo com a constituição dos materiais, os quais podem ser sépticos, tóxicos ou toxissépticos (CURCIO et al., 2004).

Solos com estas características são de comum ocorrência devido ao histórico de disposições de RSU, em muitos municípios brasileiros. Para exemplificar algumas características de formação será apresentado o histórico de destinação de RSU em Presidente Prudente – SP e sua relação com os compartimentos do relevo.

---

[72] Solo em que as atividades humanas resultaram em modificações profundas das características originais do solo através da remoção ou distúrbios dos horizontes superficiais, cortes e aterramentos, adição secular de materiais orgânicos, irrigação prolongada, etc. (FAO, 1988).

[73] Compreende volume formado por várias ou apenas uma camada antrópica, desde que possua 40 cm ou mais de espessura, constituído por material orgânico e/ou inorgânico, em diferentes proporções, formado exclusivamente por intervenção humana, sobrejacente a qualquer horizonte pedogenético, ou saprolitos de rocha, ou rocha não intemperizada. Constituem volumes com morfologia muito variável em razão da natureza de seus materiais constitutivos, técnicas de composição e tempo de formação. Em geral, apresentam pequeno grau de evolução, caracterizado pela pequena relação pedogenética entre as camadas. A saturação iônica do complexo sortivo é bastante variável e depende, principalmente, do tipo de material utilizado em sua formação, além das características do material do solo remanescente. É muito comum ser identificada a presença de materiais tóxicos e sépticos em sua composição. A drenagem é bastante diversa, e está diretamente relacionada à natureza e à quantidade dos materiais constitutivos, técnicas de estruturação para formação do volume, bem como do ambiente de deposição (CURCIO et al.,2004, p. 21).

5.2. A DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM PRESIDENTE PRUDENTE- SP

O município de Presidente Prudente - SP, como muitos no Brasil, passou por sucessivas administrações públicas que não conseguiram resolver os problemas decorrentes da destinação inadequada dos RSU. Por muitos anos foram utilizadas formas de remediação para a disposição de resíduos, incluindo os domésticos, entulhos de construção, de varrição de ruas e os hospitalares, os quais eram destinados para locais periféricos, como fundos de vales, várzeas, encostas de colinas ou locais com pontos de erosão (NUNES, 2002; HENARES, 2006).

Inicialmente, os resíduos coletados eram encaminhados para alimentação animal ou, para aterrar voçorocas. Desde a década de 1920, esta prática foi realizada, em diversas áreas do município, em sua maioria localizadas na zona leste e norte (MAZZINI, 1997). A disposição era realizada sem estudos prévios das áreas, sem a adoção de critérios técnicos adequados de topografia, nível do aquífero freático, propriedades do solo e proximidade de moradias e de mananciais, disponibilidade de material de cobertura (HENARES, 2006). A utilização da área do aterro controlado[74], no Distrito Industrial, ocorreu em 1997, após a divulgação do Plano Diretor municipal[75], e acrescido do Inquérito Civil[76] (Processo nº 003/96), que cobrava medidas de adequação das áreas de disposição dos RSU (MAZZINI, 1997).

A topografia foi um fator que influenciou a escolha das antigas áreas dos lixões, principalmente as características de declividade das áreas localizadas no setor leste. Algumas áreas que estavam próximas aos fundos de vale foram ocupadas clandestinamente. Após o encerramento das atividades de disposição de resíduos, as áreas recebiam cobertura de terra, porém muitas continuaram a ser utilizadas como depósitos de lixo, pelos moradores do entorno, devido o hábito desta prática. Não houve

[74] A forma de disposição denominada “Aterro Controlado”, também constitui-se em uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, em forma de lixo. Apesar de minimizar parcialmente os impactos ambientais, por utilizar princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho, tende a evidenciar os impactos ocorrentes na situação de lixão, à medida que geralmente não dispõe de impermeabilização de base e nem de sistemas de tratamento do chorume ou de dispersão dos gases gerados (HENARES,2006).

[75] No Plano Diretor, de 1996, foi expressa a preocupação com os RSU e os problemas causados pela sua disposição inadequada (TAKENAKA, 2008) na citação: “A falta de conhecimento técnico e de planejamento de longo prazo teve graves consequências ambientais para a cidade. Outrora, o lixo coletado, proveniente de qualquer origem, fora lançado em aterros de boçorocas nas periferias urbanas, contaminando inclusive lençóis freáticos” (Plano Diretor de Presidente Prudente, 1996, p.9).

[76] Inquérito Civil (Processo nº 003/96) instaurado pela Promotoria do Meio Ambiente de Presidente Prudente com o fim de esclarecer fatos divulgados na imprensa escrita do município acerca dos lançamentos de resíduos sólidos à céu aberto sem tratamento (TAKENAKA, 2008).

medidas para a reintegração ou recuperação destas áreas. Em poucos casos foram construídas praças, geralmente, sem planejamento e, que posteriormente, apresentaram problemas de rebaixamento ou subsidência, decorrente da movimentação do terreno, pela decomposição de substâncias orgânicas e por explosões originadas por gases (MAZZINI, 1997; HENARES, 2006).

A escolha das áreas para a disposição dos RSU em Presidente Prudente – SP esteve relacionada ao histórico de expansão[77] urbana e apropriação dos compartimentos do relevo, que ocorreu influenciada pelas características topográficas. Inicialmente, no setor oeste, e posteriormente para o setor leste. O relevo no setor oeste é definido por possuir compartimentos mais suaves, de espigões em colinas sedimentares suavemente onduladas, com declividades que variam entre 4 e 8%. Já o setor leste é marcado por declives acentuados e definido por um conjunto de espigões em colinas sedimentares convexizadas, de pequenas extensões, vertentes mais inclinadas chegam a ter mais de 12% de declividade e com uma dentrificação mais acentuada da rede de drenagem (SUDO e LEAL, 1996).

Outro fator, que merece destaque, com relação à escolha das áreas de depósitos de RSU, nos setores leste e norte, foi a proximidade de núcleos ocupados pela população com menores condições financeiras. Na década, de 1990, houve uma política para afastar os grupos socialmente excluídos, das áreas centrais, e direcioná-los para o setor leste, onde havia pouca infraestrutura e equipamentos públicos. Houve a ocupação de determinados compartimentos do relevo, como os fundos de vale e áreas com altas declividades, considerados de alta fragilidade à ocupação, ampliando a possibilidade de uma situação de vulnerabilidade[78] e de provocar impactos socioambientais (AMORIM, 1993; MELAZZO, 1993; SPOSITO, 1983, PEDRO MIYAZAKI, 2014).

No setor oeste, os fundos de vale, são áreas de alta fragilidade[79] que não permitem a ocupação. São os compartimentos do relevo onde ocorre o acúmulo de sedimentos oriundos do processo de entalhamento do talvegue. Encontram-se[80] os solos hidromórficos (Planossolos e Gleissolos). A profundidade do aquífero freático encontra-se no máximo a dois metros, o que o torna bastante susceptível a contaminação quando ocupado. As

[77] Mais informações podem ser obtidas nos trabalhos de: Honda (2011), Ikuta (2003), Melazzo (1993), Camargo (2007), Hora (1997), Pedro Miyazaki (2015).

[78] Pedro Miyazaki (2015).

[79] A fragilidade ambiental é um conceito utilizado nos estudos geográfico-geomorfológicos que procuram avaliar o estado do equilíbrio dinâmico dos processos naturais (PEDRO MIYAZAKI, 2015).

[80] Fushimi (2013).

declividades atingem 5% de inclinação. Ocorrem dois processos morfodinâmica significativos, i) os processos de agradação decorrentes, que erodem os compartimentos geomorfológicos, a montante e transportam os sedimentos e outros materiais para os fundos de vale, sendo este um compartimento de agradação; ii) as inundações ou cheias que ocorrem em fundos de vale onde há cursos d'água, localizados nas planícies aluviais e em determinados períodos são inundadas devido a dinâmica natural dos cursos d'água (PEDRO MIYAZAKI, 2015).

Ao considerar o histórico de escolha das áreas onde os RSU foram depositados, entende-se que existe uma relação entre as características do relevo e dinâmica da produção do espaço urbano em Presidente Prudente – SP, onde áreas consideradas de alta fragilidade como os fundos de vale e áreas com processos erosivos foram preferencialmente utilizadas para esta prática.

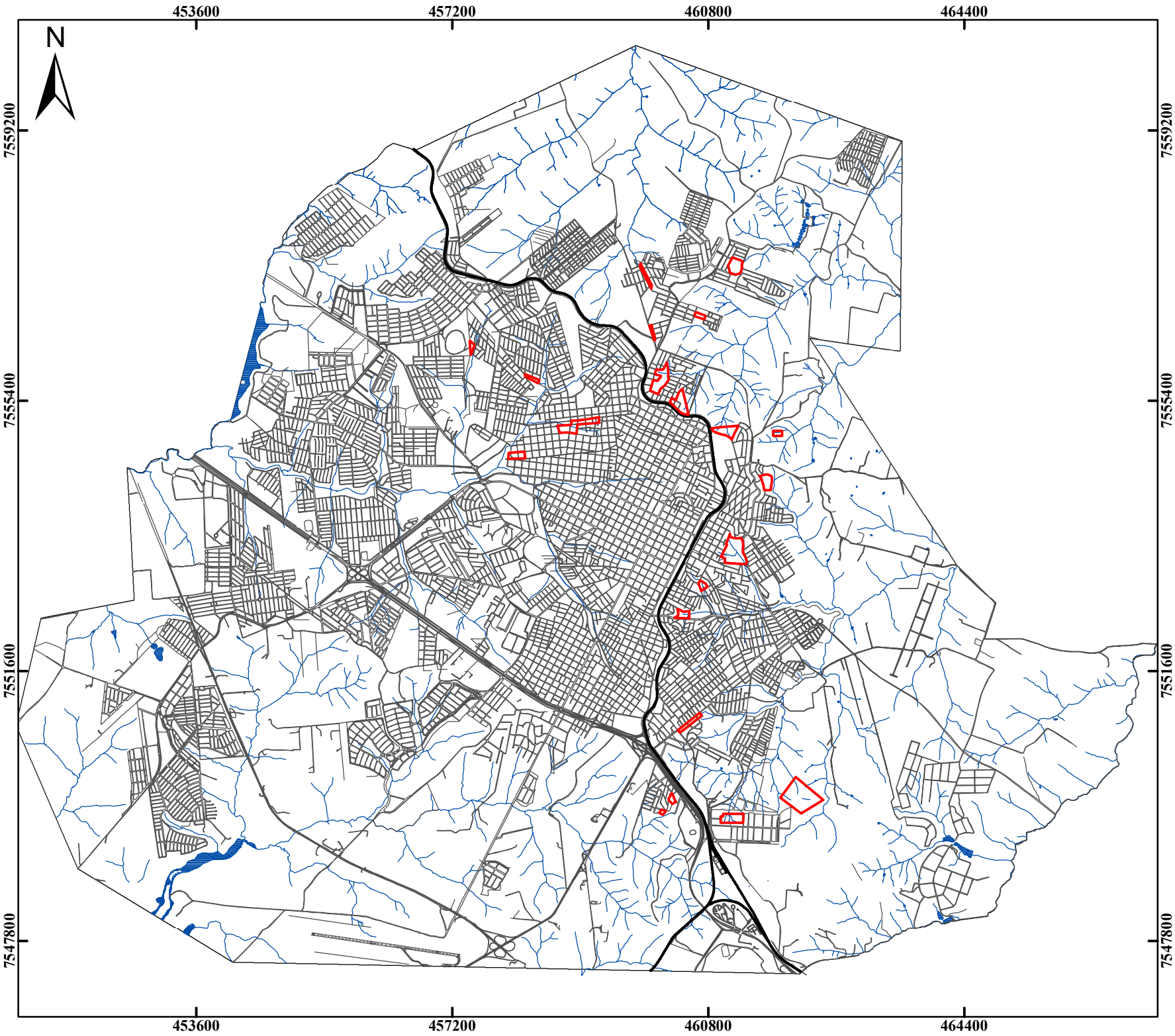
Para realizar a posterior classificação e identificação das alterações ocorridas nas antigas áreas de disposição de RSU, na categoria dos Antropossolos Líxicos, entende-se que é importante realizar a caracterização das áreas, para verificar quais são as características de relevo e solo predominantes nestas áreas, se há a ocorrência de um padrão para de distribuição, bem como, para contribuir nas discussões dos autores que afirmam que a disposição dos RSU, em Presidente Prudente – SP, foi realizada em áreas de fundos de vale e compartimentos com altas declividades. Optou-se por utilizar a modelagem dos atributos do relevo e o mapeamento preditivo de solos, com objetivo de responder as questões: Quais as características predominantes de relevo e solos nas antigas áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos em Presidente Prudente? Qual a sua relação com a produção do espaço? Qual a sua relação com as características do relevo? Visando, assim, identificar a ocorrência de um padrão de características de relevo preferenciais para a disposição dos RSU.

5.3. MATERIAL E PROCEDIMENTOS

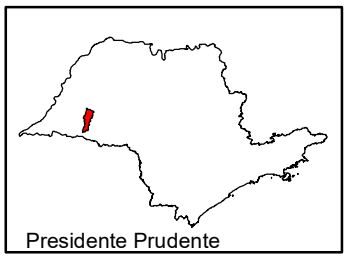
5.3.1. Área de estudo

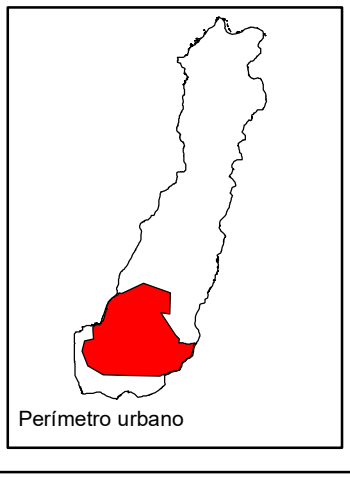
O recorte para estudo proposto se refere às áreas identificadas por Mazzini (1997), que por meio de trabalhos de campo identificou 29 áreas que foram utilizadas para a disposição dos RSU, do período de 1923 até 1997. Entre áreas a maioria está localizada em áreas periféricas, na zona norte e leste, em terrenos da prefeitura, em geral em áreas com altos declives ou erosões urbanas próximas à fundos de vale e a nascentes, conforme pode ser observado no Mapa 10.

Mapa 10:
Localização das áreas de antigos depósitos de resíduos sólidos no perímetro urbano de Presidente Prudente – SP









Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada
0 1 2 4
Km

Elaboração
Janaina Natali Antonio

Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

Instituições e apoio

unesp
UNSW AUSTRALIA
CAPES
FAPESP

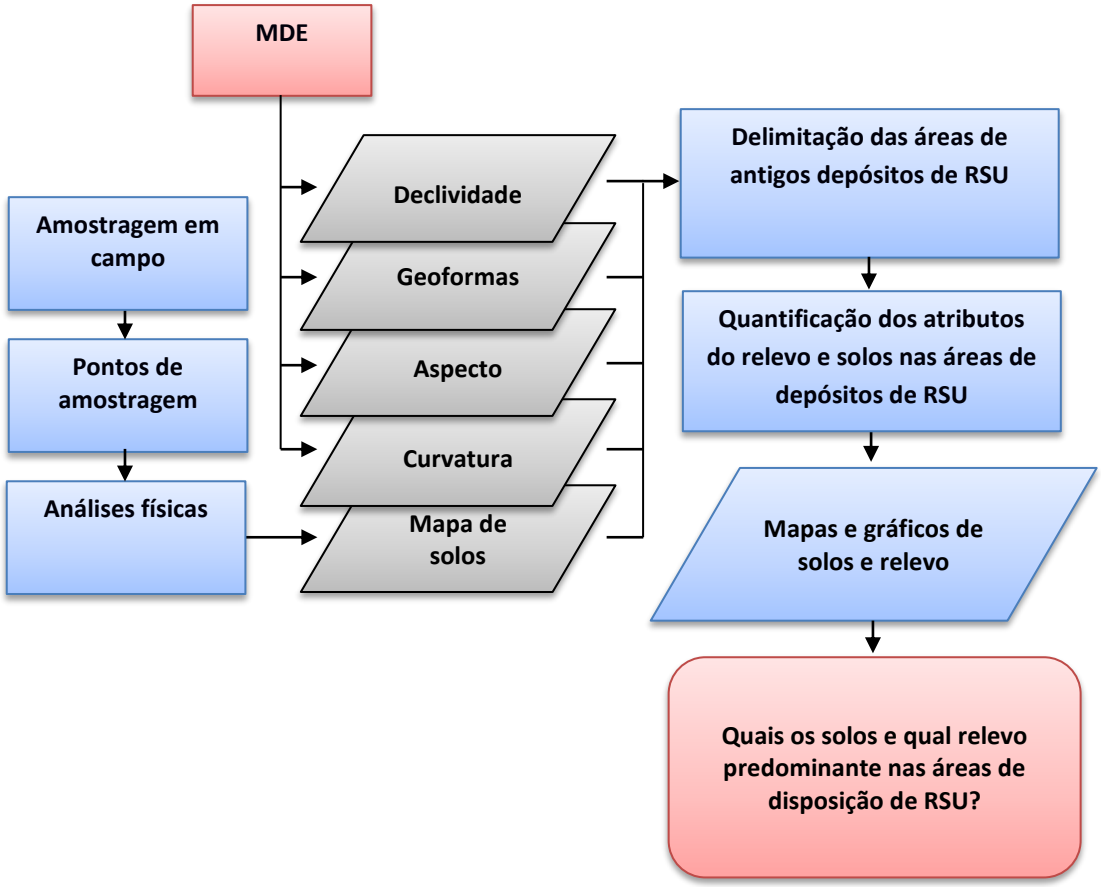
Legenda

- Ferrovia
- Malha urbana
- Drenagem
- Perímetro urbano
- Antigas áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos

5.3.2. Elaboração de mapas com atributos do relevo

A elaboração de um MDE da área de estudo foi o procedimento inicial para a obtenção dos modelos com características do relevo. Para a elaboração do MDE e dos mapas derivados, foram utilizados o *software* ArcGIS 10.2[81] e a base digital de curvas de nível[82]. Os atributos do relevo utilizados foram: elevação, perfil de curvatura, declividade, geoformas e aspecto[83], que combinados com os resultados das amostras texturais e morfológicas foram organizados por tabulação cruzada, e processados com uso de redes neurais artificiais (RNA) para a geração do mapa preditivo de solos, conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 4



Fonte: elaboração própria, 2017.

[81] ArcGis é uma marca registrada da ESRI Inc., Redlands, CA, EUA.

[82] Com equidistância de 10 metros, cedidas pela Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, na escala de 1:20.000.

[83] O mapa de aspecto corresponde ao de orientação das vertentes.

O mapa de curvatura do relevo teve suas categorias definidas após diversos testes para adequação dos tipos de curvatura às informações das curvas de nível. Foram definidas três classes (côncava, convexa e retilínea), com seleção de intervalo de -0,5% a +0,5% para a classe de vertentes retilíneas, com base em Valeriano (2003) e pela proximidade da delimitação feita manualmente em uma área de teste.

Para a elaboração do mapa de declividade, foram utilizados os parâmetros indicados pela EMBRAPA (2013), que propõe a utilização das seguintes classes de declividades: 0 – 3% (plano), 3 – 8% (suave ondulado), 8 – 20% (ondulado), 20 – 45% (forte ondulado), 45 – 75% (escarpado) e acima de 75% (montanhoso).

Para a elaboração do mapa de geoformas, foram utilizados os conceitos de Evans (2016) e Reuter e Nelson (2009), baseados em MacMillan e Pettapiece (1997), que consideram quatro tipos de geoformas: *Crest* – *Shoulder* (topo), *Upper* – *Mid Slope* (alta vertente), *Mid* – *Lower Slope* (média vertente) e *Toe* – *Depression* (fundo de vale).

O mapa de aspecto define a direção do fluxo de água e está relacionado diretamente com a evapotranspiração, insolação, teor de água no solo e, por consequência, o grau de evolução dos solos (MOORE et al., 1993; WILSON e GALLANT, 2000). A elaboração do mapa de aspecto foi baseada em Reuter e Nelson (2009).

O mapa preditivo de solos foi elaborado por meio do processamento das variáveis de entrada: declividade, geoformas, aspecto e curvatura, os dados foram agrupados em arquivo único, com 4 bandas, para a coleta de amostras de treinamento e o processamento das RNAs. A coleta de amostras de treinamento foi realizada de acordo com a localização dos perfis de solos coletados para análises granulométricas e morfológicas para a identificação dos tipos de solos, e utilizou-se como critério de verificação os padrões de relevo relacionados aos tipos de solos proposto por Fushimi (2012).

5.4. RESULTADOS E ANÁLISES

O levantamento das áreas utilizadas para a disposição dos RSU em Presidente Prudente – SP, por Mazzini (1997), permitiu compreender a dinâmica envolvida nas escolhas dessas áreas. Ao longo do tempo, a escolha das áreas para disposição dos RSU não seguiu procedimentos técnicos, porém obedeceu uma lógica imediatista, de realizar a coleta de resíduos das moradias e direcioná-lo à um destino longe dos olhos da população. Naquele momento as áreas que atendiam esse requisito eram as mais distantes do centro ou das áreas com concentração de moradias, em sua maioria localizadas nos setores norte e leste da cidade. Entretanto, com o passar do tempo essas áreas foram ocupadas,

inicialmente, pela população de baixa renda e atualmente se estabeleceu como um bairro atendido com equipamentos urbanos.

As características predominantes para a escolha das áreas de disposição dos RSU foi a localização em fundos de vales ou locais que possuíam processos erosivos, tais como ravinas e voçorocas, com a justificativa de conter os processos erosivos. Entretanto, em alguns casos, ocorreu o oposto, pois as áreas suscetíveis à erosão tornaram-se mais instáveis com a deposição dos resíduos sólidos (MAZZINI, 1997). A escolha sem planejamento das áreas para disposição de RSU causou uma alta mobilidade destas áreas, pois em geral a disposição era realizada durante pouco tempo, em alguns casos por reclamações dos morados das proximidades, outros pelo tamanho da área ser pequeno e não comportar grandes quantidades ou longos períodos de disposição de RSU. Essa situação pode ser observada no Quadro 12 com o tempo médio de disposição dos resíduos e as principais características de cada área.

Quadro 12: Locais de disposição de resíduos sólidos urbanos em Presidente Prudente – SP no período de 1923 a 1997

Nº	Ano	Local/bairro	Tempo médio de disposição	Características
1	1923	Centro	1923 e 1924	Erosão/Voçoroca
2	1969	Vila Charlote	9 meses	Fundo de vale
3	1970/72	Jardim Primavera	2 anos	Erosão
4	1973	Vila Verinha	Poucos meses	Fundo de vale
5	1974	Jardim Santa Filomena	Poucos meses	Fundo de vale
6	1975/77	Parque São Judas Tadeu	Sem informação	Erosão em fundo de vale
7	1976	Vila Geni	Sem informação	Erosão
8	1977	Jardim Monte Alto	2 meses	Erosão
9	1977/79	Jardim Duque de Caxias	Sem informação	Voçoroca
10	1978	Parque Alexandrina (área 1)	4 meses	Erosão
11	1981	Parque Furquim (área 1)	9 meses	Fundo de vale
12	1982	Vila Marcondes	Poucos meses	Erosão em fundo de vale
14	1982	Parque São Matheus	Poucos meses	Sem informação
15	1983	Vila Nova Prudente	6 meses	Erosão
16	1985	Parque Furquim (área 2)	3 meses	Erosão
17	1986	Curtume Crepaldi	Poucos meses	Erosão
18	1987	Parque Furquim (área 3)	6 meses	Erosão em fundo de vale
19	1988	Watal Ishibashi	Poucos meses	Erosão
20	1988	Humberto Salvador	5 meses	Erosão
21	1989	Vila Marcondes (área 2)	8 meses	Fundo de vale

22	1990	Jardim Santa Filomena	Poucos meses	Fundo de vale
23	1990	Vila Planalto	5 meses	Fundo de vale
24	1990	Vila Brasil	7 meses	Fundo de vale
25	1991	Parque Furquim (área 4)	2 anos e 4 meses	Fundo de vale/ nascente
26	1994	Vila Operária	1 anos e 4 meses	Fundo de vale/erosão
27	1996	Vila operária (área 2)	Muito tempo	Sem informação
28	1996	Jardim Guanabara	Sem informação	Fundo de vale/erosão
29	1997	Vila Angélica	Sem informação	Fundo de vale
	1997	Núcleo Industrial[84]	20 anos	Fundo de vale/ nascente

Fonte: elaboração própria, 2017, a partir de Mazzini (1997) e Martin e Mazzini (2010)

As áreas de depósitos de resíduos sólidos foram desativadas e cobertas com uma camada de terra. Porém, como foram simplesmente abandonadas, algumas passaram a ter outros usos, como campos de futebol ou praças públicas sem planejamento e equipamentos adequados. Em alguns casos, as áreas foram utilizadas para construção civil, o que pode representar risco para os moradores devido à instabilidade de terrenos com estas características, e em outras continuaram a ser objeto de depósitos de lixo pelos moradores do entorno, devido a criação do hábito desta prática (MAZZINI, 1997). Como o caso da área localizada no Parque Furquim, onde pode ser visualizada a presença de resíduos, conforme a Figura 18.

