

**ZONEAMENTO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PACIÊNCIA, ILHA DO MARANHÃO-
MA.**



FRANCISCO AFONSO CAVALCANTI JÚNIOR

Francisco Afonso Cavalcanti Júnior
(Programa de Pós Graduação em Geografia – UNESP/FCT)

Orientador: Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli
(Departamento de Geografia – UNESP/FCT)

**ZONEAMENTO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PACIÊNCIA, ILHA DO MARANHÃO-
MA.**

Dissertação de mestrado submetida à banca examinadora para a obtenção do título de Mestre conferido pelo Programa de Pós-graduação em Geografia da UNESP/FCT.

Área de Concentração: Produção do Espaço Geográfico.

Linha de Pesquisa: Dinâmicas da Natureza.

Presidente Prudente, SP

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

C365z Cavalcanti Júnior, Francisco Afonso.
Zoneamento do escoamento superficial da Bacia Hidrográfica do Rio
Paciência, Ilha do Maranhão – MA / Francisco Afonso Cavalcanti Júnior. -
Presidente Prudente : [s.n.], 2016
240 f.

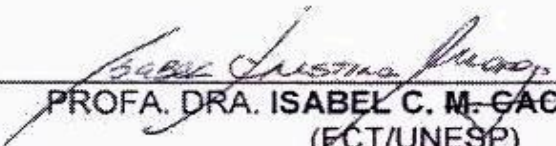
Orientador: José Tadeu Garcia Tommaselli
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências e Tecnologia
Inclui bibliografia

1. Escoamento superficial. 2. Mapeamento geoambiental. 3.
Permeabilidade do solo. I. Tommaselli, José Tadeu Garcia. II. Universidade
Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. III. Título.

BANCA EXAMINADORA



PROF. DR. JOSÉ TADEU GARCIA TOMMASELLI
ORIENTADOR



PROFA. DRA. ISABEL C. M. GACCIA GOUVEIA
(FCT/UNESP)



PROFA. DRA. EDILEA DUTRA PEREIRA
(UFMA)



FRANCISCO AFONSO CAVALCANTI JUNIOR

Presidente Prudente (SP), 08 de janeiro de 2016.

RESULTADO: APROVADO

*Aos meus pais, Florência e Francisco,
incansáveis apoiadores e motivadores,
Aos meus familiares
e ao povo do meu Estado, o Maranhão.*

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos talvez constituam uma das partes mais difíceis deste documento, visto que nele pode-se correr o risco de cometer, ainda que não intencionalmente, algumas injustiças, mas também é um momento para refletir e perceber que nada nesta vida se constrói sozinho e isso não isenta a pesquisa científica.

Aqui quero agradecer a todos que, direta ou indiretamente, deram sua parcela de contribuição para a conclusão de mais esta etapa em minha vida.

Eu creio em Deus e sei que minha relação com Ele não é mais como era antes, por minhas próprias decisões e ideologias, acredito que ainda assim Ele se importa comigo e tem me acompanhado nos momentos mais difíceis. Muito obrigado!

Meus pais são as pessoas que mais acreditam em mim, quando eu era criança, e passei por sérias dificuldades de aprendizagem na escola, lembro-me das broncas que levava, mas também me lembro do esforço do seu Francisco e da dona Florência na busca de respostas para minha condição. Lembro-me também de todos os esforços dos meus pais para que eu tivesse a oportunidade de estudar e anos mais tarde para que eu não desistisse. Tudo o que sou hoje e tudo o que conquistei até aqui é por eles e para eles e hoje sei, contrariando a profecia de uma professora da 2ª série, que meu futuro não será na roça puxando carroça. Muito obrigado por tudo!

À professora Ediléa Pereira pelo desafio proposto para o projeto de mestrado, pelo acompanhamento desde a graduação, pelo suporte nos trabalhos de campo da pesquisa e pelo carinho de até aqui ter acompanhado minha trajetória. Muito obrigado!

Ao meu orientador Tadeu Tommaselli, orientador que se tornou um amigo. Não o conhecia e nem prestei o mestrado inscrito com ele, mas o destino se encarregou de coloca-lo no meu caminho, o que a princípio me parecia trágico se transformou em uma parceria de sucesso. Muito obrigado por sempre estar disposto a ajudar, pela orientação e troca de conhecimento, pelo ensino, pela atenção, pelo apoio, por acreditar em mim, por ter sempre uma palavra amiga, pelas conversas e risadas. Muito obrigado!

Ao professor João Osvaldo pelas experiências compartilhadas, pelas contribuições geográficas, pelo acolhimento no LabSolos e por todas as vezes que se mostrou disponível a cooperar com a pesquisa. As suas contribuições foram fundamentais para a conclusão deste estudo, muito obrigado!

Quero a agradecer à professora Isabel Moroz pela disponibilidade em ajudar, contribuindo para o enriquecimento da pesquisa. Também quero agradecer a todos os

docentes desta pós-graduação pelas disciplinas e palestras ministradas que suscitaram debates, crescimento científico e pessoal.

A toda a equipe da Seção Técnica de Pós-graduação em nome de Ivonete, Aline, André, Leonardo e em especial a Cinthia, pela dedicação e responsabilidade com todos os processos e assuntos que envolvem a vida dos pós-graduandos. Muito obrigado!

Quero agradecer aos colegas da Universidade Federal do Maranhão que estiveram dando suporte aos trabalhos de campo e dividindo comigo as pressões impostas pela alta umidade e temperatura da região e também os momentos perigo. Aos colegas Isabela Camila, Sandreane, Fabrício Silva, Paulo Roberto, Roberto Bruno, Cristiane Moraes, Valdir Cutrim, Renata Castro, Waldilene Corrêa, Andrey Vilela, Rafael e em especial a Antônio Felix que não mediu esforços e esteve em quase todos os trabalhos. A todos meu muito obrigado de coração, pois sem vocês seria inviável a realização deste trabalho.

O estágio pesquisa no exterior foi uma experiência muito enriquecedora do ponto de vista científico e pessoal e aqui quero registrar meu agradecimento, em espanhol, a todos que estiveram envolvidos. *A la Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Geografía y a los Laboratorios de Geografía Física y Geográfica Física Aplicada que recibieron al becario y le ofrecieron las condiciones necesarias para el desarrollo del trabajo. Al profesor Fernando Allende Álvarez por la ayuda en los trámites de documentos, por la acogida en la universidad, por la invitación para participar de disciplinas y de forma especial, por la orientación en el desarrollo del proyecto. Al profesor Felipe Fernández García por permitir al becario asistir, seguir y participar de su disciplina, así como por todo el apoyo brindado. A la profesora Blanca Tello Ripa, Helena, Alice y Carla Eva por el soporte en los laboratorios, apoyo, acogida y compañía.*

Muito obrigado à equipe do LabSolos por toda aprendizagem e troca de experiências; Melina, Érika, Caio, Ribas, Ana Paula, Juliana, Jessica, Mariana, Mayara, Giordano, Pedro, Dener, Camila Al Zaher, Lucas, Renato, Felipe, Alessandro e Marcel; em especial quero agradecer ao Victor pela paciência, por ter me ensinado as técnicas e análise física de solo e pelo suporte de todas as horas. Muito Obrigado Vitão!

Aos meus amigos que fizeram da minha estadia em Presidente Prudente um período muito especial. Com eles ri, chorei, briguei e aprendi muito, quero agradecer ao Rodrigo Vitor pela parceria, pelas conversas bem humoradas e pelas cervejas! Ao Josué Viegas por me apresentar grande parte dos meus amigos, pelos debates diversos e pelas

cervejas é claro; ao grande Paulo Roberto (vulgo Paulete), pelos socorros e suportes no ArcGis, pela grande ajuda nos trabalhos de campo e por ser uma pessoa de coração gigante; à Ana Paula pelos seus dotes culinários, sempre me alegrando com algum quitute nas nossas “festinhas” particulares; à Renatinha por me aturar quando eu bebia um pouco demais e ficava tirando com ela, daí eu sempre ficava bem a vontade; à Priscila Engel (Pri) por ser alto astral e sempre alegrar nossos encontros com os “causos” do 18, pelas caronas também (o Rodrigo sempre dava carona também!); à Taíssa por sempre alegrar as festas me acompanhando nas danças; à Carla Hentz, a garota dos “causos” de Chapecó, com ela a diversão é sempre garantida! À Fernanda Bonfim por ter sido uma pessoa especial e amiga, sempre solícita e disposta a ajudar; à Aline Sulzba (Petra) por ser uma pessoa de um coração que não cabe dentro dela, obrigado pela acolhida em prudente, pelo suporte físico e psicológico, por todos os conselhos e conversas; à Gislene Ortiz por ter sido uma grande incentivadora e apoiadora quando cheguei em Prudente e por todo suporte dispensado a mim; ao Tássio (Baiano) pelos bons momentos de prosa e pelas risadas e ao Oscar Andrés (Colombiano) por ser o colombiano mais divertido que conheci e sempre estar de bem com a vida. Muito obrigado por terem aturando minhas chatices!