Figura 18: Presença de RSU – Antiga área de disposição de RSU – Parque Furquim



Fonte: Acervo do autor, 2017.

A elaboração dos mapas com atributos do relevo e o mapeamento preditivo de solos permitiu realizar um levantamento das características dessas áreas, juntamente com as descrições das áreas elencadas por Mazzini (1997), para identificar as classes de

[84] Área destinada à disposição final de RSU a partir da divulgação do Plano Diretor, de 1996, e utilizada atualmente.

declividades, curvatura, o compartimento do relevo, as altitudes, e os tipos de solos que predominam nestas áreas, visando identificar a possível existência de um padrão de características de relevo e solos. A identificação dessas características podem ser uteis para a elaboração de um plano de recuperação das áreas e, neste caso, especificamente, servirá para identificar as características dos Antropossolos líxicos, conforme classificação proposta pela EMBRAPA (2004).

A elevação na área urbana do município varia em torno de 280 a 480 metros, sendo que o perímetro urbano encontra-se nas áreas mais altas com amplitudes a partir dos 360 metros. Assim, nas áreas de depósitos de RSU 44% estão situadas nas altitudes entre 440 a 460 metros e 30% no compartimento de 420 a 440.

Considerando a área total do município de Presidente Prudente – SP, as de declividades médias ultrapassam pouco mais de 20%, seguindo a proposição de classificação da EMBRAPA (2013). As declividades suaves onduladas (3 – 8%) representam 31% e as onduladas (8 – 20%) representam 34% do total da área, as baixas declividades, planas (0 – 3%) totalizam 21% e as altas, de relevo forte ondulado (aqui consideramos acima de 20%), representam 13%. Para as áreas de antigos depósitos de RSU predominam as declividades onduladas (8 - 20%) com 38% das áreas e forte ondulado (acima de 20%) com 33%, enquanto as áreas planas (0 – 3%) representam 11% e de relevo suave ondulado (3 – 8%) 18% do total das áreas.

O mapa preditivo de solos possibilitou verificar que as áreas de antigos depósitos de resíduos possuem maior ocorrência em áreas de Argissolos, predominantes no município, e estão predominantemente associados às declividades de 0 – 3%, mas também presentes nas declividades de 3 – 8% e 8 – 20%, posições hipsométricas de 420 e 440 metros e pertencentes ao domínio de vertentes retilíneas em áreas de altas vertentes, orientadas para as direções Norte e Nordeste. E especificamente nas áreas de disposição dos RSU esses solos representam 42% do total.

A segunda classe de solos mais representativa nas áreas de disposição dos RSU com 28% do total são os solos hidromórficos, representados pelos Planossolos e Gleissolos, os quais estão situados em planícies aluviais e na parte inferior das vertentes. Devido à grande diferença textural entre o horizonte A ou horizonte E e o horizonte B, são vulneráveis à erosão hídrica (FUSHIMI, 2012), fazendo com que sejam necessárias práticas conservacionistas de suporte, como terraceamento (OLIVEIRA, 1999).

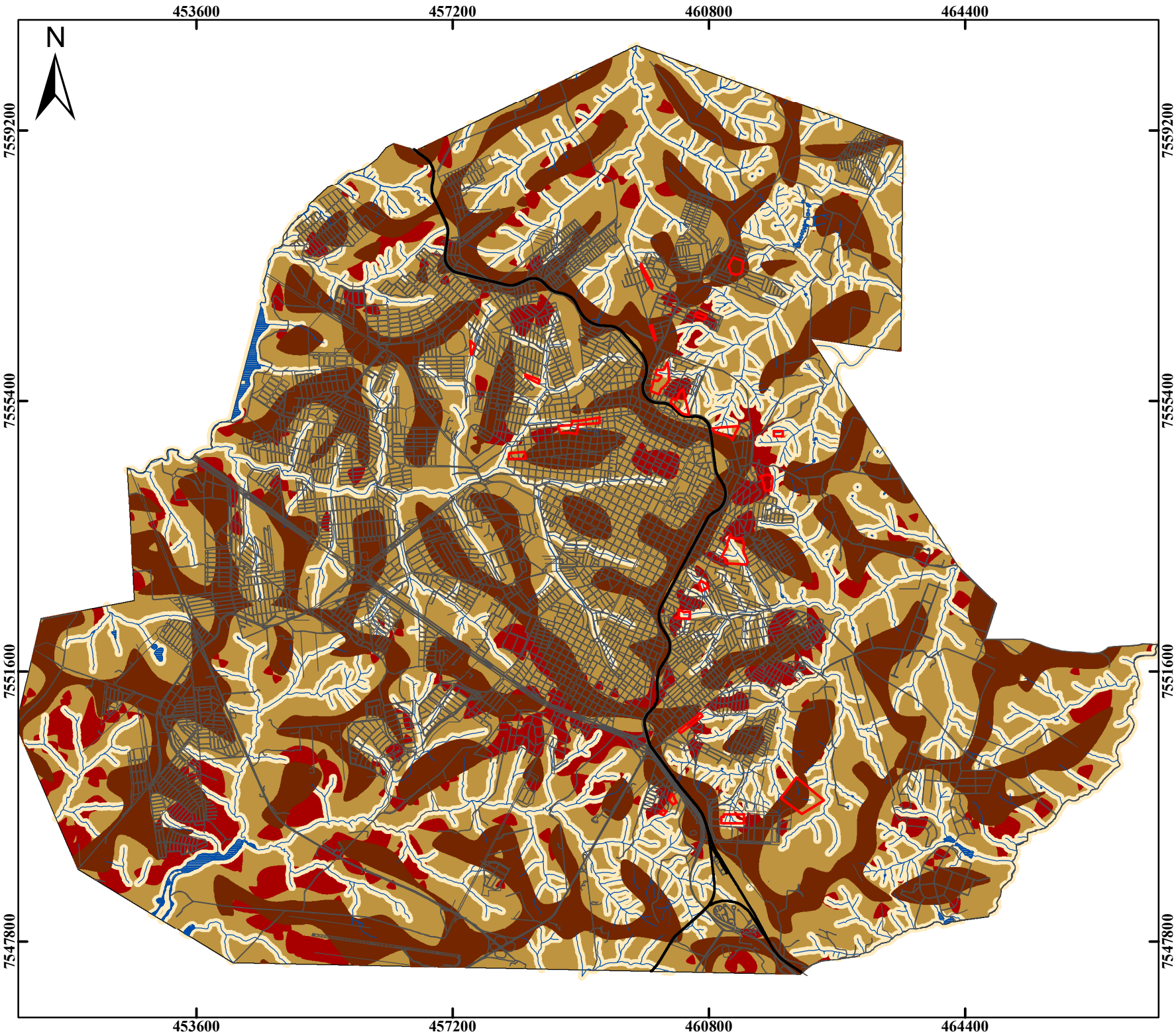
Na sequência está a classe do Latossolos, com 18% do total, os quais na área total do município predominam nas áreas de declividades de 3 a 8%, em altitudes médias de

460 a 480 metros, em curvaturas retilíneas e localizadas no topo e nas altas vertentes. Os menos representativos são os Neossolos com 11%, associados as áreas de altas declividades (acima de 20%).

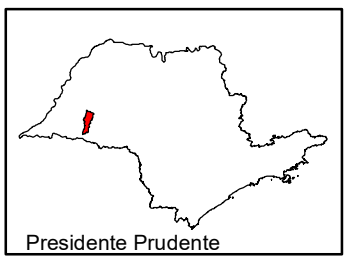
Nas áreas com predomínio de Argissolos, com presença significativa nos solos hidromórficos, representados pelos Planossolos e Gleissolos e que pela posição no relevo (fundos de vales chatos, alvéolos e planícies aluviais), devido à facilidade de contaminação dos aquíferos, o uso e/ou ocupação em Planossolos e Gleissolos devem ser realizados de maneira cautelosa e racional (FUSHIMI, 2012).

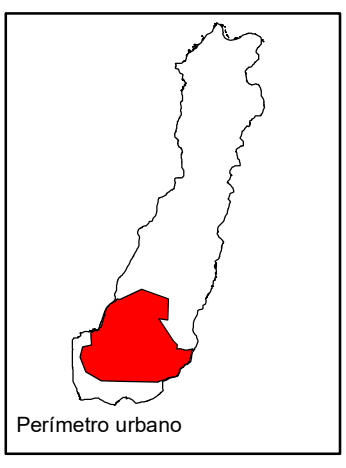
Em relação às geoformas, as áreas de antigos depósitos de RSU estão predominantemente localizadas em fundos de vale, totalizando 45%, enquanto as médias e altas vertentes somadas representam 33% e os 22% restantes estão localizados nas áreas de topo. Tais dados confirmam o padrão de relevo escolhido para realizar os depósitos de RSU apresentado por Mazzini (1997). Sobre a curvatura do relevo, as áreas de antigos depósitos de RSU estão localizadas, predominantemente, nas curvaturas côncavas, representando 40% do total das áreas, seguidas pelas vertentes retilíneas com 32% e das vertentes convexas com 28%. Sobre o aspecto, 33% das áreas estão orientadas para leste e 27% para o norte.

Mapa 11:
Preditivo de solos do perímetro urbano de Presidente Prudente – SP
e antigas áreas de depósito de resíduos sólidos urbanos









Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada

0 1 2 4 Km

Elaboração
Janaina Natali Antonio

Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

Instituições e apoio

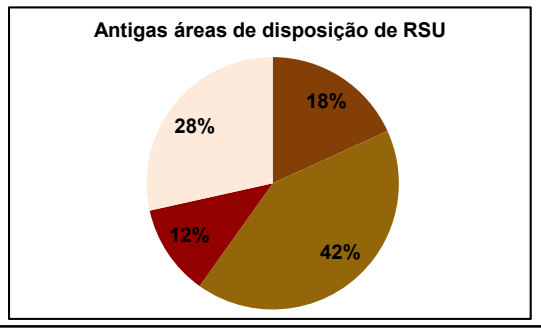
unesp UNSW AUSTRALIA CAPES FAPESP

Legenda

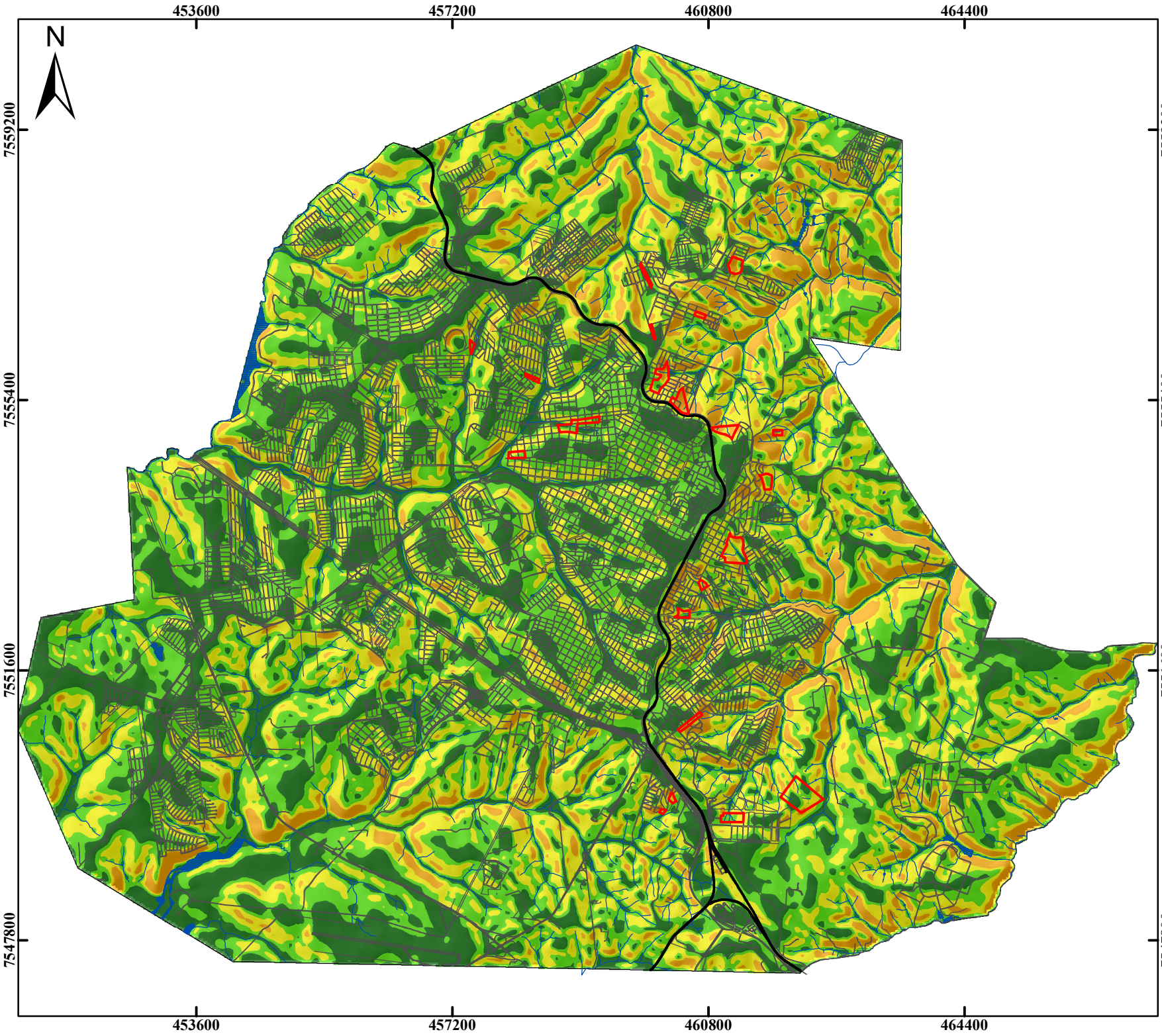
- Ferrovia
- Malha urbana
- Drenagem
- Perímetro urbano
- Antigas áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos

Classes de solos

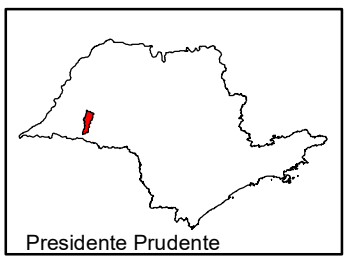
- Solos desenvolvidos (Associação Latossolos)
- Solos rasos (Associação Neossolos)
- Solos rasos a desenvolvidos (Associação Argissolos)
- Solos hidromórfico (Associação Gleissolos e Planossolos)

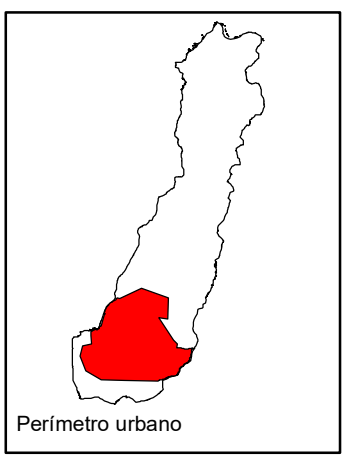


Mapa 12:
Declividade do perímetro urbano de Presidente Prudente – SP
e antigas áreas de depósito de resíduos sólidos urbanos









Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada
0 1 2 4 Km

Elaboração
Janaina Natali Antonio

Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

Instituições e apoio

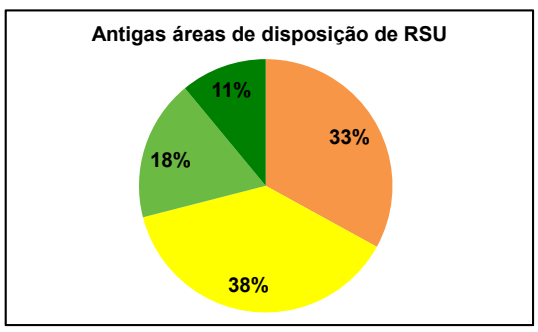
unesp UNSW AUSTRALIA CAPES FAPESP

Legenda

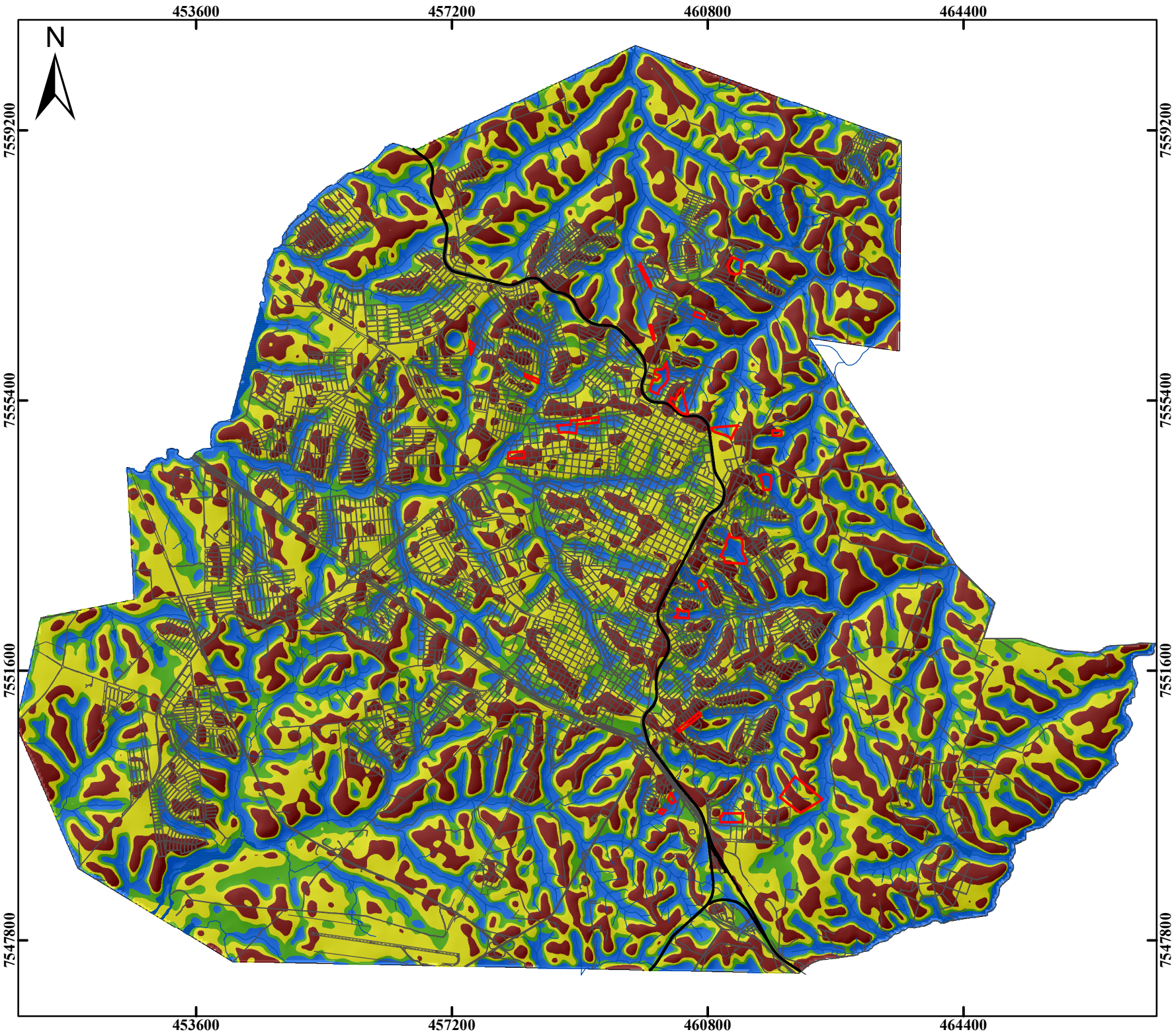
- Ferrovia
- Malha urbana
- Drenagem
- Perímetro urbano
- Antigas áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos

Classes de declividade (%)

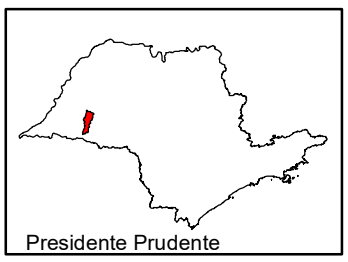
- 0 ├ 3
- 3 ├ 8
- 8 ├ 20
- > 20

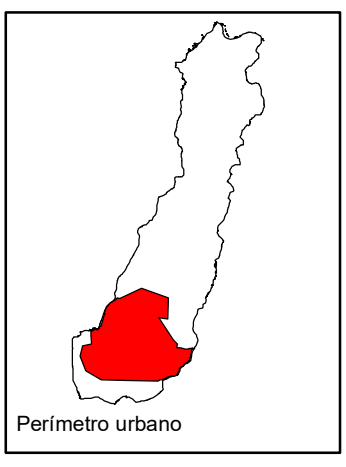


Mapa 13:
Geoformas do perímetro urbano de Presidente Prudente – SP e antigas áreas de depósito de resíduos sólidos urbanos









Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada

0 1 2 4 Km

Elaboração
Janaina Natali Antonio

Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

Instituições e apoio

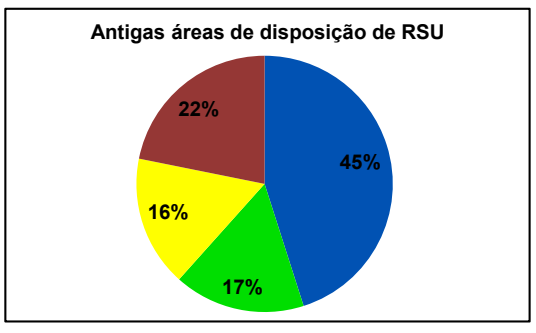
unesp UNSW AUSTRALIA CAPES FAPESP

Legenda

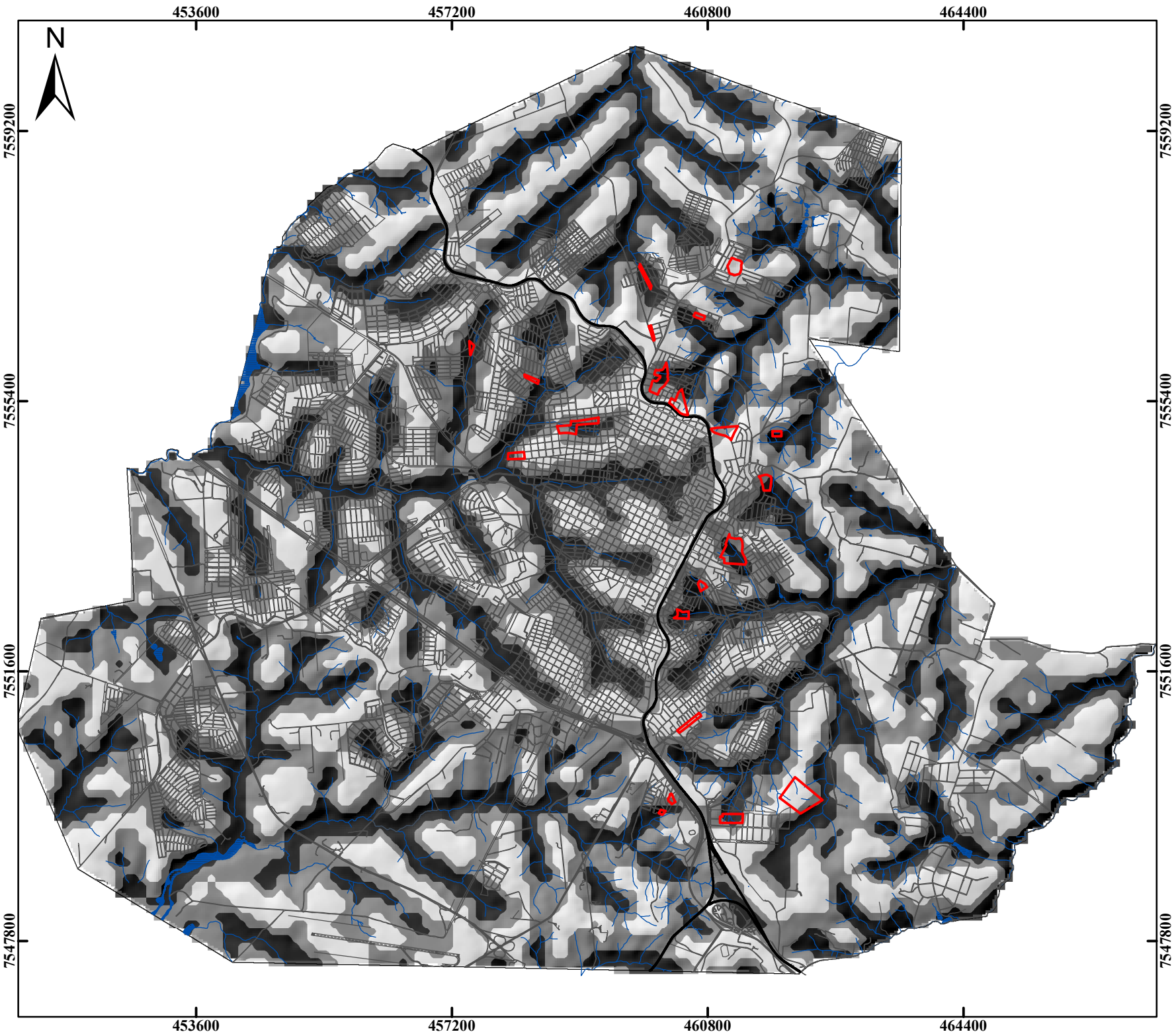
- Ferrovia
- Malha urbana
- Drenagem
- Perímetro urbano
- Antigas áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos

Geoformas

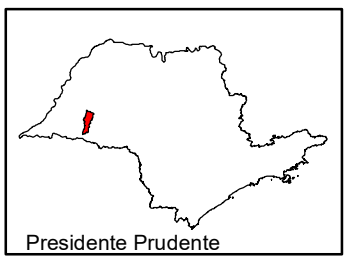
- Topo
- Alta vertente
- Média vertente
- Fundo de vale

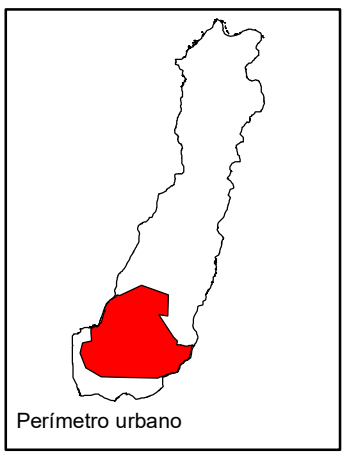


Mapa 14:
Curvatura do relevo do perímetro urbano de Presidente Prudente – SP e antigas áreas de depósito de resíduos sólidos urbanos









Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada

0 1 2 4 Km

Elaboração
Janaina Natali Antonio

Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

Instituições e apoio

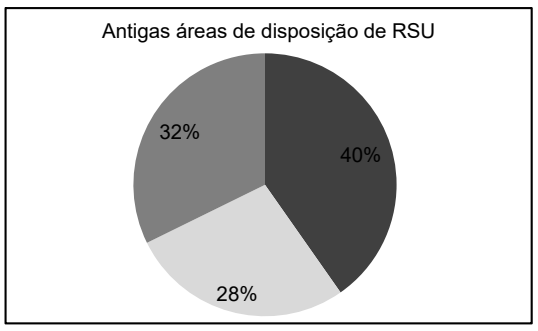
unesp UNSW AUSTRALIA CAPES FAPESP

Legenda

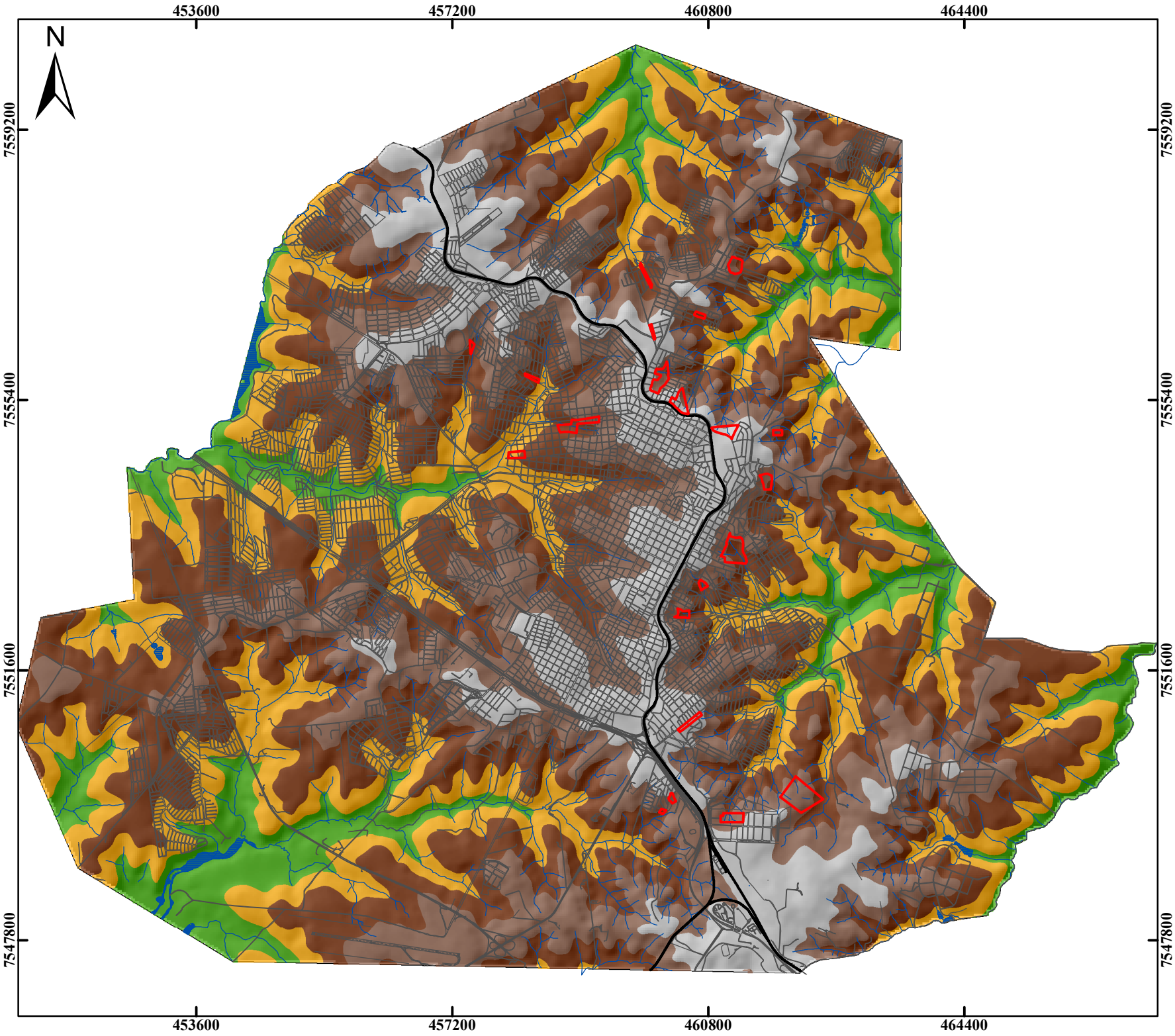
- Ferrovia
- Malha urbana
- Drenagem
- Perímetro urbano
- Antigas áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos

Curvatura

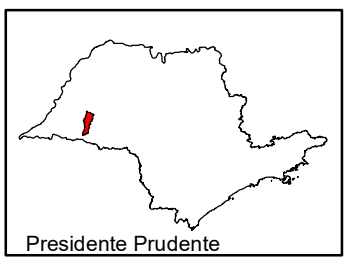
- Côncava
- Retilínea
- Convexa

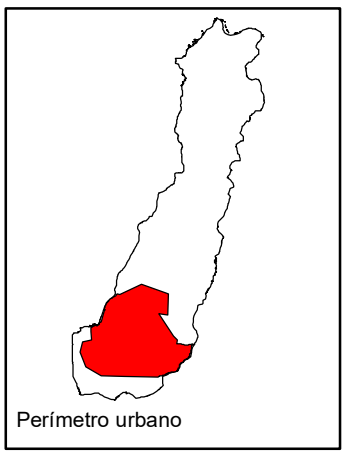


Mapa 15:
Hipsometria do perímetro urbano de Presidente Prudente – SP
e antigas áreas de depósito de resíduos sólidos urbanos









Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada

0 1 2 4 Km

Elaboração
Janaina Natali Antonio

Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

Instituições e apoio

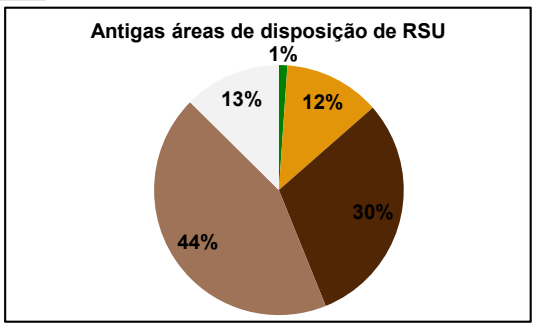
unesp UNSW AUSTRALIA CAPES FAPESP

Legenda

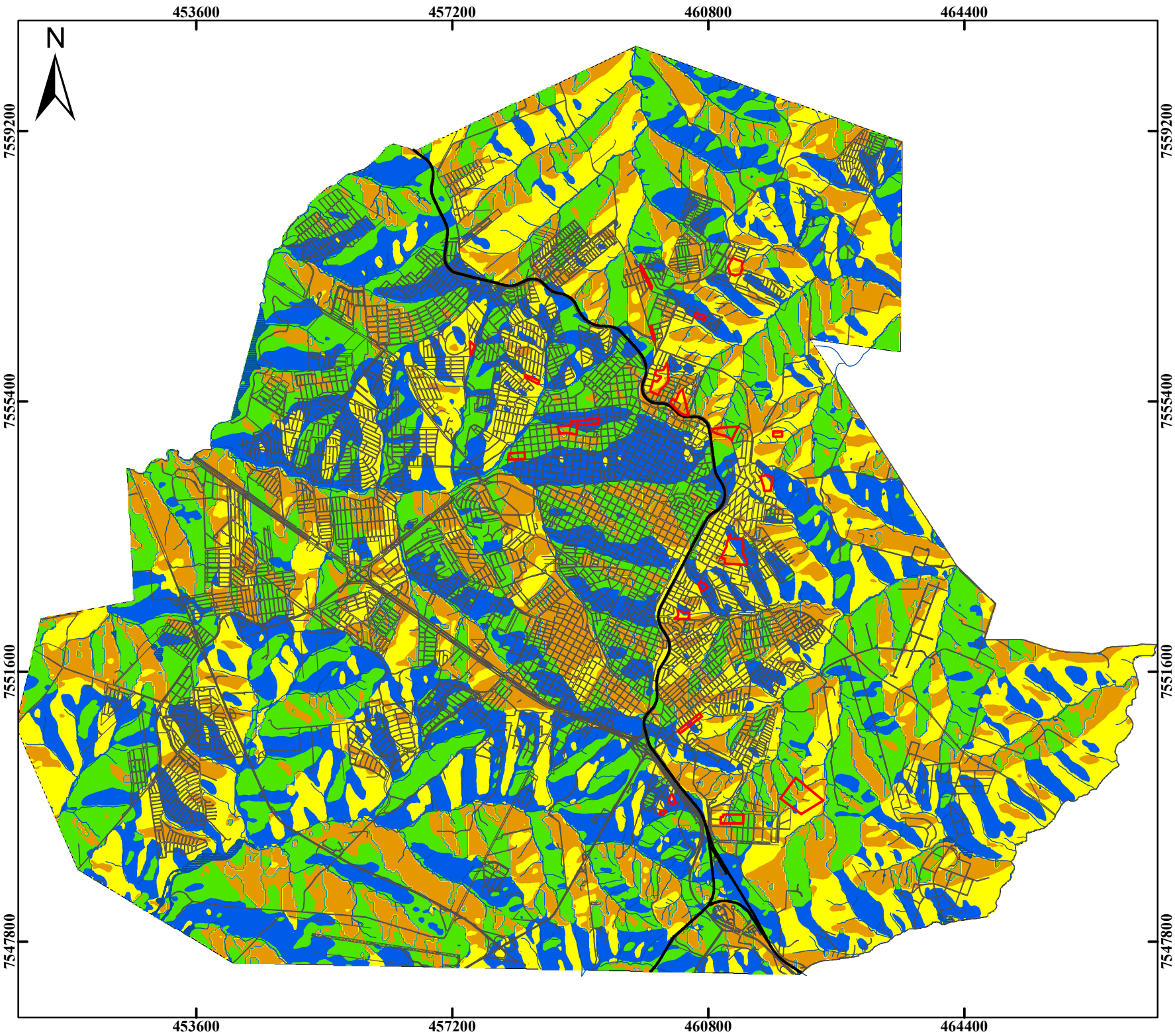
- Ferrovia
- Malha urbana
- Drenagem
- Perímetro urbano
- Antigas áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos

Classes hipsométricas (metros)

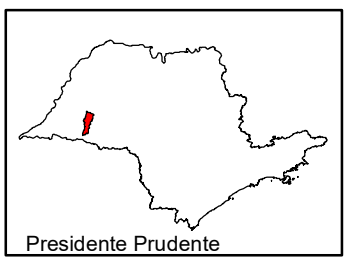
- 460 ├ 480
- 440 ├ 460
- 420 ├ 440
- 400 ├ 420
- 380 ├ 400

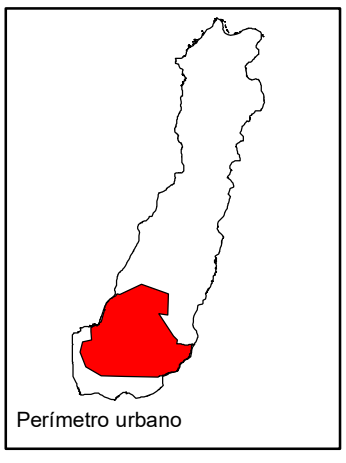


Mapa 16:
Aspecto do perímetro urbano de Presidente Prudente – SP
e antigas áreas de depósito de resíduos sólidos urbanos









Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada

0 1 2 4 Km

Elaboração
Janaina Natali Antonio

Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

Instituições e apoio

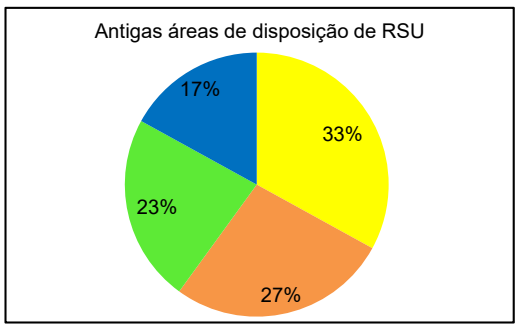
unesp UNSW AUSTRALIA CAPES FAPESP

Legenda

- Ferrovia
- Malha urbana
- Drenagem
- Perímetro urbano
- Antigas áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos

Aspecto

- Norte
- Leste
- Sul
- Oeste



CONSIDERAÇÕES

A problemática que envolve os RSU está, diretamente relacionada, i) à dinâmica da sociedade e sua relação com a natureza, ii) a forma e o ritmo da produção do espaço urbano, iii) a geração e o consumo de novos produtos, principalmente os descartáveis, e, iv) as políticas e práticas de gerenciamento de RSU, adotadas pelas diferentes escalas de poder público. Materializados nas áreas de depósitos de RSU, principalmente em compartimentos do relevo e solos com características de fragilidade.

A relação entre a sociedade e natureza é materializada, na paisagem, a partir de combinações desiguais de tempos e técnicas. Os objetos técnicos-informacionais tiveram uma difusão mais generalizada e rápida que os precedentes, e sua difusão em todos os lugares gerou a coexistência de momentos históricos diferentes, formando um meio híbrido, influenciando diretamente a produção do espaço, não apenas a sobreposição do meio técnico sobre o meio natural. A acumulação desigual de tempos, expressa uma condição ambiental diversificada, e contribui para entender os processos sociais responsáveis pela sua constituição. A reconstrução da paisagem, do presente ao passado (rugosidades), é um caminho para compreender as formas de apropriação social da natureza (SANTOS, 2002).

O aumento da população, principalmente nas áreas mais urbanizadas, é um dos fatores que contribui para o aumento da produção dos RSU, porém, não se restringe somente a esse aspecto. À medida que a técnica/tecnologia avança, aumentam também a quantidade de produtos gerados que precisam ser consumidos, e para que esta ação seja realizada satisfatoriamente para a reprodução do capitalismo, as campanhas publicitárias cumprem o papel de estimular e criar novas necessidades e novos desejos nos consumidores, que passam a assimilar cada dia novos produtos, visto a sua obsoletização acelerada.

Com o aumento do consumo e da produção dos RSU, novas e maiores áreas são necessárias para dispor os resíduos gerados. A escolha de áreas que atendam as exigências para implantação de aterros sanitários não é uma tarefa simples, pois, exige diversos critérios técnicos, como os indicados pela ABNT 1997/NBR 10.157, entre estes, a escolha de uma área com capacidade/tamanho de vida útil de no mínimo 10 anos. Para que seja viável essa decisão, devem ser considerados a média de produção RSU que serão destinados a estes aterros. Uma alternativa para o aumento da vida útil de aterros sanitários é a implantação de um sistema de coleta seletiva eficiente, que possa atender toda a população, e deve contar com um sistema de coleta diferenciado da coleta comum, bem como por um processo de sensibilização da população, para que

realizem a separação dos materiais, esta etapa é muito importante, porém está relacionada a questões culturais e exige a criação de novos hábitos.

A ocupação das áreas urbanas segue uma determinada lógica de apropriação capitalista, onde determinadas áreas são escolhidas para determinados usos, como as áreas comercias, industriais e residenciais, de acordo com critérios variados. A distribuição de uso das parcelas urbanas sua e valorização pode ser determinada, em alguns casos, por características naturais, tais como, i) com relevos suaves, devido facilidades de engenharia para construção, ii) áreas distantes de rios ou fundos de vale que podem causar inundações, iii) presença de infraestrutura preexistente ou facilidade de acesso. A desvalorização ocorre pela presença de características opostas as mencionadas. A distribuição de usos é influenciada por agentes imobiliários, que agem de forma complexa ao reproduzirem relações de produção capitalistas e conflitos sociais (CORREA, 2005).

A forma com que os agentes produtores do espaço urbano atuam determina o tipo de uso de cada parcela da cidade. No caso de Presidente Prudente – SP a expansão da malha urbana foi influenciada, em parte, pelas características do relevo, sendo que as áreas com relevos mais suaves, no setor oeste, foram mais valorizadas e ocupadas por loteamentos para população de maior poder aquisitivo, enquanto que, as áreas com maiores declividades, no setor leste, foram ocupadas com moradias da população de menor poder aquisitivo. A combinação de características de fragilidade ambiental e exclusão social, no setor oeste, tornou grande parte das áreas, de alta vulnerabilidade (PEDRO MIYAZAKI, 2014).

A disposição dos RSU em Presidente Prudente – SP até o ano de 1997 foi realizada em 29 áreas diferentes. Em geral a disposição durou pouco tempo em cada uma destas áreas, de forma que pode-se inferir que não houve planejamento prévio para escolha das áreas. As antigas áreas de disposição de RSU estão predominantemente localizadas em fundos de vale, áreas com altas declividades, e algumas com processos erosivos que deveriam receber atenção em relação a sua forma de ocupação, pois, as áreas de fundos de vale devem ser preservadas ou ter um uso planejado, visto que sua ocupação interfere na dinâmica dos cursos de água, que podem ser assoreados pela retirada da vegetação, construção de moradias, e no caso de disposição de RSU pode causar a contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

As práticas geralmente utilizadas pelas administrações municipais de realizar a coleta dos RSU para retirar o lixo do alcance da população ao transferi-lo para áreas

distantes das moradias sem estudos prévios ou com a análise das características locais. No caso de Presidente Prudente – SP, para fundos de vale e erosões, foi prática comum por muitos anos, mesmo após a divulgação de leis e normas, em âmbito federal, estadual e municipal, com exigências mais rígidas em relação ao gerenciamento dos resíduos sólidos. Até o momento tais práticas ainda são adotadas, visto que, a insuficiência de dados municípios em atender as orientações técnicas e legais, que determinam a limitação em gerenciar adequadamente seus resíduos.

Até o ano de 1997, ano de transferência da área de disposição de RSU para a área no Distrito Industrial 1, algumas leis norteavam os cuidados com o ambiente em geral e de forma específica com os RSU, nos âmbitos nacional, estadual e municipal.

Em âmbito nacional, a i) Lei 6.938/1981 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) previa a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental; ii) Constituição Federal, de 1988, trata das competências da União, dos estados e dos municípios em relação a proteção do meio ambiente, e sobre o gerenciamento e áreas de disposição de resíduos sólidos; iii) Resolução CONAMA 001/1986, sobre a necessidade de elaboração do EIA/RIMA para construção de aterros sanitários; iv) as normas da ABNT/NBR 10.157/1997 com critérios técnicos para escolha áreas de aterros sanitários.

Em âmbito estadual a i) Constituição do Estado de São Paulo, de 1989, estabelece como dever conjunto do estado e municípios, a preservação, conservação, defesa, recuperação e melhoria do ambiente natural e artificial; e posterior a este período, i) Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS), Lei nº 12.300/2006, que contemplava entre os objetivos a recuperação das áreas degradadas por resíduos sólidos e erradicar os lixões e outras destinações inadequadas.

Em âmbito municipal a i) Lei Orgânica do Município de 1990 (alterada pela Resolução 200/1996) previa a responsabilidade do município e a participação da população na preservação, conservação, defesa, recuperação e melhoria do meio ambiente; ii) Plano Diretor de 1996, apresentava como responsabilidade da administração municipal, a) preservação e recuperação das áreas verdes, dos fundos de vale, das minas e nascentes, córregos, riachos e rios do município; b) controle da poluição da água, do ar, do solo e a sonora; c) controle da erosão, da fauna e das áreas de proteção permanente; d) controle de produtos químicos, de resíduos nucleares e outros potencialmente poluidores; e) sistema de coleta, destinação e processamento do lixo. Entretanto as práticas adotadas até este período não seguiram as instruções legais.

Em muitos casos, a população não atendida por serviços de coleta opta por destinar os próprios resíduos, ao descartar em rios, fundos de vale, áreas erodidas, terrenos com altas declividades, as quais coincidem com os trechos de menor valor comercial por suas características e, passam a ser também ambientalmente desvalorizadas. No caso de Presidente Prudente – SP, os agentes e a dinâmica que envolveu a produção do espaço urbano acabou por desvalorizar essas áreas.

O poder público em seu papel de agente indutor da produção do espaço urbano, atua na diferenciação socioespacial da cidade, que ocasiona a distribuição desigual dos problemas ambientais, entre eles, a questão da disposição dos resíduos sólidos. Pode-se notar que, a ação do poder público local, na escolha das áreas de disposição final dos resíduos sólidos, teve sua ação relacionada ao contexto histórico da produção do espaço urbano de Presidente Prudente – SP, que, seguindo a lógica de valorização/desvalorização de áreas optou por dispor os RSU em áreas pouco valorizadas localizadas na zona leste, produzindo novos espaços.

A partir da caracterização das áreas de depósitos de resíduos sólidos em relação aos compartimentos do relevo e tipos de solo, foi possível determinar padrão de localização dessas áreas. Foi possível confirmar os dados da preferência de disposição em áreas do compartimento de fundos de vale e nas áreas de declividades mais acentuadas, que, neste caso, variam entre suave onduladas e onduladas. Quanto aos tipos de solos, predominam em áreas de Argissolos, porém, com parcela significativa nas áreas de solos hidromórficos, representados pelos Gleissolos e Planossolos, e em perfis topográficos de curvaturas convexas.