Quero fazer um agradecimento especial a minha amiga Liriane. A menina fala pelos cotovelos e sua estatura não é a das maiores, mas seu coração é do tamanho do universo! Liri, muito obrigado pela amizade e por sempre estar disposta a ajudar!

Não posso esquecer-me daquela que tem sido meu refúgio em meio às dificuldades da vida acadêmica e pessoal, aquela que consegue arrancar o meu melhor sorriso. Larissa (Pifa), muito obrigado por estar sempre ao meu lado, por acreditar em mim, por sempre me socorrer nos trabalhos acadêmicos e por todo carinho. Muito obrigado!

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo financiamento da pesquisa por meio da bolsa de mestrado e estágio pesquisa no exterior.

Agradeço à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Presidente Prudente, pela disponibilidade de suas estruturas físicas e pelos funcionários atenciosos e competentes (em especial a Tamae).

A todos os colegas e discentes do programa de Pós-Graduação em Geografia, muito obrigado pela vivência e debates que agregaram conhecimento científico e pessoal. Não conseguirei citar todos, mas quero registrar os nomes dos colegas Baltazar

Casagrande, Carla Rodrigues, Luíza Durán, César Andrés, Helen, Ana Coral, Carlos Max, Yolima, Robin Zoom, Janaína Antônio, Letícia Trombeta, Núbia Beray, Lindberg, Vinicius Cirso, Taína, Fernando Gluglu, Karime, Cláudio Smalley, Claudinei Paçoca, Aurélio, Aline Coimbra, Rodrigo Criado, Rodrigo Simão, Cássio Antunes, Flávio Arruda, Eliane Carvalho, Miguel Terasi, Juniele, Agnaldo, Daniele Frasca, Mariana Cunha, Jônatas Candido, Rafael Monteiro, Leandro Nieves e Juninho.

A todos meu muito obrigado!

A humanidade não se divide em heróis e tiranos. As suas paixões, boas e más, foram-lhe dadas pela sociedade, não pela natureza.
(Charles Chaplin)

RESUMO

A proposta deste estudo foi a elaboração da carta do potencial de escoamento superficial da bacia hidrográfica do Rio Paciência – MA. Essa bacia hidrográfica apresenta uma área de 150 km² e está inserida nos quatro municípios da Região Metropolitana da Grande São Luís, na Ilha do Maranhão: São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa. Os trabalhos de campo foram realizados em parceria com o Laboratório de Estudos de Bacias Hidrográficas – LEBAC da Universidade Federal do Maranhão. Na elaboração da carta de escoamento superficial foi empregada a *Técnica de Cartografia Geotécnica* conforme Zuquette (1993) e Zuquette e Gandolfi (2004), na qual se buscou avaliar e caracterizar as variáveis do meio físico associadas aos diferentes usos da terra. Nessa técnica as características geotécnicas relacionadas à geologia, tipos de solos (textura, morfologia e permeabilidade), densidade de drenagem, declividade e feições favoráveis ao armazenamento superficial, são agrupadas em classes e atribuídos valores específicos. O produto final foi o resultado do cruzamento dos atributos dos meios físico e antrópico através do uso de aplicativos em ambiente de Sistema de Informações de Geográficas. A partir da análise dos resultados concluiu-se que os problemas identificados são consequência, antes de tudo, da má administração dos gestores públicos evidenciado nas ruas não pavimentadas e ausência de calçamento das marginais das vias de transporte, abrangência e manutenção do sistema de esgoto quando existente, urbanização não planejada, concessão de área para a construção de empreendimentos imobiliários desconsiderando a legislação ambiental e as aptidões físicas do terreno. Os problemas resultantes, como os alagamentos, afetam tanto os moradores da bacia hidrográfica quanto uma parcela da população da Ilha que por ela transita. Não foram encontrados registros de mortes causadas pelos alagamentos e, de modo geral, as consequências incorrem quase sempre em transtornos no fluxo dos transportes, no comércio de porte pequeno e em perdas materiais. Foram estabelecidas cinco classes de potenciais de escoamento: muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo. Em 35% da área da bacia, o alto potencial ao escoamento superficial foi predominante, principalmente no alto curso, onde se encontram os maiores adensamentos urbanos, sendo este o parâmetro de maior peso para o fenômeno observado e não a declividade. Conforme pode ser observado na carta de escoamento superficial e na sua análise, a bacia hidrográfica apresentou um cenário muito favorável ao escoamento superficial, com 58% do seu território variando de potencial muito alto a potencial médio. Tal faixa equivale ao alto e médio curso da bacia que se caracterizam por serem áreas mais urbanizadas. Do lado oposto, o baixo curso e as margens dos interflúvios representam 42% do território bacia variando de potencial baixo a potencial muito baixo. As áreas de potencial muito baixo, correspondendo aos topos de tabuleiros e colinas no baixo curso da bacia hidrográfica, são áreas com solo predominantemente arenoso, vegetadas e pouco urbanizadas. No zoneamento, a preservação dessas áreas é importante não somente para evitar problemas decorrentes do escoamento superficial, mas também para a segurança hídrica da bacia. A hipótese central da pesquisa foi confirmada, porém se faz necessário a realização deste mesmo estudo em outras bacias vizinhas ou até mesmo em toda a Ilha do Maranhão para que se tenham parâmetros, e assim se possa melhor dimensionar os impactos do escoamento superficial. Essas informações podem auxiliar no planejamento ambiental do uso e cobertura da terra da referida bacia hidrográfica, sendo um importante documento para futuros projetos de ordenamento do espaço geográfico.