O conhecimento das características do relevo e dos solos são fatores importantes para o planejamento do uso das áreas, principalmente nos ambientes urbanos, pela carência de acesso a informações a respeito dos solos. Em geral os estudos são voltados para solos rurais com potencial agrícola, porém, o mapeamento e classificação são fundamentais na determinação do seu potencial de uso.

A disposição dos resíduos sólidos diretamente nos solos é capaz de gerar substratos modificados, ao determinar o surgimento de solos com novas características físicas, capazes de promover processos erosivos e químicas, devido a adição de elementos contaminantes[85], que podem causar problemas ambientais ligados à

[85] Os metais pesados mais comuns em áreas de disposição de resíduos são Arsênio (As), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Crômio (Cr), visto que estão presentes em diversos tipos de resíduos dispostos em aterros, como lâmpadas, pilhas, baterias, restos de tintas, latas, dentre muitos outros produtos com substâncias tóxicas presentes (XIAOLI et al., 2007, MACHADO et al, 2011, CAVALLET, et al., 2013) com predomínio de cromo (Cr) e chumbo (Pb) (XIAOLI et al., 2007).

degradação e contaminação dos solos em áreas urbanas e, portanto, dependem de maiores estudos para a compreensão de sua dinâmica para promover a recuperação dessas áreas visando receber usos adequados no futuro.

As alterações antrópicas nos solos são tão significativas que a partir da década de 1990 passaram a ser discutidas mundialmente com propostas de classificações específicas, por não se tratarem mais de solos semelhantes aos naturais, como no caso adotado pela FAO com a *World Reference Base for Soil Resources* (WRB) e o conceito de 1988, dos *Technosols* e mais recente no Brasil, em 2004, proposto por Curcio et al., via EMBRAPA, o conceito de Antropossolos.

Especificamente, para áreas com presença de RSU, há uma subordem denominada Antropossolos Líxicos, devido às características dos artefatos adicionados ao solo, os quais possuem origens e composição diversas e, podem conter elementos químicos tóxicos, capazes de causar contaminação ambiental. Quando localizados em áreas com influência do aquífero freático, são denominados Áquicos e, caso ocorra a contaminação, como no caso da presença de metais pesados, há possibilidades de contaminação das águas superficiais e subsuperficiais. Portanto, o estudo destas áreas é de grande importância para a mitigação de problemas existentes e para evitar danos futuros aos elementos naturais, tal como, para os humanos.

No Artigo 5 será realizado o estudo de uma das antigas áreas de disposição de RSU, localizada no Parque Furquim, em que serão apresentados os dados sobre teores de metais pesados encontrados no solo e sua comparação como valores de referência (VRQ) indicados pela CETESB, bem como, a relação com as características de relevo e solos.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos:** Procedimento. NBR-8419/84. São Paulo, 13p. 1984.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.157: **Aterros de resíduos não perigosos**: critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

AMORIM, M. C. de C. T. **Análise ambiental e qualidade de vida em Presidente Prudente**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 1993.

ALBERTE, E. P. V.; CARNEIRO, A. P.; KAN, L. Recuperação de áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos urbanos. **Diálogos e Ciência** - Revista Eletrônica da Faculdade de Tecnologia e Ciências de Feira de Santana. Ano III, n. 5, jun. 2005.

ANTONIO, J. N.; ASSUNÇÃO, E. F.; GOMES, M. F. V. B. A produção e o gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares na cidade de Guarapuava-PR**. Terra Plural**. Ponta Grossa: UEPG, n. 2, v. 1, 2007.

ANTONIO, J. N. e GOMES, M. F. V. B. A produção do espaço urbano e a questão dos resíduos sólidos. **RA´E GA**, Editora UFPR, Curitiba, n. 16, p. 111-118, 2008.

ANTONIO, J. N. **Mapeamento de áreas potenciais a implantação de aterro sanitário em Guarapuava-PR, com uso de redes neurais artificiais**. Dissertação (Mestrado em gestão do território), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa – PR, 2009.

BAUMAN, Z. **Vida para o consumo**: a transformação das pessoas em mercadoria. Zahar, Rio de Janeiro, 2008.

BAUDRILLARD, J. **O sistema dos objetos.** Perspectiva, São Paulo, 2008.

BRASIL. **Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010.

BULLOCK, P. e GREGORY, P. J. Soils – a neglected resource in urban areas. In: BULLOCK, P. e GREGORY, P. J. **Soil in the urban environment**. 1991.

CAVALLET, L. E., CARVALHO, S. G. de, FORTES NETO, P. Metais pesados no rejeito e na água em área de descarte de resíduos sólidos urbanos. **Ambiente e Água**, vol. 8 n. 3 Taubaté, Set/ Dez., 2013.

CAMARGO, C. E. S. **Qualidade Ambiental Urbana em Presidente Prudente-SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia). FCT-UNESP. Presidente Prudente, 2007.

CANTÓIA, S. F**. Educação ambiental e coleta seletiva em Presidente Prudente-SP**: avaliando seus resultados no Conjunto Habitacional Ana Jacinta. Dissertação (Mestrado em geografia) Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2007.

CORRÊA, R. L. **O espaço urbano**. São Paulo. Àtica, 1995.

CORTEZ, A. T. C. **A questão de resíduos sólidos domiciliares**: coleta seletiva e reciclagem – A experiência de Rio Claro (SP). Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Rio de Janeiro, 2013.

EVANS, J. **ArcGis geomorphometry e gradient metrics.** In: Quantitative methods in spatial ecology. Disponível em: http://evansmurphy.wix.com/evansspatial#!arcgis-gradient-metrics-toolbox/crro, 2016.

FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares nas áreas rurais do município de Presidente Prudente - SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente - SP, 2012.

HENARES, E. L. **Educação ambiental e resíduos sólidos**: a ação da cooperlix em Presidente Prudente-SP. Dissertação (Mestrado em geografia). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2006.

HONDA, S. C. A. L. **Habitação de baixa renda como produto do capital:** o programa de arrendamento residencial (PAR) em Presidente Prudente. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2011.

HORA, M. L. F. **O Projeto CURA III em Presidente Prudente**: uma porta para a cidade? Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 1997.

IKUTA, F. A. **A cidade e as águas:** a expansão territorial urbana e a ocupação dos fundos de vales em Presidente Prudente-SP. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2003.

IKUTA, F. A. **Resíduos sólidos urbanos no pontal do Paranapanema – SP: inovação e desafios na coleta seletiva e organização de catadores.** Tese (Doutorado em geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2010.

JARDIM, N. S.; D'ALMEIDA, M. L. O.; PRANDINI, F. L. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. IPT, São Paulo, 1995.

MACHADO, M. E.; MENEZES, J. C. S. dos S.; COSTA, J. F. C. L.; SCHNEIDER, I. A. H. Análise e avaliação da distribuição de metais pesados em um antigo aterro de resíduos sólidos urbanos "Aterro Invernadinha". In: **Evidência**, Joaçaba v. 11 n. 2, p. 69-82, julho/dezembro 2011.

MARTIN, E. e MAZZINI, E. de J. T., Disposição final do lixo em Presidente Prudente: De 1923 a 2010. **TÓPOS,** v. 4, n° 2, 2010. p. 109 – 143.

MAZZINI, E. de J. T. **De lixo em lixo em Presidente Prudente (SP)**: novas áreas, velhos problemas. (Bacharelado em Geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 1997.

MELAZZO, E. S. **Mercado imobiliário, expansão territorial e transformações intraurbanas:** o caso de Presidente Prudente – SP. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano) - IPPUR/UFRJ, Rio de Janeiro, 1993.

MOORE, I. D., GESSLER, P. E., NIELSEN, G. A., PETERSON, G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.443-452, 1993.

MORATO, R. G.; KAWAKUBO, F. S.; LUCHIARI, A.. Geoprocessamento para a análise da desigualdade ambiental na subprefeitura do Butantã. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, IX, 2005, São Paulo. **Anais**... Geografia. Tecnociência – Sociedade e Natureza. São Paulo: AGB, 2205, p. 2331-2338.

NUNES, J. O. R. **Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada a escolha de áreas para a construção de aterro sanitário em Presidente Prudente – SP**. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2002.

OLIVEIRA, J. B. de. **Solos do Estado de São Paulo:** descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: Instituto Agronômico, 1999.

PEDRO MIYAZAKI, L. C. **Dinâmicas de apropriação e ocupação em diferentes geoformas: Impactos e vulnerabilidades em ambientes urbanos**. Tese (Doutorado em geografia) Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2014.

PEDRON, F. de A**. Classificação do potencial de uso das terras no perímetro urbano de Santa Maria – RS.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PRESIDENTE PRUDENTE. Prefeitura Municipal. **Plano Diretor de Presidente Prudente – SP**. Presidente Prudente, Prefeitura Municipal, 1996.

REUTER, H. I. E NELSON, A. Geomorphometry in ESRI Packages. In: HENGL, T. e REUTER, H. I. **Geomorphometry**: Concepts, software, applications. Developments in soil science, volume 33, Elsevier, 2009.

ROCHE, D. **História das coisas banais**: nascimento do consume séc. XVII – XIX. Rocco, Rio de Janeiro, 2000.

RODRIGUES, A. M. **Produção e consumo do e no espaço**: problemática ambiental urbana. São Paulo: Hucitec, 1998.

SANTOS. E. A. A. dos. **O consumismo como um novo iluminismo**: a panacéia do consumo na contemporaneidade. Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SANTOS, M. **A natureza do espaço**: técnica e tempo, razão e emoção. Lucita, São Paulo: 2002.

SUDO, H. e LEAL, A.C. **Aspectos geomorfológicos e impactos ambientais da ocupação dos fundos de vales em Presidente Prudente** – SP. In: Revista Natureza. Uberlândia, 1997, p. 362-367.

TAKENAKA, E. M. M. **Políticas públicas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos no município de Presidente Prudente-SP**. Tese (Doutorado em geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008.

TENÓRIO, J. A. S., ESPINOSA, D. C. R. Controle ambiental de resíduos, in: PHILIPPI JR, A., BRUNA, G. C., ROMERO, M. de A. **Curso de gestão ambiental**. São Paulo: Manole, 2004.

WILSON, J. P. & GALLANT, J. C. Digital terrain analysis. In: WILSON, J. P. e GALLANT, J. C. (eds.). **Terrain analysis: principles and applications**. New York: John Wiley e Sons, 2000.

VALERIANO, M. de M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v.7, n.3, p.539-546, 2003.

XIAOLI, C. SHIMAOKA, T.; XIANYAN, C.; QIANG, G.; YOUCAI, Z. Characteristics and mobility of heavy metals in an MSW landfill: Implications in risk assessment and reclamation. **Journal of Hazardous Materials**, v.144, n. 1-2, p. 485-491, 2007.

ARTIGO 5

6. CONTAMINAÇÃO DOS SOLOS EM ANTIGAS ÁREAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E FORMAÇÃO DOS ANTROPOSSOLOS

Resumo: Os solos urbanos têm suas características naturais alteradas devido aos diversos processos antrópicos como a retirada, transporte e deposição de materiais com composições diversas. As alterações nos solos são tão significativas que foram propostas novas classificações para os solos com alterações antrópicas. No Brasil, foi proposta a ordem dos Antropossolos, classificados de acordo com os processos e materiais de composição. Neste caso analisou-se os conceitos de Antropossolos para a classificação de uma área utilizada para disposição de resíduos sólidos urbanos, localizada no Parque Furquim, em Presidente Prudente – SP. Foram realizadas análises granulométricas e de presença de metais pesados nos solos. Os elementos analisados foram Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb) e Crômio (Cr). Os resultados foram comparados com os Valores de Referência de Qualidade (VRQ) indicados para o estado de São Paulo, e indicaram a ocorrência de Chumbo (Pb) e Crômio (Cr) acima dos VRQ em alguns pontos, localizados na porção à montante da área delimitada, em fundos de vale próximos ao curso d'água. A área foi classificada com a presença de Antropossolos Líxicos Áquicos e Órticos com presença de elementos tóxicos e de Antropossolos potenciais.

Palavras-chave: Antropossolos, solos tóxicos, contaminação, áreas de disposição, resíduos sólidos urbanos, metais pesados.

6.1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural lentamente renovável, resultado da interação de vários fatores e processos de formação, que desempenham funções importantes referentes à manutenção da estabilidade do ambiente urbano. Nos centros urbanos, terras com significativa importância ecológica são convertidas em áreas construídas, bem como ambientes frágeis que oferecem riscos, devido a sua instabilidade, como encostas de morros, banhados e margens de cursos d'água, que desempenham papel importante no equilíbrio natural, e deveriam ser preservados das pressões antrópicas (PEDRON, 2005; PEDRON et al. 2007).

A falta de conhecimento sobre as propriedades e aptidões dos solos urbanos é um fator que leva ao seu mau uso e resultam em processos de compactação, erosão, deslizamentos, inundações, poluição com substâncias orgânicas, inorgânicas e patógenas. A mitigação desses efeitos pode ser melhorada com conhecimentos pedológicos e planejamento adequado (BULLOCK e GREGORY, 1991; PEDRON, 2005, PEDRON et al., 2004). As diferentes atividades urbanas promovem alterações de natureza diversa no perfil de solo, acarretando, muitas vezes, redução da qualidade ambiental e aumento dos custos devido à necessidade de recuperação destas áreas (PEDRON et al., 2007; ZANATA e PERUSI, 2010).

Há relativamente poucos estudos detalhados sistematicamente sobre a composição dos solos em áreas urbanas, de forma que há uma urgente necessidade por estudos que permitam o levantamento de mais informação sobre a composição dos solos urbanos, para que se possa ter melhor entendimento sobre as interações entre os principais componentes e as implicações de cada tipo de uso. Esses solos contêm materiais de diferentes origens e composição e o modo como interagem é pouco compreendido. A produção de gás metano em áreas de disposição de resíduos é um exemplo desta interação (BULLOCK e GREGORY, 1991).

Nas áreas urbanas, como há muitos processos que envolvem a adição, retirada e transporte de material, os horizontes são misturados e modificados pela adição de materiais com diferentes composições e, portanto, não eram classificados, visto que a classificação tradicional de solos é feita pela identificação de horizontes. Em 1988, a FAO, em seu documento *Soil map of the world*, inseriu o conceito de *Anthrosols*[86]. A partir de discussões e atualizações, muito países acrescentaram, em seus sistemas de classificações de solos, uma categoria para solos com alterações antrópicas. A partir da *World Reference Base for Soil Resources* (WRB), de 2006[87], e a inserção do conceito de *Technosols*[88], a forma de conceber e classificar os solos é alterada.

Em 2004, Curcio et al. (2004), via EMBRAPA, apresentam um documento de primeira ordem para a classificação de Antropossolos, que propõe a conceituação de solos com presença de materiais antrópicos de natureza mineral ou orgânica produzidos pela atividade humana, incluindo plásticos, papéis, ossos, vidros, cerâmicas, concreto, embalagens diversas e outros. Para a caracterização da antropogênese é necessário a identificação de uma das seguintes situações: (i) inversão ou mistura de horizontes genéticos e/ou diagnósticos; (ii) presença de materiais antrópicos; (iii) remoção de

[86] Solo em que as atividades humanas resultaram em modificações profundas das características originais do solo através da remoção ou distúrbios dos horizontes superficiais, cortes e aterramentos, adição secular de materiais orgânicos, irrigação prolongada, etc. (FAO, 1988).

[87] Antes de 2006, a WRB, assim como nos sistemas de classificação nacionais, o solo, para ser classificado, era concebido como material da superfície da terra organizado em horizontes pedogenéticos. Para a WRB de 2006, Nachtergaele (2005) sugeriu a abordagem eminentemente prática de nomear todos os corpos identificáveis da epiderme da Terra. A maior vantagem dessa classificação é ser utilizada para discutir as funções ambientais de qualquer lugar dentro dos primeiros 2 metros da superfície da Terra (uma prática ao invés de uma limitação filosófica) (FAO, 2006). As vantagens dessa abordagem é permitir que os problemas ambientais sejam considerados de forma sistemática e holística e evita discussão improdutiva sobre uma definição universalmente aceita de solo com a necessidade de uma determinada espessura e estabilidade (ROSSITER, 2007; FAO, 2006; FAO, 2014).

[88] Compreendem um grupo que combina solos cujas propriedades e pedogênese são dominadas pela sua origem técnica. Eles contêm uma quantidade significativa de artefatos fabricados pelo homem ou são selados por *technic hard rock* (material criado pelos humanos, com propriedades diferentes da rocha natural). Eles incluem solos de resíduos (aterros sanitários, lodo, despojo de minas e cinzas), pavimentos com seus materiais subjacentes não consolidados, solos com geomembranas e solos construídos em materiais de criação humana.

horizontes do solo feito pelo homem, de forma manual, por máquinas e/ou implementos; (iv) composição granulométrica e química modificadas; (v) presença de materiais tóxicos e/ou sépticos.

Os Antropossolos foram classificados considerando as principais intervenções humanas sobre os diferentes tipos de solos que pudessem determinar alterações das características. Para a ação de (i) adição, considerou-se a incorporação de materiais inertes e/ou nocivos; para a ação de (ii) decaptação, considerou-se a retirada total ou parcial; e para a ação de (iii) mobilização, considerou-se a movimentação total ou parcial. Para a categoria da ação de adição foram criadas duas subordens considerando a natureza dos materiais constitutivos, os quais podem ou não determinar a contaminação ambiental. A subordem dos Sômicos considera a adição de horizontes de solo e não indica contaminação e os Líxicos, que são caracterizados pela adição de lixo, entre eles detritos domésticos e industriais.

Para o enquadramento de terceiro nível dos Antropossolos Líxicos considerou-se a presença ou não de hidromorfia, para considerar o potencial de contaminação do aquífero freático, inserindo o caráter áquico para se referir a presença do aquífero freático na superfície do volume, pelo menos uma vez por ano e para o quarto nível relacionados à identificação da natureza do potencial de contaminação considerando como (i) toxidade, a presença de materiais orgânicos ou minerais que conferem toxidez ao ambiente e (ii) septicidade, presença de materiais que contém germes patogênicos.

Para a qualificação como Antropossolos Líxicos Áquicos ou Órticos é levado em consideração a influência do aquífero freático, considerando que ele ocorra no mínimo uma vez ao ano, de forma que haja ascensão do aquífero na superfície do solo, em contato com os materiais contaminantes, fato que poderá determinar a contaminação do aquífero. E para a classificação de quarto nível como Antropossolos Líxicos Áquicos ou Órticos como Tóxicos, Sépticos ou Toxisépticos, leva em consideração a natureza dos materiais depositados.

Para o estudo das áreas de antigos depósitos de RSU e suas possíveis formas de contaminação, Günther (2006) discute que as áreas contaminadas quando não gerenciadas adequadamente tornam-se fontes dinâmicas de contaminação secundária, pois podem extrapolar os contaminantes para além da área afetada e para outros meios. Que podem ocorrer de acordo com o meio de dissipação dos poluentes por diferentes mecanismos de transporte, ampliando o campo de influência e exposição, conforme as facilidades ou dificuldades de propagação da contaminação, estendendo seus efeitos

para áreas imediatas e contíguas. Portanto, a contaminação nesses espaços é um fator dinâmico.

Na proposta brasileira, os Antropossolos são classificados em subordens, sendo que os Antropossolos Líxicos são os únicos a possuírem no nível de características tóxicas, sépticas ou toxisépicas. Foram utilizados como referência para a classificação dos solos de uma antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU), localizada no Parque Furquim, no setor leste da área urbana de Presidente Prudente - SP, por meio de análises granulométricas e de presença de metais pesados associados às características de relevo e solos naturais.

6.2. SOLOS CONTAMINADOS E TÓXICOS

As áreas urbanas podem conter significativas quantidades de solo contaminado. Conforme o *House of Commons Environment Committee First Report on Contaminated Land* (1990) há falta de informação disponível sobre a localização dos solos contaminados e a natureza da contaminação, porém a obtenção de informações sobre estes solos é fundamental, visto que apresentam implicações para o futuro uso do solo, bem como, para a saúde humana (BULLOCK e GREGORY, 1991). As áreas onde houve disposição inadequada de RSU, nos denominados lixões[89] ou aterros controlados[90] desativados, ainda possuem sérios passivos ambientais que podem causar desde a contaminação do solo, água e vegetação, até riscos à saúde humana e animal (SANTOS e RIGOTTO, 2008).

A potencialidade tóxica pode também ser relacionada ao tipo de uso que será feito de tais áreas, visto que as áreas degradadas necessitam passar por um processo de revitalização e áreas contaminadas por medidas de remediação para que possam ser integradas ao uso urbano (SANCHEZ, 2004; GÜNTHER, 2006; ROCCA, 2006). Ao considerar a toxidade do solo é importante identificar o tipo de receptor, a maneira de exposição e a fonte, para operacionalizar uma definição a partir dos padrões mais

[89] Forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. O mesmo que descarga de resíduos a céu aberto (JARDIM 1995, p.76).

[90] A forma de disposição denominada “Aterro Controlado”, também constitui-se em uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, em forma de lixo. Apesar de minimizar parcialmente os impactos ambientais, por utilizar princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho, tende a evidenciar os impactos ocorrentes na situação de lixão, à medida que geralmente não dispõe de impermeabilização de base e nem de sistemas de tratamento do chorume ou de dispersão dos gases gerados (HENARES,2006).

comuns de receptores para poder determinar o qualificador tóxico como "potencialmente tóxico para um receptor definido sob condições definidas" (ROSSITER, 2007).

A escolha do uso que será adotado nestas áreas deve também levar em consideração o tipo e tempo de exposição dos receptores, como no caso da construção de moradias em que é importante analisar que os moradores passam muitas horas no local de exposição e, em alguns casos (dependendo do tipo de construção), entram em contato direto com os solos, como em áreas de jardins ou mesmo hortas urbanas, como especificado na subcategoria *Anthrotoxic*[91]*,* da WRB de 2014, de que são solos que contém quantidades suficientemente altas e persistentes concentrações de substâncias orgânicas ou inorgânicas para afetar saúde dos seres humanos que entram em contato regular com o solo (FAO, 2014).

Celere et al. (2007) realizaram estudo para determinar os níveis de Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Crômio (Cr), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg) e Zinco (Zn) no chorume coletado em dois tanques de captação do aterro sanitário de Ribeirão Preto. As concentrações de metais presentes foram analisadas segundo a Resolução nº. 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que define os valores máximos permitidos para concentração de metais em efluentes líquidos. Os valores médios encontrados para os metais Cr, Cd, Cu, Mn e Hg encontraram-se dentro dos limites máximos estabelecidos, com algumas variações para o Mn, Pb e Zn. Por apresentar substâncias altamente solúveis, o chorume, pode escorrer e alcançar as coleções hídricas superficiais ou até mesmo infiltrar- se no solo e atingir as águas subterrâneas, comprometendo sua qualidade e potenciais usos.

Machado et al. (2011) realizaram pesquisa para avaliar o teor e a distribuição dos metais pesados Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Crômio (Cr), Cádmio (Cd) e Chumbo (Pb) em diferentes profundidades no solo em um antigo aterro de RSU empregando geoestatística para inferir a distribuição espacial dos metais pesados. A primeira amostragem foi feita em diferentes profundidades. Na segunda amostragem levaram em consideração a influência da topografia na variabilidade horizontal dos metais no solo. Os maiores teores foram encontrados na região central do aterro e até 1m de profundidade. Houve tendência de redução da concentração dos teores de metais

[91] A WRB 2014 define e classifica os solos tóxicos da seguinte forma: *Toxic* (tx) (a partir do grego toxikon, arrow poison): contendo em alguma camada dentro ≤ 50 cm da superfície do solo, as concentrações tóxicas de substâncias orgânicas ou inorgânicas que não sejam os ions de Al, Fe, Na, Ca e Mg, ou com radioactividade perigosa para os seres humanos. E com uma subcategoria os *Anthrotoxic* (at) (de anthropos grego, ser humano): ter em alguma camada dentro de ≤ 50 cm da superfície do solo, suficientemente alta e persistente concentrações de substâncias orgânicas ou inorgânicas para afetar saúde dos seres humanos que entram em contato regular com o solo (FAO, 2014).

com o aumento da profundidade. De forma que os elementos encontrados em maior quantidade foram o Zn, Cu e Cr, que na parte superficial do aterro ultrapassaram os níveis de intervenção, estabelecidos pela CETESB (2005).