Palavras-chave: Escoamento superficial, Mapeamento geoambiental, Permeabilidade do solo.

ABSTRACT

The purpose of this study was the development of the potential runoff map from the Paciência River Basin. This basin covers an area of 150 km² and is embedded in the four municipalities of the Metropolitan Region of Greater São Luis at Ilha do Maranhão: São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar and Raposa. The fieldwork was carried out in partnership with the Basin Research Laboratory Hydrographic - LEBAC from Federal University of Maranhão. In preparing the runoff map it was employed the *Geotechnical Mapping Technique* as Zuquette (1993) and Zuquette and Gandolfi (2004), which aimed to evaluate and characterize the variables of the physical environment associated with different land uses. In this technique the geotechnical characteristics related to geology, soils (texture, morphology and permeability), drainage density, slope and features favorable to surface storage, are grouped into classes and specific value are assigned. The final product was the result of physical and man-made resources attributes crossing through the software of use in Geographic Information System environment. From the analysis of the results it was concluded that the identified problems are consequence, first of all, of poor management of public managers evidenced in the unpaved streets and absence of sidewalks in the marginal transportation routes, coverage and maintenance of the sewer system, when present, unplanned urbanization, concession area for the construction of real estate projects without considering the environmental legislation and the physical parameters of the land. The resulting problems such as flooding, affect both the residents of the basin and a portion of the island population during its movement. There were no records of deaths caused by flooding and the consequences generally incur in disturbances in the transport flow, in small trade and material losses. Five runoff potential classes were established: very high, high, medium, low and very low. In a 35% of the basin area, the high potential to runoff was predominant, especially in the upper reaches, where are the largest urban concentrations, which is the main parameter to the observed phenomenon and not the slope. As can be seen in the runoff map and its analysis, the basin had a very favorable runoff scenario, with a 58% of its territory ranging from very high to medium potential. Such range is equivalent of the high and medium-haul basin that are characterized by being more urbanized areas. In the opposite side, the lower course and the interfluvial banks represent a 42% of the basin territory ranging from low to very low potential. The very low potential areas, corresponding to the tops of hills and trays in the lower course of the river basin, are areas with predominant sandy soil, vegetated and poorly urbanized. Zoning, in the preservation of these areas, is important not only to avoid the problems resulting from runoff, but also to the water security of the basin. The central hypothesis of the research was confirmed, but it is necessary the realization of similar study in other neighboring basins or even across the Ilha do Maranhão in order to obtain parameters and thus better scale of the runoff impacts. This information can assist in planning the environmental use and cover of the land from this basin, being an important document for future geographic spatial planning projects.

Keywords: Runoff, Geoenvironmental mapping, Soil permeability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão, com destaque para a Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.....	27
Figura 2: Níveis progressivos das informações relativas aos atributos do meio físico. .	44
Figura 3: Abertura de trincheiras e profundidade do perfil de solo.	54
Figura 4: Distribuição dos pontos de coleta de solos na Bacia do Rio Paciência.	55
Figura 5: Retirada de amostra indeformada do solo com anel volumétrico.....	56
Figura 6: Retirada do anel volumétrico com amostra indeformada.	57
Figura 7: Retirada do excesso contido na amostra.	57
Figura 8: Ponto de coleta de amostra indeformada.	58
Figura 9: Coleta de amostra de sedimentos fluviomarinhos.....	59
Figura 10: Localização dos pontos onde foram realizados os ensaios de infiltração de água no solo.	60
Figura 11: Cilindros sendo cravados no solo a 15 cm de profundidade com auxílio de marreta.	61
Figura 12: Esquema de infiltração com infiltrômetro de duplo anel.	62
Figura 13: Leitura do volume d'água dentro do cilindro menor.	63
Figura 14: Amostras de solo indeformadas sendo resfriadas em dessecadores.	64
Figura 15: Pesagem de amostra seca com balança granatária.	65
Figura 16: Amostras armazenadas em formas de papel, secagem em temperatura ambiente.	66
Figura 17: Destorroamento de solo com auxílio do almofariz e pistilo.	67
Figura 18: Lavagem da solução residual, contendo argila e silte, armazenada em proveta.	68
Figura 19: Placa de Pétri sendo pesada na balança analítica.	69
Figura 20: Pipeta automática.	70
Figura 21: Béquers com pesos iniciais registrados e prontos para serem levados a estufa.	71
Figura 22: Determinação das dimensões do anel volumétrico com paquímetro.....	73

Figura 23: Em destaque, na cor vermelha, as unidades de triplicata que apresentaram diferença superior a 2% em relação as demais unidades de mesma triplicata.	78
Figura 24: Diagrama para classificação do grupamento textural.	79
Figura 25: Diagrama para classificação do subgrupamento textural.....	81
Figura 26: Fluxograma do processamento no Arc Hydro.	85
Figura 27: Representação em perfil da lógica de criação de um TIN.	87
Figura 28: Esquema metodológico de vetorização da carta geológica.....	90
Figura 29: Esquema das 6 unidades taxonômicas propostas por Ross (1992).	91
Figura 30: Imagem classificada por método de máxima verossimilhança.....	95
Figura 31: Procedimento de seleção das unidades morfológicas.	95
Figura 32: Imagens e shape recortados.....	96
Figura 33: Identificação das diferenciações de sombra e rugosidade.	97
Figura 34: Procedimento de reclassificação de imagem.	98
Figura 35: Imagem reclassificada contendo as unidades do 4º táxon do relevo.	99
Figura 36: Formas das curvaturas das vertentes a partir das combinações dos planos vertical e horizontal.	101
Figura 37: Substituição de valores para reclassificação	102
Figura 38: Sobreposição de camadas usadas na determinação espacial das classes texturais.	104
Figura 39: Planilha de dados granulométricos com seus respectivos pontos georreferenciados.....	106
Figura 40: Valores de interpolação atribuídos em destaque na cor azul.	108
Figura 41: Edição da tabela de atributos para inserção dos valores de classes.	119
Figura 42: Camadas sobrepostas usadas no conflito de mapas.	120
Figura 43: Em exposição uma parte do shapefile de conflito resultante, observar a fragmentação da bacia em pequenas áreas.	121
Figura 44: Tabela de atributos do arquivo de conflito resultante, atentar para os erros em valores negativos.	122
Figura 45: Incompatibilidade na sobreposição, em azul a camada de textura de solo sobrepondo a camada de uso e cobertura da terra em cor-de-rosa.	123

Figura 46: Cálculo de valores de classe final (A) e de tipo (B).....	124
Figura 47: Processo de análise e mescla das linhas da tabela de atributos.....	125
Figura 48: Esquema de determinação das 10 classes de escoamento superficial e potencialidades.	127
Figura 49: Modelo da coluna estratigráfica da Baía Costeira de São Luís.....	129
Figura 50: Descrição da coluna estratigráfica da Bacia Costeira de São Luís	129
Figura 51: Frangimento da coluna estratigráfica da formação Itapecuru, destaque para as manchas esbranquiçadas.....	130
Figura 52: Detalhes de estratificação cruzada na Formação Itapecuru.	131
Figura 53:Fácies arenosa da formação Barreiras.....	133
Figura 54: Extração de laterita na Fácies areno-argilosa da Formação Barreiras.	133
Figura 55: Litoral do Golfão Maranhense com rias penetrando as planícies onde antes eram antigos vales.	136
Figura 56: Mapa Geomorfológico da Ilha do Maranhão.....	138
Figura 57: Dimensão das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão.....	139
Figura 58: Climograma – São Luis/MA (1971 – 2012).	141
Figura 59: Mapa das classes de solo da Ilha do Maranhão conforme Maranhão (1998f).	143
Figura 60: Carta de Declividade	147
Figura 61: Carta geológica da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência	150
Figura 62: Fácies arenosa no topo das colinas.	151
Figura 63: Fácies arenoargilosa das encostas.....	151
Figura 64: Unidade de depósito fluviomarinho.....	152
Figura 65: Unidade de depósito de pântanos e mangues.....	153
Figura 66: Unidade de depósito aluvionar.....	154
Figura 67: Carta de classes texturais para 20 cm de profundidade da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.	156
Figura 68: Carta de classes texturais para 40 cm de profundidade da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.	157