Yoshimoto e Fontana (2011) realizaram pesquisa sobre os depósitos tecnogênicos em Presidente Prudente e constataram que dependendo do tipo de material, sua presença pode provocar aumento na concentração de metais pesados como o Crômio (Cr), Zinco (Zn), Mercúrio (Hg), Cádmio (Cd), Cobre (Cu), entre outros, o que pode refletir diretamente na qualidade do solo e da água. Na área identificaram que os sedimentos são altamente arenosos, portanto, merece atenção devido aos despejos de RSU. Como a permeabilidade da areia é muito maior que do silte e da argila, o contato deste solo com substâncias tóxicas poderia acarretar danos mais severos. Não identificaram contaminação por metais pesados. O único ponto preocupante foram os teores de Crômio em uma amostra que chegaram muito próximos dos valores orientadores da CETESB, fato que pode estar relacionado à possível existência de lixiviados de resíduos de couro despejados nas antigas áreas de depósito de lixo, no entorno da área.

Cavallet et al. (2013) realizaram estudo em Paranaguá (PR) em uma área de lixão para avaliar a concentração de Arsênio (As), Cádmio (Cd), Crômio (Cr), Chumbo (Pb) e Mercúrio (Hg) e compararam com os valores de referência para qualidade (VRQ) de solo e água estipulados pela CETESB (2005). Realizaram coletas de amostras de rejeito em 12 pontos do lixão a 1 m de profundidade. Detectaram teores de metais pesados As e Cd abaixo do limite de detecção e os valores de Hg, Cr e Pb abaixo dos valores de prevenção estabelecidos pela CETESB (2005). Constaram que a concentração do Cr apresentou conexão com a topografia do terreno[92].

Cavallet et al. (2013) indicam que o processo de contaminação por metais pesados pode estar relacionado com os compartimentos adjacentes às áreas de disposição de RSU, pois o excesso de concentração de metais pesados nos materiais depositados, pode migrar, através do processo de lixiviação. A lixiviação é o processo físico no qual os líquidos presentes nos resíduos sólidos são liberados durante o processo de decomposição e depois migram pelo perfil do solo. Com a infiltração de águas da chuva, esse líquido pode permear as camadas profundas nos locais de

[92] Analisando o conjunto os valores dos metais verificaram que o Cr apresenta uma tendência de maior concentração nos pontos que estão situados na parte mais baixa da área experimental. Esse comportamento indica que a concentração do Cr apresentou uma conexão com a topografia do terreno, corroborando os resultados apresentados por Machado et al. (2011), que reportaram uma evidência entre o acúmulo de Zn com a declividade do terreno em um antigo aterro (CAVALLET et al., 2013).

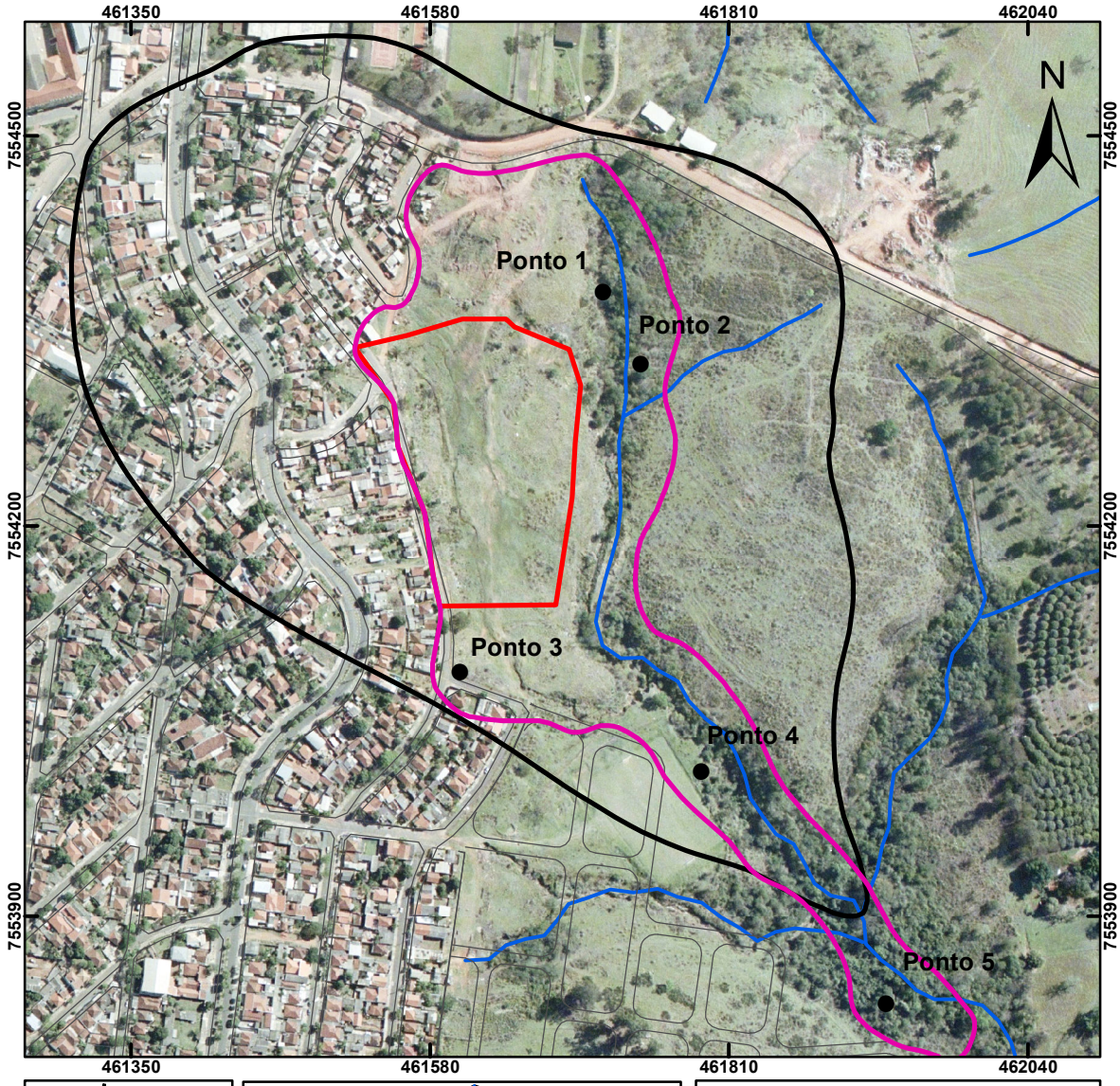
disposição e contaminar as águas subterrâneas, bem como, ser transportado superficialmente para mananciais próximos e, possibilitar a sua entrada na cadeia alimentar e causar a contaminação biótica.

6.3. MATERIAL E PROCEDIMENTOS

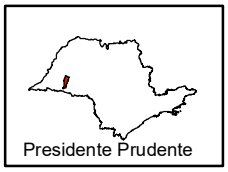
6.3.1. Área de estudo

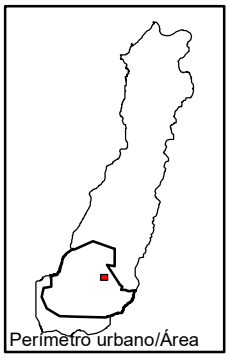
Com base no levantamento realizado por Mazzini (1997) que identificou 29 áreas como antigos pontos de disposição de RSU, desde 1923 até 1997, as quais estão principalmente localizadas no setor leste da área urbana do município, com auxílio de trabalhos de campo, optou-se por realizar a coleta de amostras de solos na área localizada no Parque Furquim, apresentada no Mapa 17. Esta área passou por períodos de disposição de resíduos sólidos e após o encerramento das atividades foi aterrada, porém continuou a ser utilizada como depósito de RSU por moradores do entorno, devido à falta de cuidados e de manutenção.

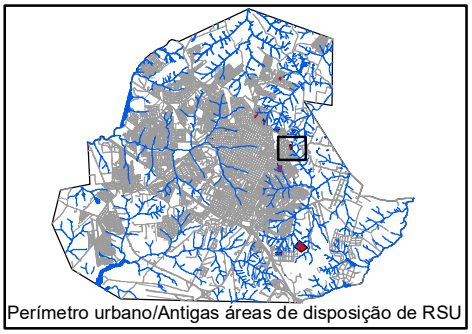
Mapa 17:
Localização da área de estudo e pontos de coleta de amostras de solos
Parque Furquim - Presidente Prudente – SP











Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada
0 0.05 0.1 0.2
Km

Elaboração
Janaina Natali Antonio
Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

Legenda

- Pontos de coleta de amostras
- Malha urbana
- Drenagem
- Área de influência
- Área com presença de RSU
- Delimitação área de disposição de RSU (Mazzini, 1997)

Instituições e apoio

unesp
UNSW AUSTRALIA
CAPES
FAPESP

No Parque Furquim foram utilizadas 4 áreas para disposição de RSU, em períodos distintos. A área[93] escolhida para amostragem está localizada ao longo da Rua Ramon Barrios, em um fundo de vale, próxima à nascente de um dos afluentes do Córrego Gramado. Nesta área a deposição foi realizada por, aproximadamente, 2 anos e 4 meses, de 1991 a 1994. Um dos objetivos da disposição de RSU nesta área foi aterrar uma grande erosão (MAZZINI, 1997).

A presença do aterro nesta área trouxe uma série de danos ao ambiente. A principal a poluição de uma das nascentes do Córrego Gramado. Foi realizada a observação, nesta área, após dois anos do encerramento das atividades de disposição de RSU, e no momento ainda havia a presença de chorume direcionado para a água da nascente, que possuía sua coloração alterada, visivelmente escurecida, problema que era agravado nos dias de chuva (MAZZINI, 1997).

Nesta área foram realizados trabalhos sobre a temática dos RSU e as expectativas da população do bairro. No momento havia alguns conflitos entre a população do entorno, pois parte utilizava-se dos RSU como fonte de renda e outros consideravam que a situação era degradante e que desvalorizava os imóveis, e solicitaram a retirada do lixão no local. Os moradores tinham expectativas de que a área fosse revitalizada e transformada em uma área de lazer, porém a área foi abandonada (MAZZINI, 1997).

Atualmente, parte da área conta com um pequeno campo de futebol, porém alguns pontos continuam a serem alvos de despejo de RSU, conforme Figura 19. Segundo informações[94] dos moradores do entorno, a área foi loteada. Durante o trabalho de campo na data de 28/09/2015, algumas construções iniciadas estavam com as obras paradas (Figura 20) devido a condições irregulares. No último trabalho de campo em 06/09/2017 estavam sendo realizadas atividades de terraplanagem e abertura de vias de acessos, conforme apresentado na Figura 21.

[93] Durante os trabalhos de campo foi identificado que a área que possui presença de RSU é maior que a delimitada por Mazzini (1997).

[94] Foram solicitadas informações para a Prefeitura Municipal de Presidente Prudente e conforme despacho do processo n° 27816/2017 indicaram que “conforme consta em nossos arquivos, o Jardim Itapura III foi aprovado (Graprohab e Prefeitura) e há processo em andamento para análises de solicitação do empreendedor quanto à adequações pontuais no urbanístico.

Figura 19: Fotos da área de estudo Parque Furquim em 06/09/2017



Fonte: Acervo do autor, 2017.

Figura 20: Fotos da área de estudo Parque Furquim em 28/09/2015



Fonte: Acervo do autor, 2015.

Figura 21: Fotos da área de estudo Parque Furquim em 06/09/2017



Fonte: Acervo do autor, 2017.

6.3.2. Elaboração de mapas

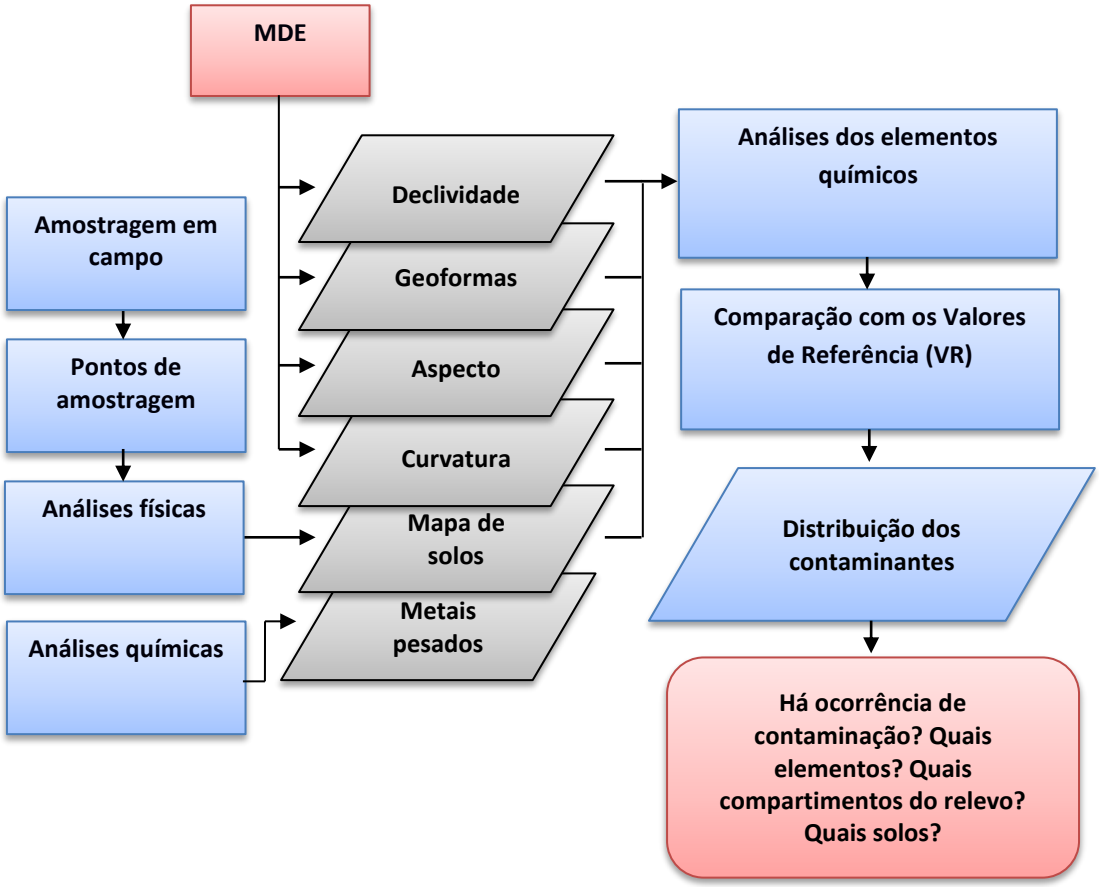
A elaboração de um MDE da área de estudo foi o procedimento inicial para a obtenção dos modelos com características do relevo. Para a elaboração do MDE e dos mapas derivados, foram utilizados o *software* ArcGIS 10.2[95] e a base digital de curvas de nível[96]. Os atributos do relevo utilizados foram: elevação, perfil de curvatura,

[95] ArcGis é uma marca registrada da ESRI Inc., Redlands, CA, EUA.

[96] Com equidistância de 10 metros, cedidas pela Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, na escala de 1:20.000.

declividade, geoformas e aspecto[97], que combinados com os resultados das amostras texturais e morfológicas foram organizados por tabulação cruzada, e processados com uso de redes neurais artificiais (RNA) para a geração do mapa preditivo de solos, conforme apresentado na Figura 22.

Figura 22: Diagrama de blocos das etapas de trabalho do artigo 5



Fonte: elaboração própria, 2017.

O mapa de curvatura do relevo teve suas categorias definidas após diversos testes para adequação dos tipos de curvatura às informações das curvas de nível. Foram definidas três classes (côncava, convexa e retilínea), com seleção de intervalo de -0,5% a +0,5% para a classe de vertentes retilíneas, com base em Valeriano (2003) e pela proximidade da delimitação feita manualmente em uma área de teste.

Para a elaboração do mapa de declividade, foram utilizados os parâmetros indicados pela EMBRAPA (2013), que propõe a utilização das seguintes classes de

[97] O mapa de aspecto corresponde ao de orientação das vertentes.

declividades: 0 – 3% (plano), 3 – 8% (suave ondulado), 8 – 20% (ondulado), 20 – 45% (forte ondulado), 45 – 75% (escarpado) e acima de 75% (montanhoso).

Para a elaboração do mapa de geoformas, foram utilizados os conceitos de Evans (2016) e Reuter e Nelson (2009), baseados em MacMillan e Pettapiece (1997), que consideram quatro tipos de geoformas: *Crest – Shoulder* (topo), *Upper – Mid Slope* (alta vertente), *Mid – Lower Slope* (média vertente) e *Toe – Depression* (fundo de vale).

O mapa de aspecto define a direção do fluxo de água e está relacionado diretamente com a evapotranspiração, insolação, teor de água no solo e, por consequência, o grau de evolução dos solos (MOORE et al., 1993; WILSON e GALLANT, 2000). A elaboração do mapa de aspecto foi baseada em Reuter e Nelson (2009).

O mapa preditivo de solos foi elaborado por meio do processamento das variáveis de entrada: declividade, geoformas, aspecto e curvatura. Os dados foram agrupados em arquivo único, com 4 bandas, para a coleta de amostras de treinamento e o processamento das RNAs. A coleta de amostras de treinamento foi realizada de acordo com a localização dos perfis de solos coletados para análises granulométricas e morfológicas para a identificação dos tipos de solos e utilizou-se, como critério de verificação, os padrões de relevo relacionados aos tipos de solos proposto por Fushimi (2012).

O mapa de Antropossolos foi elaborado a partir dos conceitos propostos por Curcio et al. (2004), nos resultados das análises granulométricas e de concentrações de metais pesados.

6.3.3. Coletas de amostras de solos

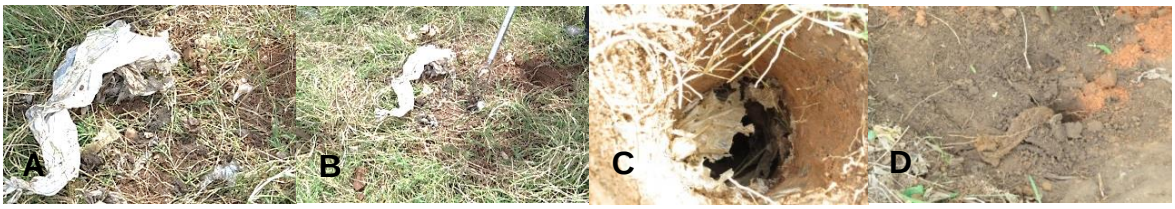
A escolha dos locais de coleta dos solos feita considerando, i) a delimitação da bacia hidrográfica, denominada de área de influência, ii) relevo, sendo coletadas da porção montante para a jusante.

As coletas foram realizadas em profundidades de 50 cm e 1 metro de profundidade com algumas adaptações baseados em Yoshimoto e Fontana (2011)[98],

[98] Yoshimoto e Fontana (2011) em sua pesquisa sobre depósitos tecnogênicos em Presidente Prudente e realizaram coletas de amostras de solos de 50 cm e 1 metro.

FAO (2014)[99] e Machado et al. (2011)[100]. No ponto 3 não foi possível realizar a coleta de amostras de solo na profundidade de 1 metro devido à grande quantidade de resíduos sólidos, conforme Figura 23. Nos pontos 2 e 5 a coleta foi realizada no perfil, considerando 50 cm, devido à alta quantidade de artefatos, conforme a Figura 24.

Figura 23: Coleta de amostras de solo – coleta com trado - 28/09/2015



Fonte: Acervo do autor, 2015.

Figura 24: Coleta de amostras de solo – coleta em perfil - 14/09/2017



Fonte: Acervo do autor, 2017.

A coleta das amostras foi realizada conforme as normas de EMBRAPA (1997). Após as coletas as amostras foram embaladas adequadamente e enviadas para análise laboratorial para o ASL[101] – Análises Ambientais.

6.3.4. Critérios para análise dos metais pesados

Os metais estão presentes naturalmente nos solos, em concentrações variáveis de acordo com a sua gênese. No entanto, estas concentrações podem sofrer

[99] A WSR (2014) em sua conceituação os *Technosols* devem possuir ≥ 20% (em volume, média ponderada) artefatos, nos primeiros 100 cm da superfície do solo.

[100] Machado et al. (2011) em sua pesquisa realizaram coletas de solos em profundidades de até 3 metros, porém os maiores teores foram encontrados até 1 metro de profundidade, verificando uma tendência de redução da concentração dos teores de metais com o aumento da profundidade.

[101] Laboratório São Lucas Ltda. Endereço Rua 21, nº 470, Jardim Rio Claro, Rio Claro – SP. http://www.aslaa.com.br. O ASL - Análises Ambientais utiliza metodologias referenciadas para elaboração dos procedimentos internos (POPs) dos ensaios e dos procedimentos para amostragem. As análises químicas e procedimentos de amostragem foram realizados conforme metodologias descritas no USEPA; *Standard Methods for the Examination of water and wasterwater* 22ª edição; Normas ABNT e Normalizações técnicas da CETESB (YOSHIMOTO e FONTANA, 2013).

incrementos devido a processos antrópicos, principalmente por fontes difusas. A maioria das informações disponíveis na literatura brasileira refere-se à fertilidade do solo e poucos referem-se à questão ambiental (CETESB, 2001).

De acordo com a CETESB (2013) um solo pode ser considerado como contaminado quando há a introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural, e que podem se propagar por meio do solo, águas superficiais e subterrâneas em longo prazo. A CETESB (2005) apresenta os conceitos utilizados para classificar os valores de contaminantes presentes nos solos, diferenciando os valores de referência, valor de alerta e valores de intervenção de acordo com o tipo de uso agrícola, residencial e industrial.

Valor de Referência de Qualidade - VRQ é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea, que define um solo como limpo ou a qualidade natural da água subterrânea, e é determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos e amostras de águas subterrâneas de diversos aquíferos do Estado de São Paulo. Deve ser utilizado como referência nas ações de prevenção da poluição do solo e das águas subterrâneas e de controle de áreas contaminadas.

A CETESB (2014) apresenta dados toxicológicos sobre os contaminantes, entre eles há o grupo dos elementos inorgânicos. Para este trabalho foram selecionados quatro contaminantes inorgânicos, Arsênio (As), Chumbo (Pb), Crômio (Cr) e Cádmio (Cd), os quais são encontrados[102] comumente em áreas de depósitos de resíduos sólidos urbanos, apresentados no Quadro 13:

[102] Os metais pesados mais comuns em áreas de disposição de resíduos São Arsênio (As), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Cromo (Cr), visto que estão presentes em diversos tipos de resíduos dispostos em aterros, como lâmpadas, pilhas, baterias, restos de tintas, latas, dentre muitos outros produtos com substâncias tóxicas presentes (XIAOLI et al., 2007, MACHADO et al, 2011, CAVALLET et al., 2013) com predomínio de Crômio (Cr) e Chumbo (Pb) (XIAOLI et al., 2007).

Quadro 13: Valores orientadores para solo e água subterrânea no estado de São Paulo - 2014

Substância	Solo (mg kg-1 peso seco) 2014				
	Valor de Referência Qualidade	Valor de Prevenção	Valor de Intervenção (VI)		
	(VRQ)	(VP)	Agrícola	Residencial	Industrial
Arsênio (1)	3,5	15	35	55	150
Cádmio	<0,5	1,3	3,6	14	160
Chumbo	17	72	150	240	4400
Crômio total (1)	40	75	150	300	400

Fonte: CETESB, 2014.

A resolução CONAMA 420/2009 apresenta critérios e valores orientadores[103] de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas, apresentados, no Quadro 14.

Quadro 14: Classes de qualidade dos solos, segundo a concentração de substâncias químicas

Classes de qualidade dos solos, segundo a concentração de substâncias químicas	
I - Classe 1	Solos que apresentam concentrações de substâncias químicas menores ou iguais ao VRQ.
II - Classe 2	Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior do que o VRQ e menor ou igual ao VP.
III - Classe 3	Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VP e menor ou igual ao VI;
IV - Classe 4	Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VI.

Fonte: elaboração própria, 2017, a partir de CONAMA, 2009.

6.3.4.1. Arsênio

O Arsênio é um elemento raro com ciclo rápido através dos sistemas água, terra e ar. Ocorre na crosta terrestre em uma concentração média de 2 a 5 mg/kg, principalmente como complexos de sulfitos e óxidos. Os principais usos estão em inseticidas, rodenticidas, dissecante de plantas, detergentes e na indústria farmacêutica

[103] Esta resolução apresenta os valores de prevenção e de investigação em áreas agrícolas, residenciais e industriais, entretanto os valores de referência de qualidade (VRQ) devem ser definidos pelo estado. Portanto se aplicam os VRQ propostos pela CETESB (2014).

e têxtil. Efeitos agudos e subagudos de Arsênio inorgânico podem envolver diversos órgãos incluindo os sistemas respiratório, digestório, cardiovascular nervoso e pele. Baixos níveis de ingestão (1 a 10 mg/L) em grandes períodos, podem levar a um quadro de toxicidade aguda. Envenenamento agudo é caracterizado por efeitos no sistema central, levando a coma e eventual morte (CETESB, 2001).

A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o Arsênio e compostos de Arsênio inorgânico como cancerígenos para o ser humano (grupo 1) (CETESB, 2013). Há substancial evidência epidemiológica de carcinogenicidade respiratória em associação com exposição a Arsênio inorgânico durante a fabricação de inseticidas. Também pode causar câncer de pele. Isto tem sido observado, acompanhando a absorção do Arsênio pela ingestão de água ou drogas (CETESB, 2001). O Arsênio é liberado ao ambiente por fontes naturais (poeiras e vulcões) e antropogênicas, como mineração de metais não ferrosos e fundição, aplicação de agrotóxico, combustão de madeira e incineração de lixo (CETESB, 2013).

O Arsênio ocorre naturalmente no solo e minerais e, portanto, pode entrar no ar, água e terra da poeira levada pelo vento e pode ficar na água do escoamento superficial e lixiviação. É associado com os minérios que contêm metais, como cobre e chumbo (YOSHIMOTO e FONTANA, 2013).

6.3.4.2. Cádmio

O Cádmio é introduzido no ambiente terrestre por mineração, produção de metais não ferrosos, aterros e aplicação de fertilizantes fosfatados e lodo de efluentes domiciliares (CETESB, 2001). Este metal é encontrado na natureza associado aos sulfitos de minérios de Zinco, Cobre e Chumbo. O metal Cádmio é utilizado principalmente como anticorrosivo em aço galvanizado; o sulfeto de Cádmio e selenito como pigmentos em plásticos e os compostos de Cádmio na manufatura de pilhas e baterias recarregáveis de níquel-Cádmio, em componentes eletrônicos e reatores nucleares (CETESB, 2013).

O Cádmio é usado em galvanoplastia, ligas para proteção contra corrosão e na manufatura de baterias, cerâmicas de vidro e alguns biocidas. Ele foi utilizado em larga escala como um pigmento de pintura, revestimento e plásticos. A absorção e acumulação por plantas ocorrem de forma limitada. Em locais onde há alta concentração (centenas de mg/kg) ocorre redução do crescimento vegetal (CETESB, 2001).

Exposição aguda por inalação de óxido de Cádmio resulta em pneumotites agudas com edema pulmonar, podendo ser letal, e por ingestão de sais de Cádmio solúvel causa gastroenterites agudas. Também pode provocar náuseas, vômitos, salivação e caimbra. Casos severos podem mostrar injúrias no fígado, convulsões, choques, problemas renais e depressões cardiopulmonares podendo levar à morte. O efeito crônico geralmente ocorre no rim em decorrência do acúmulo de Cádmio neste órgão. O sintoma mais comum é “proteinuria”. Também são reportados, disfunções renais e danos no rim (CETESB, 2001).

Não há uma firme conclusão sobre efeito carcinogênico, com poucas evidências de carcinogenicidade pela via oral, porém a IARC classifica o Cádmio e seus compostos como cancerígenos para o ser humano (Grupo 1) (CETESB, 2013), com base em evidência de tumores pulmonares em trabalhadores e animais expostos por via inalatória (CETESB, 2001).

6.3.4.3. Crômio

A forma metálica não é encontrada livre na natureza, mas obtida após o processamento industrial do minério de Crômio. O Crômio é usado principalmente na fabricação de ligas metálicas e estruturas da construção civil, pois confere resistência à oxidação, ao desgaste e ao atrito. Os compostos de Crômio possuem diversos usos industriais, como tratamento de couro (curtume), fabricação de tintas e pigmentos, preservante de madeira e galvanoplastia (CETESB, 2013). Os cromitos são primeiramente convertidos em dicromato de sódio e depois usados na manufatura de ácido crômico, pigmentos e agentes tânicos para couro. A emissões atmosféricas de Crômio são provenientes das indústrias, queima de combustíveis fósseis e incineração de resíduos (CETESB, 2001).

A maior parte das emissões de Crômio para o ambiente é de origem antropogênica, principalmente emissões industriais, como produção da liga ferroCrômio, refino de minério e seu tratamento químico. Cerca de 40% do metal está disponível na forma hexavalente e a maior parte advém das atividades humanas. Ele é derivado da oxidação industrial do Crômio obtido da mineração e possivelmente da queima de combustíveis fósseis, madeira e papel (CETESB, 2013).

A principal via de exposição da população em geral é a ingestão de alimentos e água, enquanto na exposição ocupacional é a inalação, também podendo ocorrer dermatites por contato. Exposições crônicas, geralmente, estão associadas com

alergias. Envenenamento por ingestão de Crômio pode provocar necrose no fígado e rim. No caso de inalação (exposição ocupacional) pode provocar irritações do trato respiratório, ulceração ou perfurações no septo nasal. Também tem sido reportado, bronquite, rinite e pneumonia. Existe evidências suficientes para carcinogenicidade respiratória por exposição ocupacional, via inalação, durante a produção de cromados. Estudos em trabalhadores da produção de sais e pigmentos cromados mostram aumento no risco de desenvolver carcinoma bronquial e no septo nasal. Não existe evidências de carcinogenicidade por ingestão oral (CETESB, 2001).

O Crômio metálico e os compostos de Crômio (III) são classificados pela IARC no Grupo 3: não classificável quanto a carcinogenicidade. Essa categoria comumente é usada para agentes para os quais a evidência de câncer é inadequada no ser humano e inadequada ou limitada em animais de experimentação. Os compostos de Crômio (VI) são classificados pela mesma agência como cancerígenos para o ser humano (CETESB, 2013).

6.3.4.4. Chumbo Inorgânico

O chumbo metálico é empregado em indústrias químicas e de construção, como ingrediente em soldas, lâminas de proteção contra raios X, material de revestimento na indústria automotiva, revestimento de cabos e está presente em várias ligas. Os óxidos de chumbo são usados em placas de baterias elétricas e acumuladores, vitrificados, esmaltes, vidros e componentes para borracha. Os sais de chumbo formam a base de tintas e pigmentos. Cerca de 40% do chumbo é usado como metal, 25% em ligas e 35% em compostos químicos (CETESB, 2013).

O chumbo é emitido para a atmosfera em grande quantidade em área urbana por incineração de resíduos e descarga de efluentes. Uma fonte elevada de chumbo provém de resíduos metalúrgicos/sucata. De uma maneira geral, para a população adulta não fumante, a principal via de exposição é pela ingestão de alimentos e água. Para crianças, as principais vias são alimento, água, ar, poeira e solo (CETESB, 2001).

A absorção no ser humano via inalação varia de 4 a 200 µg/dia. O efeito agudo geralmente é restrito a exposição ocupacional. Os primeiros sintomas são fadiga, anemia e desordens neurológicas. A anemia é decorrência de sua ação negativa sobre a síntese de hemoglobina. Dependendo do nível e duração da exposição, o chumbo pode resultar em uma variedade muito grande de efeitos, desde efeitos subcelurares a

mau funcionamento geral do corpo, de inibição de enzimas a mudanças morfológicas e morte (CETESB, 2001).

Os efeitos crônicos produzem sintomas de perda de apetite, constipação, anemia, fraqueza, cólicas e dores musculares e nas juntas. Os efeitos incluem, hipertensão, disfunção renal, más formações congênitas, diminuição da quantidade de espermas e danos ao sistema nervoso periférico, afetando principalmente a camada de mielina das fibras motoras. Quando o chumbo afeta o sistema nervoso central, as crianças também são mais susceptíveis que os adultos. Não há indícios de carcinogenicidade para seres humanos (CETESB, 2001).

6.4. RESULTADOS E ANÁLISES

Entre as alterações ocorridas nos solos urbanos, destacam-se as físicas (texturais e morfológicas) e químicas (adição de metais pesados). Essas alterações dependem das propriedades, das condições naturais dos solos, bem como o tempo e a intensidade das intervenções antrópicas, e podem ocorrer rapidamente, na escala de dias ou até mesmo horas. Quanto às propriedades físicas, os elementos mais alterados em áreas urbanas são a cor, porosidade, textura e estrutura (PEDRON et al., 2007).

A partir das amostras coletadas foram realizadas análises granulométricas para o levantamento de informações mais específicas sobre a área de depósito de RSU. Todos os pontos continham artefatos em maiores ou menores quantidades. No ponto 2 há uma camada de mais de 2 metros de resíduos, na vertente do córrego, conforme pode ser observado na Figura 25.

Figura 25: Fotos da área de estudo Parque Furquim em 14/09/2017



Fonte: Acervo do autor, 2017.

Os dados das análises granulométricas são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados das análises granulométricas

Pontos de coleta de amostras	Profundidade	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe Textural	Características
Ponto 1	50 cm	83	13	4	Areia franca	Sedimentos arenosos e pedregulhos médios
	100 cm	79	13	8	Areia franca	Sedimentos arenosos e presença de tecidos
Ponto 2	50 cm	97.6	2	0,4	Areia	Grande quantidade de entulhos de construção, plásticos, pneus
Ponto 3	50 cm	80	11	8	Areia franca	Sedimentos arenosos e pedregulhos médios
	100 cm	-	-	-	RSU	Presença de plásticos, tecidos e diversos artefatos.
Ponto 4	50 cm	82	11	7	Areia franca	Sedimentos arenosos e presença de raízes e tijolos
	100 cm	81	9	10	Areia franca	Sedimento arenoso de cor escura e úmida
Ponto 5	50 cm	99,6	0	0,4	Areia	Grande quantidade de entulhos de construção, plásticos e sapatos

Fonte: elaboração própria, 2017.

Há presença de artefatos, tais como plásticos, sacolas, tecidos, entulhos de construção, pedaços de tijolos, sapatos, pneu, depostos em grandes camadas, e próximos ao curso d' água. As diferenças de coloração e os dados de textura demonstram que estes solos possuem uma elevada quantidade de areia, pedregulhos e artefatos, incluindo plásticos, tijolos, restos de construção, tecidos e outros materiais, visto que na área os RSU estavam dispostos sem separação.

Yoshimoto e Fontana (2011) encontraram resultados semelhantes, ao analisarem amostras de solos em áreas de depósitos tecnogênicos em Presidente Prudente, obtendo como resultado da análise granulométrica, a presença de sedimentos muito arenosos, em geral pertencentes a classe textural areia franca. E concluíram que este fato que merece atenção devido aos despejos realizados no local, visto que a permeabilidade da areia é muito maior que do silte e da argila. Desta forma, o contato destes solos com substâncias tóxicas poderia acarretar danos mais severos, e a elevada concentração de areia pode tornar o solo mais suscetível a processos erosivos.

Foi analisada a presença dos elementos químicos Arsênio (As), Crômio (Cr), Cádmio (Cd) e Chumbo (Pb), pois conforme a literatura consultada são alguns dos elementos de maior ocorrência em áreas de antigos depósitos de RSU, pois são encontrados em materiais comumente destinados a aterros. Os resultados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Resultados das análises químicas de metais pesados

Pontos de coleta	Chumbo	Cádmio	Crômio	Arsênio
Ponto 1 - 50 cm	9,4	< 0,165	29	0,275
Ponto 1 - 100 cm	17,17*	< 0,176	50,72*	0,294
Ponto 2 - 50 cm	56,6*	< 0,151	18,23	0,550
Ponto 3 - 50 cm	10,41	< 0,161	19,97	0,269
Ponto 4 - 50 cm	7,8	< 0,172	23,76	0,287
Ponto 4 - 100 cm	10,97	< 0,179	32,35	0,298
Ponto 5 - 50 cm	3,446	<0,164	11	0,480

*Acima dos Valores de Referência de Qualidade (VRQ) propostos pela CETESB (2014)
Fonte: elaboração própria, 2017.

Os valores de Arsênio (As) para todos os pontos apresentaram concentrações abaixo do VRQ indicado pela CETESB (2014).

A contaminação do solo por Cádmio pode ocorrer através dos resíduos da fabricação de cimento, da queima de combustíveis fósseis e lixo urbano e de sedimentos de esgotos (YOSHIMOTO e FONTANA, 2013). As concentrações de Cádmio também apresentaram concentrações abaixo do VRQ indicados pela CETESB (2014).

O elemento Crômio (Cr) comparado com os VRQ apresentou valores acima dos indicados para o ponto 1 com profundidade de 100 cm e abaixo do indicado para os outros pontos. O valor apresentado foi 50,75 (mg kg-1) enquanto os VRQ são de 40 (mg kg-1).

As concentrações de Chumbo (Pb) apresentaram concentrações acima dos VRQ, no ponto 1 com profundidade de 100 cm apresentou o valor de 17,17 (mg kg-1), e no ponto 2 com 50 cm de profundidade apresentou valor de 56,6 (mg kg-1) enquanto o VRQ é de 17 (mg kg-1).

Os pontos 1 e 2 são pontos de maior proximidade do leito do rio, localizados a montantes da área de influência delimitada para coleta das amostras onde há as maiores concentrações de Crômio (Cr) e Chumbo (Pb) em concentrações acima dos VRQ.

Os resultados obtidos por Cavallet et al. (2013) identificaram conexão da concentração de Cr com a topografia do terreno, visto que a tendência de concentração do Cr nos pontos situados na parte mais baixa da área de estudos. Os resultados encontrados por Machado et al. (2011) indicaram a relação entre o acúmulo de Zn com a declividade do terreno em uma antiga área de aterro de RSU.

Entre os pontos amostrados, os pontos 1 e 2 apresentaram valores acima dos VRQ indicados pela CETESB (2014). O ponto 1 apresentou concentrações de Chumbo (Pb) e Crômio (Cr) acima do VRQ. Este ponto, conforme os mapas com atributos do relevo e solos está localizado no compartimento hipsométrico de 440 metros, declividades acima de 20% e na média vertente, em curvatura côncava e em solos hidromórficos (Associação Gleissolos e Planossolos), devido sua proximidade com o leito do rio.

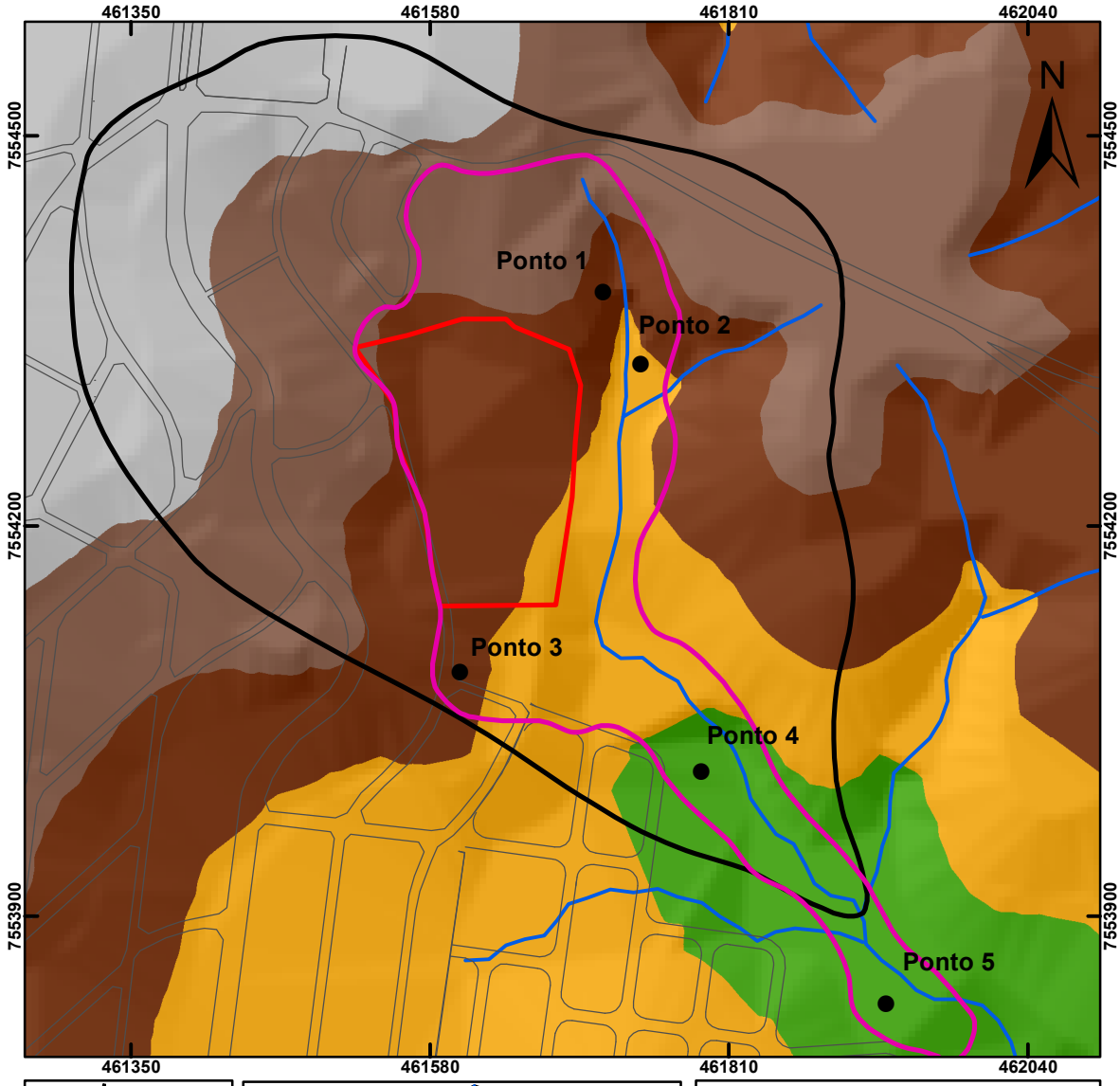
O ponto 2 apresentou concentrações Chumbo (Pb) acima dos VRQ. Este ponto conforme os mapas com atributos do relevo na faixa hipsométrica de 424 metros de elevação, no domínio das vertentes côncavas, em baixas declividades de 0 – 3% de inclinação, no compartimento de fundo de vale, e em área indicada pelo mapa preditivo de solos como área de solos hidromórficos (Associação Gleissolos e Planossolos).

A partir das análises granulométricas e comparações com características dos solos naturais no mapa preditivo de solos; das concentrações dos metais pesados e análises dos VRQ propostos pela CETESB (2014) e dos elementos propostos por Curcio et al. (2004) foi possível realizar a identificação de características dos Antropossolos na área e sua espacialização.

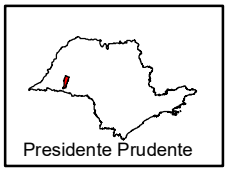
Foram identificadas as características, indicadas por Curcio et al. (2004), para identificação dos Antropossolos: (i) inversão ou mistura de horizontes genéticos e/ou diagnósticos; (ii) presença de materiais antrópicos; (iii) remoção de horizontes do solo feito pelo homem, de forma manual, por máquinas e/ou implementos; (iv) composição granulométrica e química modificadas; (v) presença de materiais tóxicos e/ou sépticos.

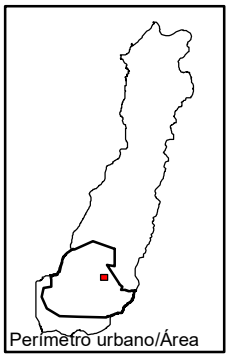
Os Antropossolos Líxicos foram delimitados levando em consideração a presença ou não de hidromorfia, e toxidade conforme a distância dos pontos com presença de elementos acima dos VRQ, visto que representam potencial de contaminação do aquífero freático. Os Antropossolos Líxicos Áquicos Toxissépticos e Sépticos foram classificados considerando a distância dos cursos de água e a área de solos hidromórficos (Associação Gleissolos e Planossolos) do mapa preditivo de solos (Mapa 22) e a presença ou não de elementos tóxicos na área do entorno. Os Órticos Toxissépticos e Sépticos conforme a proximidade dos pontos com elementos acima dos VRQ e distância dos cursos d'água. E os Antropossolos potenciais (Potenciais Áquicos Sépticos e Potenciais Órticos Sépticos) conforme os critérios anteriores, porém possuem maiores distâncias dos pontos amostrados, portanto são abordados como Antropossolos potenciais. A classificação dos Antropossolos é apresentada no Mapa 23

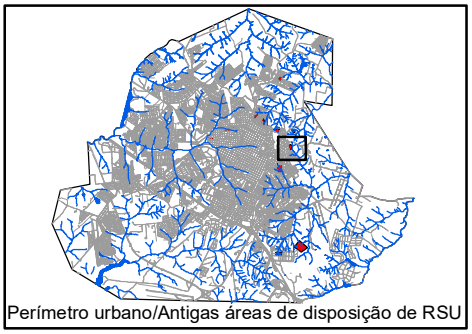
Mapa 18:
Hipsometria da área de antigo depósito de resíduos sólidos urbanos Parque Furquim - Presidente Prudente - SP











Legenda

- Pontos de coleta de amostras
- Malha urbana
- Drenagem
- Área com presença de RSU
- Área de influência
- Delimitação área de disposição de RSU (Mazzini, 1997)

Classes hipsométricas (metros)

- 460 ├ 480
- 440 ├ 460
- 420 ├ 440
- 400 ├ 420
- 380 ├ 400

Fonte dos Dados

Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada

0 0.05 0.1 0.2 Km

Elaboração

Janaina Natali Antonio

Orientador

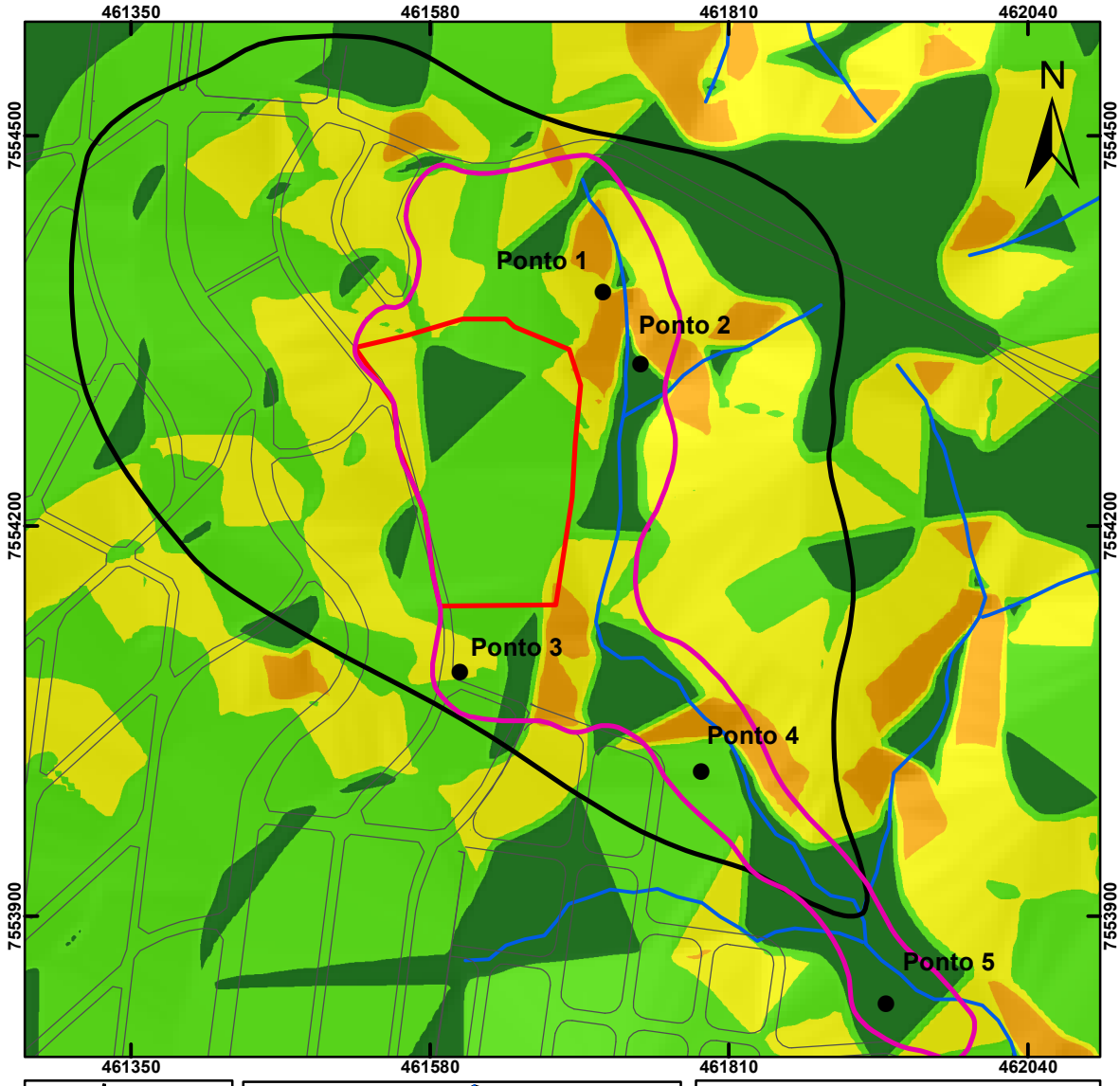
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

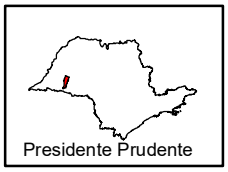
Instituições e apoio

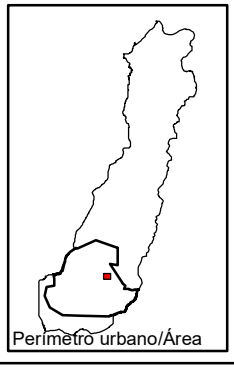
unesp
UNSW AUSTRALIA
CAPES
FAPESP

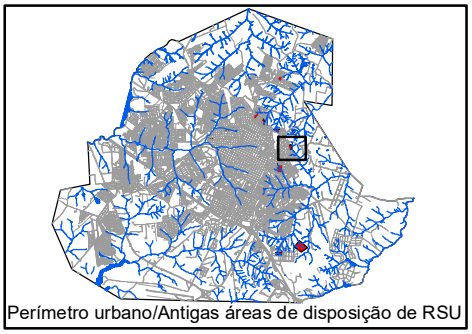
Mapa 19:
Declividade da área de antigo depósito de resíduos sólidos urbanos Parque Furquim - Presidente Prudente - SP











Legenda

- Pontos de coleta de amostras
- Malha urbana
- Drenagem
- Área com presença de RSU
- Área de influência
- Delimitação área de disposição de RSU (Mazzini, 1997)

Classes de declividade (%)

- 0 ├ 3
- 3 ├ 8
- 8 ├ 20
- > 20

Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada
0 0.05 0.1 0.2
Km

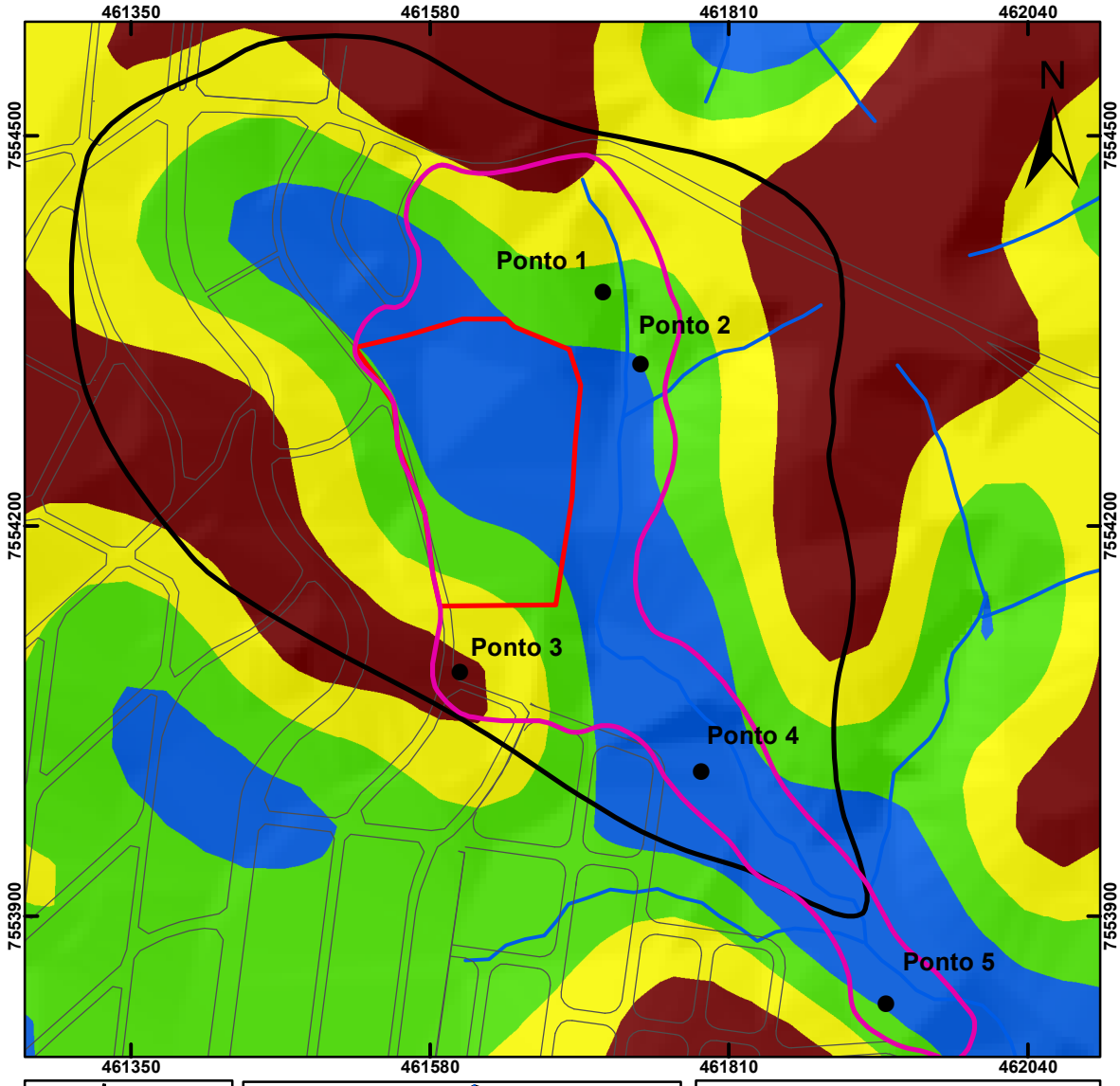
Elaboração
Janaina Natali Antonio
Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

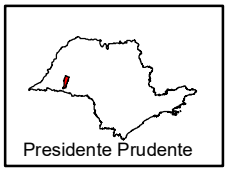
Instituições e apoio

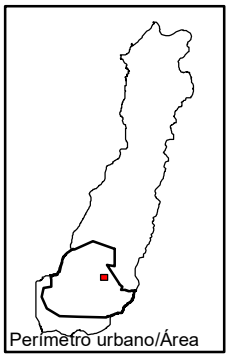
unesp
UNSW AUSTRALIA
CAPES
FAPESP

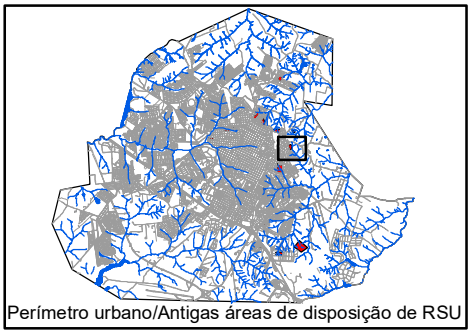
Mapa 20:
Geoformas da área de antigo depósito de resíduos sólidos urbanos
Parque Furquim - Presidente Prudente - SP











Legenda

- Pontos de coleta de amostras
- Malha urbana
- Drenagem
- Área com presença de RSU
- Área de influência
- Delimitação área de disposição de RSU (Mazzini, 1997)

Geoformas

- Topo
- Alta vertente
- Média vertente
- Fundo de vale

Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada
0 0.05 0.1 0.2
Km

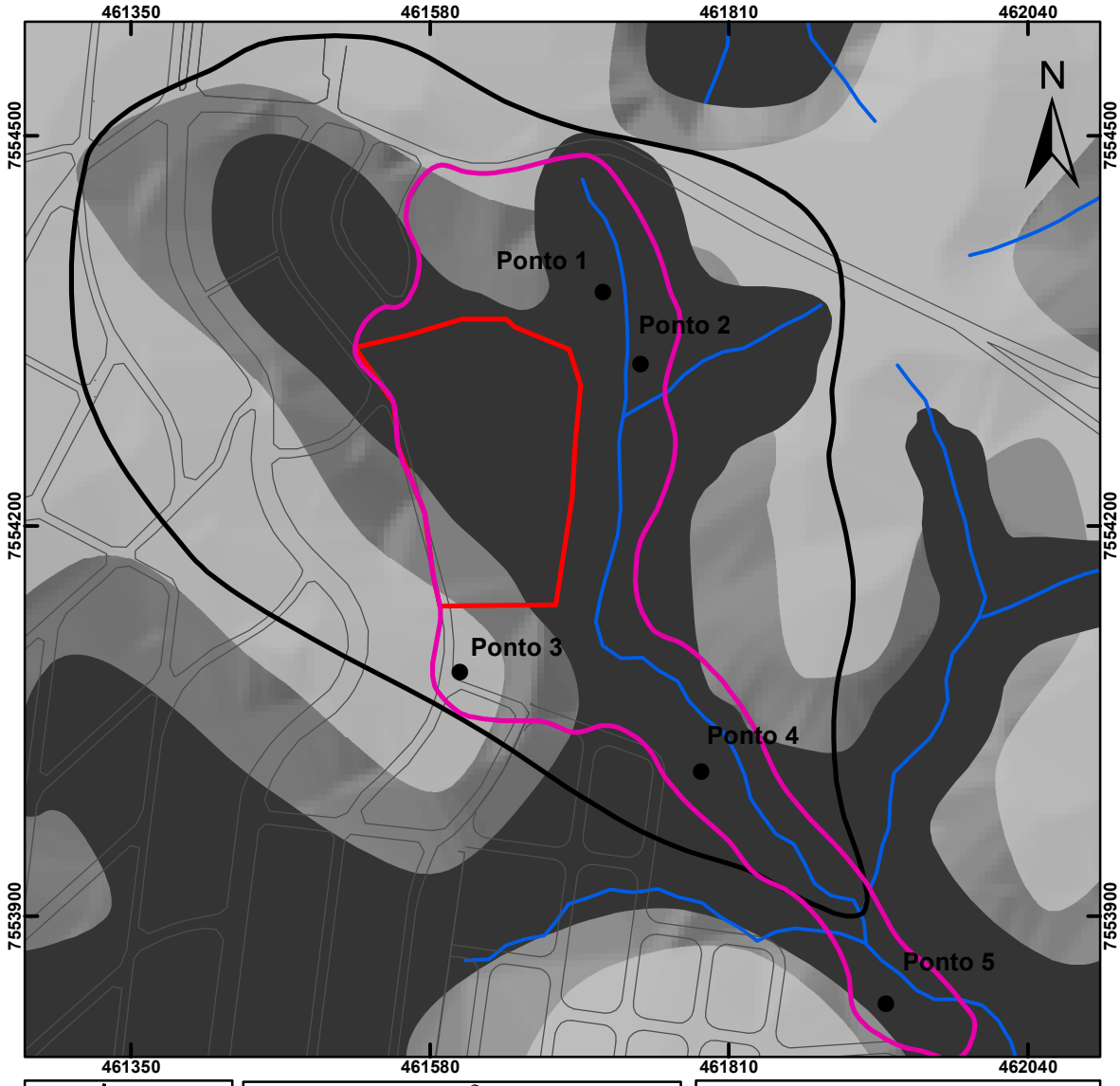
Elaboração
Janaina Natali Antonio
Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

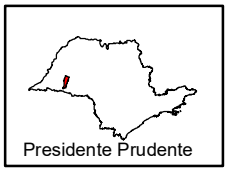
Instituições e apoio

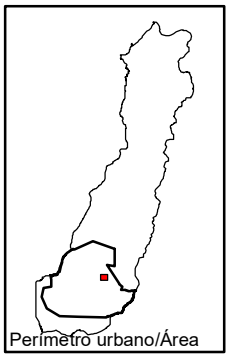
unesp
UNSW AUSTRALIA
CAPES
FAPESP

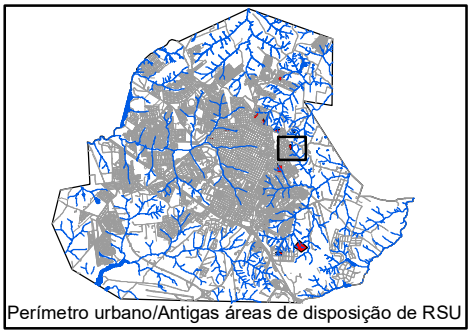
Mapa 21:
Curvatura do relevo da área de antigo depósito de resíduos sólidos urbanos Parque Furquim - Presidente Prudente - SP











Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada
0 0.05 0.1 0.2
Km

Elaboração
Janaina Natali Antonio
Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

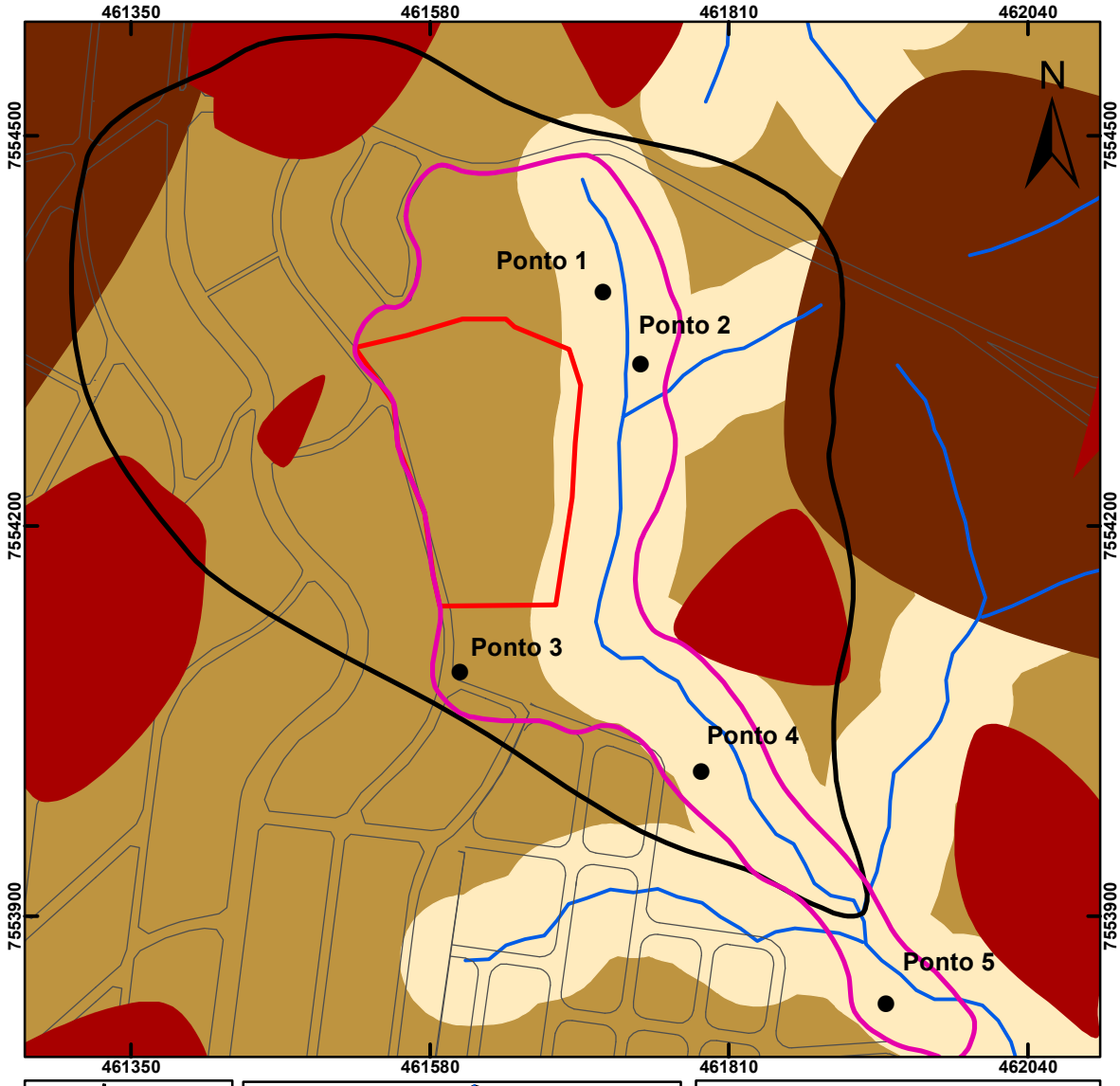
Legenda
- Pontos de coleta de amostras
- Malha urbana
- Drenagem
- Área com presença de RSU
- Área de influência
- Delimitação área de disposição de RSU (Mazzini, 1997)

Curvatura
- Côncava
- Convexa
- Retilínea

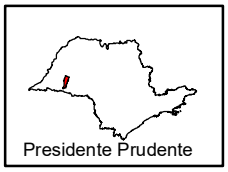
Instituições e apoio

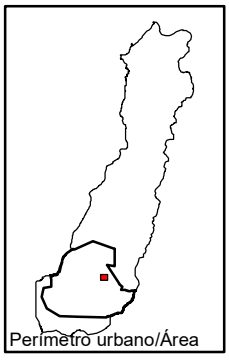
unesp
UNSW AUSTRALIA
CAPES
FAPESP

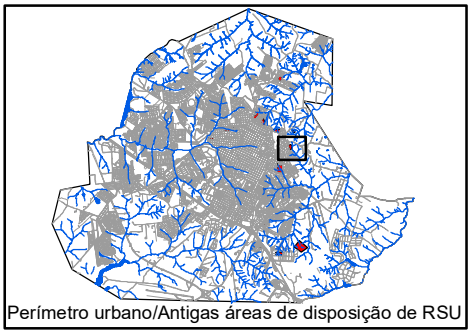
Mapa 22:
Preditivo de solos da área de antigo depósito de resíduos sólidos urbanos Parque Furquim - Presidente Prudente - SP











Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada
0 0.05 0.1 0.2
Km

Elaboração
Janaina Natali Antonio
Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

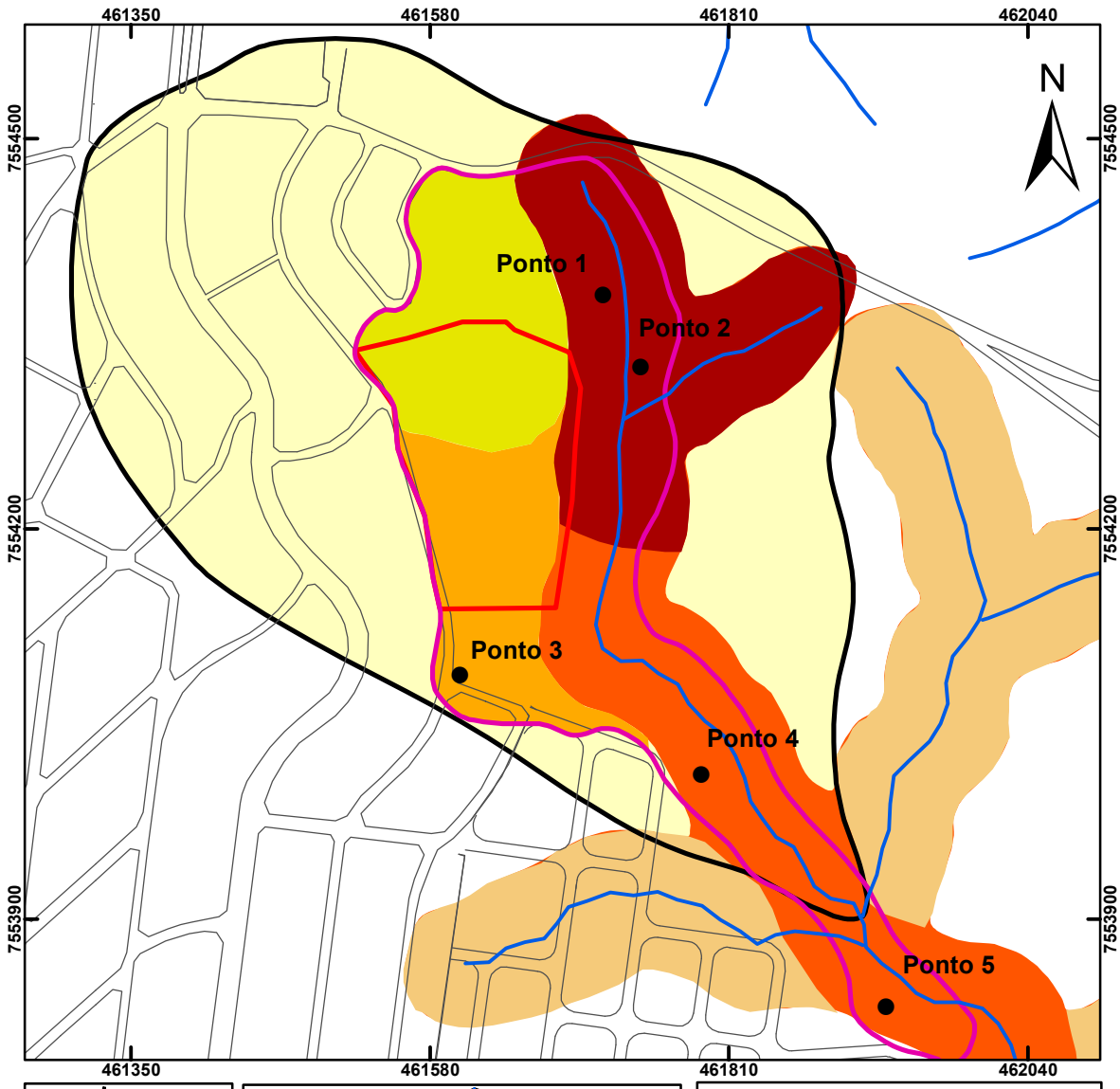
Edição: Novembro de 2017

Legenda
- Pontos de coleta de amostras
- Malha urbana
- Drenagem
- Área com presença de RSU
- Área de influência
- Delimitação área de disposição de RSU (Mazzini, 1997)

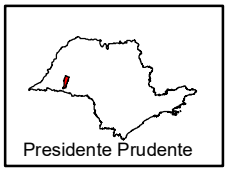
Classes de solos
- Solos rasos (Associação Neossolos)
- Solos desenvolvidos (Associação Latossolos)
- Solos hidromórfico (Associação Gleissolos e Planossolos)
- Solos rasos a desenvolvidos (Associação Argissolos)

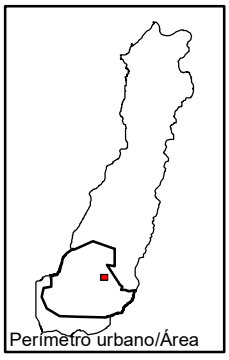
Instituições e apoio
unesp
UNSW AUSTRALIA
CAPES
FAPESP

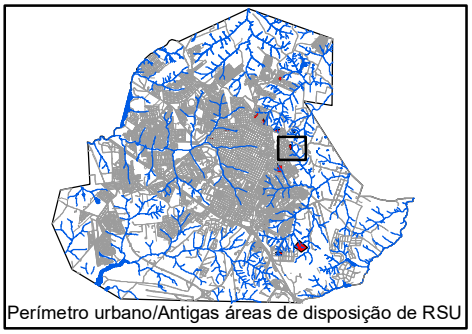
Mapa 23:
Antropossolos na área de antigo depósito de resíduos sólidos urbanos
Parque Furquim - Presidente Prudente - SP











Legenda

- Pontos de coleta de amostras
- Malha urbana
- Drenagem
- Área com presença de RSU
- Área de influência
- Delimitação área de disposição de RSU (Mazzini, 1997)

Antropossolos

- Áquicos Tóxissépticos
- Órtico Toxissépticos
- Órticos Sépticos
- Potenciais Àquicos Sépticos
- Áquicos Sépticos
- Potenciais Órticos Sépticos

Fonte dos Dados
Base de dados: Prefeitura Municipal de Presidente Prudente, 2010.
Sistema de Projeção: UTM
DATUM: SIRGAS 2000

Escala gráfica aproximada
0 0.05 0.1 0.2
Km

Elaboração
Janaina Natali Antonio
Orientador
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Edição: Novembro de 2017

Instituições e apoio

unesp
UNSW AUSTRALIA
CAPES
FAPESP

CONSIDERAÇÕES

Por se tratarem de uma classe relativamente nova e com inúmeros tipos de alterações, sejam pelo tipo de processo de transporte, retirada, ou deposição de materiais com composições variadas, necessitam de organização sistemática de dados que possam vir a contribuir para o desenvolvimento dos seus estudos, visto a importância do conhecimento das características dos solos nos ambientes urbanos, sejam para sua preservação, ocupação ou recuperação.

Ao se levantar questões sobre a necessidade de levantamentos dos solos naturais para identificar suas potencialidades e fragilidades e tomar medidas para o seu melhor aproveitamento é importante que sejam realizados levantamentos que comtemplem as alterações antrópicas, visto que em alguns casos tais alterações podem acarretar inclusive risco devido as opções de uso, como no caso dos solos potencialmente contaminados, como as áreas de antigos depósitos de resíduos sólidos urbanos (RSU).

A presença de metais pesados nestas áreas é comum, porém o monitoramento das suas concentrações pode ser de grande importância, visto que alguns metais pesados em altas concentrações são prejudiciais à saúde humana. A CETESB (2014) propõe valores de VRQ para indicar um nível de qualidade e indicar que o solo considerado limpo, sem a necessidade de prevenção ou intervenção, porém áreas com resíduos sólidos aterrados merecem maior atenção devido à diversidade de materiais descartados que podem contém contaminantes. A avaliação da distribuição espacial dos metais pesados e em diferentes profundidades pode fornecer informações valiosas a respeito do comportamento dos mesmos no ambiente, bem como de mecanismos que minimizem a contaminação (MACHADO et al, 2011).

Nos pontos 1 e 2 foram encontrados a presença de metais pesados acima dos VRQ indicados pela CETEB (2014). No ponto 1 os valores de Crômio (Cr) foram de 50,75 (mg kg-1) enquanto os VRQ são de 40 (mg kg-1) e de Chumbo (Pb) valor de 17,17 enquanto o VRQ é de 17 (mg kg-1). No ponto 2 os valores foram encontrados valores de Chumbo (Pb) de 56,6 (mg kg-1) enquanto o VRQ é de 17 (mg kg-1).

De acordo com a resolução CONAMA 420/2009, estes solos devem ser enquadrados na classe 2, composta por solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior do que o VRQ e menor ou igual ao VP. Conforme o art. 20, desta resolução, que indica os procedimentos que deverão ser observados para prevenção e controle da qualidade do solo, sendo aos classificados na classe 2, poderão ser requeridas uma avaliação do órgão ambiental, incluindo a verificação da possibilidade de ocorrência natural da substância ou da existência de fontes de poluição, com indicativos

de ações preventivas de controle, quando couber, não envolvendo necessariamente investigação.

Rossiter (2007) apresenta a ideia de que a toxidade do solo irá depender também do receptor e da maneira de exposição, bem como da fonte, podendo definir um qualificador tóxico como "potencialmente tóxico para um receptor definido sob condições definidas". Assim solos de áreas com deposição de resíduos sólidos urbanos poderiam ser considerados potencialmente tóxicos de acordo com o uso proposto, tais como usos residenciais.

Quanto ao caráter de toxidade nas áreas de Antropossolos Líxicos Áquicos ou Órticos pode ser complementado com definições da CETESB de substância tóxica[104] e de áreas contaminadas, proposta pela Lei 12.305[105] e da CETESB[106]·. E também por se tratar especificamente de áreas com adição de resíduos seria conveniente elencar os principais elementos que podem ser encontrados nestas áreas como o caso dos metais pesados mais comuns, entre estes estão os destacados o Arsênio (As), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Crômio (Cr), visto que estão presentes em diversos tipos de resíduos dispostos em aterros, como lâmpadas, pilhas, baterias, restos de tintas, latas, dentre muitos outros produtos com substâncias tóxicas presentes (XIAOLI et al., 2007; MACHADO et al, 2011; CAVALLET et al., 2013) com predomínio de Crômio (Cr) e Chumbo (Pb) (XIAOLI et al., 2007), estes últimos também predominantes na área de estudo em Presidente Prudente e colaboram para a confirmação desses dados.

---

[104] São substâncias capazes de provocar a morte ou danos à saúde humana se ingeridas, inaladas ou por contato com a pele, mesmo em pequenas quantidades. As vias pelas quais os produtos químicos podem entrar em contato com o nosso organismo são três: inalação, absorção cutânea e ingestão. A inalação é a via mais rápida de entrada de substâncias para o interior do nosso corpo e a mais comum. Já com relação a absorção cutânea, podemos dizer que existem duas formas das substâncias tóxicas agirem. A primeira é como tóxico localizado, onde o produto em contato com a pele age na sua superfície provocando uma irritação primária e localizada. E a segunda forma, é como tóxico generalizado, quando a substância tóxica reage com as proteínas da pele ou mesmo penetra através dela, atinge o sangue e é distribuída para o organismo, podendo atingir vários órgãos (CETESB, 2017).

[105] Área contaminada: Local onde há contaminação causada pela disposição, regular ou irregular, de quaisquer substâncias ou resíduos (BRASIL, 2010).

[106] Área contaminada: uma área, local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural. Nessa área, os poluentes ou contaminantes podem concentrar-se em subsuperfície nos diferentes compartimentos do ambiente, como por exemplo no solo, nos sedimentos, nas rochas, nos materiais utilizados para aterrar os terrenos, nas águas subterrâneas ou, de uma forma geral, nas zonas não saturada e saturada, além de poderem concentrar-se nas paredes, nos pisos e nas estruturas de construções. Os poluentes ou contaminantes podem ser transportados a partir desses meios, propagando-se por diferentes vias, como o ar, o próprio solo, as águas subterrâneas e superficiais, alterando suas características naturais de qualidade e determinando impactos negativos e/ou riscos sobre os bens a proteger, localizados na própria área ou em seus arredores (CETESB, 2017).

Sobre a classificação de Antropossolos Líxicos Áquicos ou Órticos é importante considerar a necessidade de maior atenção quanto ao uso e no gerenciamento dos Áquicos, pois podem realizar a contaminação das águas superficiais e subterrâneas a partir da contaminação dos solos, caracterizada por Günther (2006) como uma poluição multimeios, principalmente pela grande ocorrência de Antropossolos Líxicos Áquicos devido ao histórico de disposição de RSU, em muitos municípios brasileiros, e em Presidente Prudente – SP, predominantemente realizados em áreas de fundos de vale, próximos aos cursos d'água.

De acordo com Curcio et al. (2004) para a realização da classificação dos Antropossolos, nos segundo e terceiro níveis é utilizado essencialmente o caráter morfológico, e para o quarto nível necessitam de análises laboratoriais, apenas os Antropossolos Líxicos podem ser classificados até o quarto nível utilizando características morfológicas, devido a presença de artefatos. Entretanto, sem a realização de análises laboratoriais não é possível determinar a ocorrência de elementos tóxicos.

Devido à alta concentração de areia e presença de artefatos de diferentes origens, tamanhos e massas, a construção nestas áreas não é recomendada, ou é possível com a utilização de fundações profundas e uso de tecnologias em construções. Mazzini (1997) apresentou que duas das antigas áreas de depósitos de RSU apresentaram problemas nesse sentido.

A primeira no Jardim Duque de Caxias, onde uma voçoroca foi aterrada com RSU, nos anos de 1977 e 1979, liberada para loteamento onde, posteriormente, ocorreram desabamentos de edificações devido à instabilidade da área. A segunda área foi no Parque São Matheus, onde uma voçoroca em fundo de vale foi utilizada para a disposição de RSU e posteriormente, foi concluído um loteamento, no ano de 1985, onde foram relatados casos de rachaduras e infiltrações nas casas. A área apresentada neste artigo, localizada no Parque Furquim foi loteada e as obras encontram-se em andamento, porém, as informações não foram disponibilizadas pela prefeitura municipal (MAZZINI, 1997).

Tendo em vista os resultados apresentados nota-se que o conhecimento sobre os solos e mesmo sobre o histórico das áreas urbanas nem sempre são considerados no planejamento para ocupação do solo. Esta lógica contribui para a sobre posição de problemas ambientais, e em alguns casos podem vir a representar risco para a população.

REFERÊNCIAS

ANTONIO, J. N. e GOMES, M. F. V. B. A produção do espaço urbano e a questão dos resíduos sólidos. **RA´E GA**, Editora UFPR, Curitiba, n. 16, p. 111-118, 2008.

BULLOCK, P. e GREGORY, P. J. Soils – a neglected resource in urban areas. In: BULLOCK, P. e GREGORY, P. J. **Soil in the urban environment**. 1991.

CAVALLET, L. E., CARVALHO, S. G. de, FORTES NETO, P. Metais pesados no rejeito e na água em área de descarte de resíduos sólidos urbanos. **Ambiente & Água**, vol. 8 n. 3 Taubaté - Sep. / Dec. 2013.

CELERE, M. S., OLIVEIRA, A. da S., TREVILATO, T. M. B., SEGURA-MUÑOZ, S. I. **Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública**. Caderno Saúde Pública, Rio de Janeiro, 23(4), p. 939-947, abril, 2007.

CETESB. **Valores Orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB, 2001.

CETESB. **Valores Orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB, (Série Relatórios/ Secretaria do Estado do Meio Ambiente). 2005.

CETESB. **Valores Orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB, referente ao Relatório à Diretoria nº 001/2014/E/C/I, de 14.02.2014.

CONAMA. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 420 de 28 de dezembro, 2009.

HOLLIS, J. M. The classification of soils in urban areas. In: BULLOCK, P. e GREGORY, P. J. **Soil in the urban environment.** 1991.

MACHADO, M. E.; MENEZES, J. C. S. dos S.; COSTA, J. F. C. L.; SCHNEIDER, I. A. H. Análise e avaliação da distribuição de metais pesados em um antigo aterro de resíduos sólidos urbanos “Aterro Invernadinha”. In: **Evidência**, Joaçaba v. 11 n. 2, p. 69-82, julho/dezembro 2011.

MAZZINI, E. de J. T. **De lixo em lixo em Presidente Prudente (SP)**: novas áreas, velhos problemas. (Bacharelado em Geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 1997.

SANTOS, G.O.; RIGOTTO, R.M. Possíveis impactos sobre o ambiente e a saúde humana decorrentes dos lixões inativos de Fortaleza (CE). **Revista Saúde e Ambiente/Health and Environment Journal**, v. 9, n. 2, p. 45-58, 2008.

SOBOCKÁ, J. Specifics of urban soils (Technosols) survey and mapping. In: **19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World**. Brisbane, Australia, 1 – 6 August 2010.

WHO. World Health Organization. **Arsenic in Drinking-water**. Guidelines for Drinking-water. Disponível em:

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/arsenic.pdf, Geneva, Switzerland, 2011.

YOSHIMOTO, K. Y. e FONTANA, S. **Determinação de contaminantes em planície fluvial tecnogênica no Bairro Vila** Nova **Prudente.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia ambiental), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2013.

ZANATA, J. M. e PERUSI, M. C. Solos urbanos: degradação ambiental na forma de processos erosivos. **Revista Geografia e Pesquisa**. Ourinhos, v. 4, n. 2, 2010. p. 107-122.

XIAOLI, C. SHIMAOKA, T.; XIANYAN, C.; QIANG, G.; YOUCAI, Z. Characteristics and mobility of heavy metals in an MSW landfill: Implications in risk assessment and reclamation. **Journal of Hazardous Materials**, v.144, n. 1-2, p. 485-491, 2007.

AVALIAÇÃO

7. AVALIAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA

Para sistematizar o estudo dos Antropossolos, nesta tese, partiu-se do princípio de que os Antropossolos são resultantes da relação entre a sociedade e a natureza. A sociedade representada pelos elementos culturais/políticos/econômicos materializados na paisagem, por meio da produção do espaço urbano, em áreas de disposição de RSU. E a natureza representada pelos elementos naturais relevo e solos. Os elementos foram associados para a realização de uma síntese, utilizando a modelagem para a associação dos elementos naturais, e a análise do conjunto de elementos culturais/políticos/econômicos responsáveis pela formação dos Antropossolos. As discussões e análises foram subdivididas em cinco artigos científicos, representados por cinco capítulos desta tese.

A fundamentação sobre o histórico e as principais discussões, definições e características que devem ser identificadas para realizar a classificação dos Antropossolos formaram a base para realizar a metodologia de classificação proposta e as discussões adotadas nos demais capítulos.

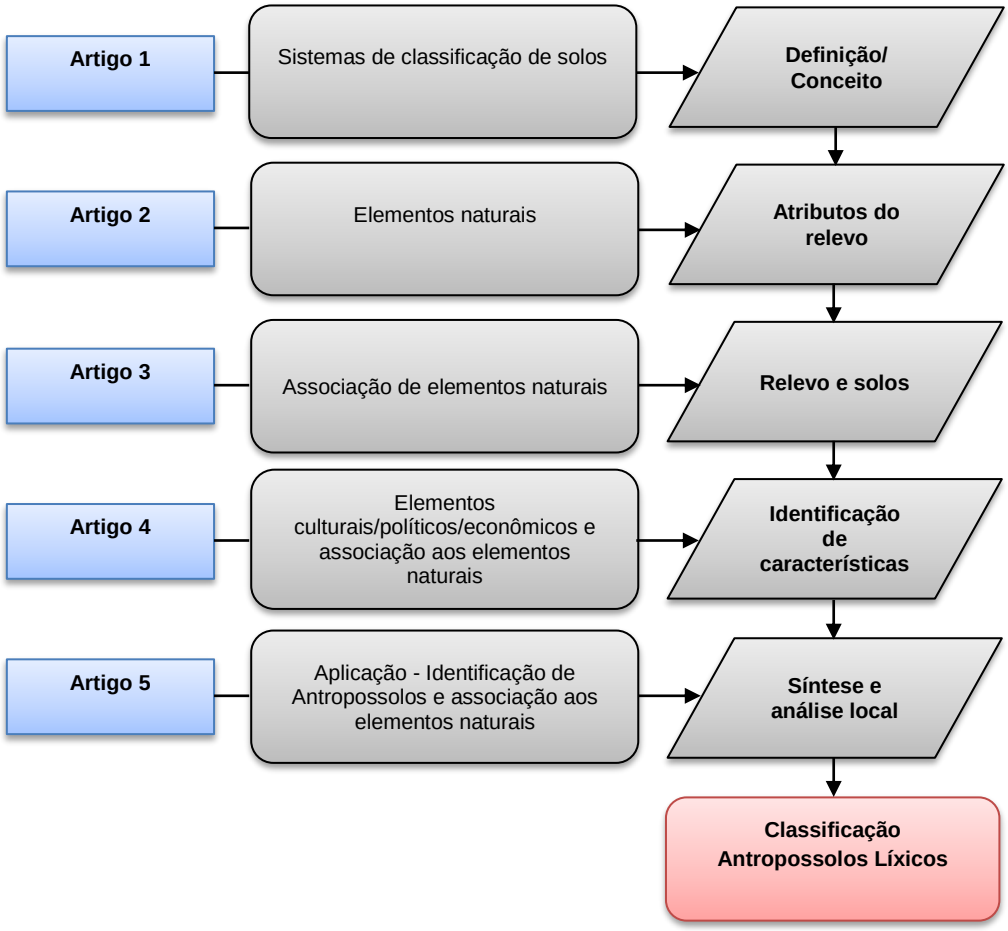
O reconhecimento das características do relevo e sua relação como principais tipos de solo permitiu identificar as características predominantes de relevo, no nível do município, que posteriormente servirão de base para a compreensão da distribuição espacial destes atributos na área urbana e no recorte de estudo local. A partir do reconhecimento dos atributos do relevo e a relação com ocorrência dos principais tipos de solos permitiu realizar o mapeamento preditivo de solos, com uso de RNA, que demonstrou ser uma técnica eficiente no reconhecimento de padrões de distribuição de tipos de solos. O mapa preditivo de solos foi fundamental para realizar comparações com as características dos Antropossolos de acordo com a distribuição espacial. Os mapas de atributos do relevo e de solos foram utilizados nas análises dos capítulos seguintes.

A compreensão do processo que resultou na localização das áreas dos antigos depósitos de RSU, principalmente nos setores norte e leste da área urbana, foi importante para compreender a dinâmica envolvida na formação dos Antropossolos Líxicos e sua localização predominante em determinados compartimentos do relevo, seguindo a lógica de produção do espaço urbano, mais especificamente a cidade de Presidente Prudente-SP.

As análises locais com a utilização dos conceitos apresentados pelos sistemas de classificação e os elementos propostos para classificação dos Antropossolos, as características do relevo e solos e, por fim, o conhecimento do processo de formação

desses solos foram combinados às análises granulométricas, de presença de metais pesados e de artefatos para a caracterização de uma área de Antropossolos (classificado até o seu quarto nível categórico da proposta de Curcio et al., 2004), bem como permitiu adaptação e inserção de novos elementos para subsidiar a classificação de Antropossolos em áreas de antigos depósitos de RSU, conforme apresentado na Figura 26.

Figura 26: Elementos de subsídio para classificação de Antropossolos em antigas áreas de RSU



Fonte: elaboração própria, 2017.

A metodologia proposta permitiu realizar uma análise geográfica da questão dos Antropossolos, com base nas discussões dos problemas ambientais nas áreas urbanas, resultantes da apropriação da natureza pela sociedade, neste caso pelo poder público local, que pela falta de políticas de disposição de RSU adequadas promoveu a alteração dos solos. As análises granulométricas e de metais pesados permitiram enquadrar a área dentro da conceituação proposta por Curcio et al. (2004), bem como elencar novos elementos, como as características de relevo e solos naturais às análises dos Antropossolos, que poderão ser aplicados em outras áreas.

CONSIDERAÇÕES

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento das características do solo é fundamental para o planejamento do seu uso, principalmente nas áreas urbanas onde são intensamente ocupados. As atividades e processos desenvolvidos sobre os solos nas áreas urbanas alteram as suas características naturais e modificam a sua condição de estabilidade. Em muitos casos solos em áreas com condições de fragilidade ambiental e que deveriam ser preservadas, tais como encostas de morros com altas declividades ou fundos de vale em margens de rios, são convertidas em diferentes usos, nem sempre adequados.

Para realizar o estudo mais abrangente dos Antropossolos é importante considerar as relações geográficas de forma mais ampla possível. Por se tratar de um produto antrópico, produzido principalmente nas áreas urbanas, a discussão deve partir sobre como tais solos são formados e como se diferenciam dos processos de formação dos solos naturais. No caso dos solos antrópicos, o processo de formação/alteração é influenciado diretamente pela ação humana. Portanto, são as formas de relação existente entre a sociedade e a natureza que irão substituir os elementos da pedogênese. Como os solos que passaram por maiores transformações estão presentes nas áreas urbanas é importante compreender como ocorre a dinâmica de ocupação destes solos.

Nos estudos dos solos é perceptível que, ainda, parte das discussões sobre os solos estão direcionadas em buscar solução e medidas para o seu melhor aproveitamento, considerando potencialidades e fragilidades, com a discussão de medidas e técnicas que favoreçam a ocupação dos solos em suas condições naturais. Os solos naturais possuem uma dinâmica específica, que foi determinada após muitos estudos. Entretanto, os estudos sobre como utilizar os solos naturais e suas características, nem sempre são aplicados, visto que as ocupações das áreas urbanas, na maioria dos casos, foram realizadas sem estudos técnicos prévios sobre as características dos solos e as medidas adequadas para promover o seu uso racional.

Antes de solucionar o problema dos solos naturais, cria-se um novo problema, em função do uso dos solos urbanos, sobre os quais havia pouco conhecimento. Foram muitas mudanças tão significativas que estes solos já possuem uma nova composição e estrutura, as quais devem ser levadas em consideração, pois não se tratam mais exclusivamente das características, de textura ou morfologia, mas da presença de artefatos com composições desconhecidas vindos de diferentes fontes, entre eles materiais contaminantes e nocivos à saúde humana.

A presença destes materiais pode causar problemas de subsidência do terreno, visto que os artefatos são também de tamanhos, massa, volumes diferentes e no caso dos resíduos orgânicos passam por processos de decomposição da matéria liberando, neste processo, líquidos (chorume) e gases (metano) que podem entrar em combustão. Nestes solos os processos atuantes são distintos dos processos que ocorrem nos solos naturais, por isso a necessidade de serem estudados, não unicamente para conhecimento das características alteradas, mas para agir preventivamente evitando que novos problemas se sobreponham aos antigos.

As alterações nos solos causadas pela sociedade foram significativas e levaram a proposições de novas classes como as dos solos com alterações antrópicas (*Technosols, Anthrosols*, Antropossolos). Estes foram conceituados recentemente e ainda possuem poucos estudos sobre a sua dinâmica. Porém, já representam uma problemática que será pensar formas de melhor utilizar os solos alterados, os quais ainda não têm suas características determinadas, inclusive porque são formados por processos distintos, que englobam questões de ordem social, cultural, econômica e política.

Ao tratar da identificação dos Antropossolos em sua categoria Líxicos, resultantes das alterações antrópicas causadas nos solos pela disposição de resíduos sólidos é necessário compreender a lógica que permeia a produção destas áreas. Essa lógica deve ser compreendida em relação: i) à dinâmica da sociedade e sua relação com a natureza, ii) à forma e ao ritmo da produção do espaço urbano, iii) à geração e o consumo de novos produtos, principalmente os descartáveis, e, iv) às políticas e práticas de gerenciamento de RSU, adotadas pelas diferentes escalas de poder público.

Esta situação não ocorre aleatoriamente, ela é fruto das condições capitalistas de produção do espaço urbano, o qual é produzido de forma excludente. As cidades se dividem para aqueles que têm condições de pagar por ela e todos os benefícios que a vida urbana pode oferecer, já para os que não podem pagar, cabe-lhes as áreas rejeitadas, desvalorizadas, que muitas vezes oferecem riscos de ocupação, principalmente as áreas naturais de alta fragilidade como o caso dos morros, alagados ou fundos de vale. A diferenciação destes espaços é feita de diversas maneiras pelos agentes produtores do espaço urbano.

No caso de Presidente Prudente os Antropossolos Líxicos foram produzidos, inicialmente pela influência dos agentes produtores do espaço urbano, que apropriando-se de determinadas características do relevo, determinaram qual seria a forma de ocupação do espaço urbano da cidade, destinando a população com melhores condições financeira para os compartimentos de relevo, principalmente, em topos planos, e à população com

menores condições financeiras restaram as áreas menos desejadas sob a questão do relevo, como áreas com maiores declividades e/ou os fundos de vale.

A distribuição das áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos, pelo poder público municipal, seguiu esta mesma lógica, direcionando os resíduos sólidos coletados para áreas distantes das áreas com maior concentração populacional para áreas pouco ocupadas ou ocupadas pela população mais desfavorecida. As áreas foram escolhidas sem planejamento, apenas seguindo a lógica de aterrar fundos de vale e erosões, e que após o encerramento das atividades de disposição foram abandonadas. Com a expansão da malha urbana, em todos os sentidos, inclusive, para as áreas de antigos depósitos de resíduos sólidos, essas áreas passaram a integrar a paisagem urbana.

O poder público, como agente produtor do espaço urbano, no que diz respeito à gestão dos resíduos sólidos, realizou a apropriação de áreas com altas declividades, fundos de vale e/ou já afetadas por processos erosivos, conforme uma lógica de sobrepor problemas ambientais, produzindo novos espaços, novas paisagens, novos solos.