Figura 69: Carta de classes texturais para 60 cm de profundidade da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.....	158
Figura 70: Sedimentos arenosos de um perfil da bacia.	159
Figura 71: Carta de susceptibilidade a infiltração da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.....	163
Figura 72: Representação gráfica dos índices morfométricos.....	167
Figura 73: Carta de densidade de canais por secção da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.....	169
Figura 74: Ocorrência de planície arenosa de maré na Bacia do Rio Paciência.	175
Figura 75: Ocorrência de planície de colmatagem na Bacia do Rio Paciência.	176
Figura 76: Ocorrência de planície lamosa na Bacia do Rio Paciência.	177
Figura 77: Ocorrência de planície de maré na Bacia do Rio Paciência.....	178
Figura 78: Em destaque, no perímetro em vermelho, a planície submersível do Rio Paciência.....	180
Figura 79: Ocorrência de planície aluvial na altura da comunidade da Maioba, Paço do Lumiar.	181
Figura 80: Terraço fluvial na margem esquerda na foz do rio Paciência, município de Raposa.	182
Figura 81: Conchas de sarnambi no terraço fluvial.	183
Figura 82: Topo de colina convexa próximas à foz da bacia no município de Raposa.	184
Figura 83: Perspectiva em 3 dimensões da Bacia do Rio Paciência, destaque em vermelho para as unidades geomorfológicas de colinas de topos de tabulares.	185
Figura 84: Carta geomorfológica da bacia do Rio Paciência.	187
Figura 85: Carta de curvatura vertical da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.....	190
Figura 86: Carta de curvatura horizontal da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.	192
Figura 87: Combinações das curvaturas vertical e horizontal para caracterização do relevo.	194
Figura 88: Carta de curvatura da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.....	195
Figura 89: Av. São Luís Rei de França, no bairro do Turu, uma das vias mais importantes de São Luís e dinamizadora direta da por oeste da Bacia do Rio Paciência.	199

Figura 90: Trecho do Rio Turu canalizado e ruas construídas onde antes ficavam as margens.....	200
Figura 91: Residencial Nova Jerusalém, em Paço do Lumiar.	201
Figura 92: Shopping Center Rio Anil, no bairro do Turu, em São Luís.	202
Figura 93: Shopping Center Pátio Norte, no bairro Saramanta, em São José de Ribamar.	203
Figura 94: Superfície densamente construída e impermeabilizada no bairro Cidade Operária.	204
Figura 95: Classes de uso e cobertura da terra e expansão urbana na Bacia do Rio Paciência no ano de 1984.	206
Figura 96: Classes de uso e cobertura da terra e expansão urbana na Bacia do Rio Paciência no ano de 1995.	207
Figura 97: Classes de uso e cobertura da terra e expansão urbana na Bacia do Rio Paciência no ano de 2004.	208
Figura 98: Classes de uso e cobertura da terra e expansão urbana na Bacia do Rio Paciência no ano de 2014.	209
Figura 99: Tributário do Paciência, no alto curso, visivelmente poluído e com marcante presença da ação antrópica na geomorfologia.	211
Figura 100: Assoreamento no trecho inicial do Rio Paciência próximo a UEMA.....	211
Figura 101: Carta do zoneamento do escoamento superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.	214
Figura 102: Escoamento superficial em área urbana, a rua/sarjeta assumindo o papel de canal de drenagem após evento chuvoso.	217
Figura 103: Sites noticiando episódios de alagamentos, dois episódios dentre muitos que ocorrem por ano.....	218
Figura 104: Veículo parcialmente submerso em avenida do bairro Cohatrac.....	218
Figura 105: Rua atrás da maternidade Marly Sarney, bairro Cohab.	219
Figura 106: Rua “N” no bairro Jardim Turu I, exemplo de ruas sem pavimentação acometidas de erosão e sem infraestrutura de drenagem.....	220
Figura 107: Escoamento superficial e depósito de sedimentos em via do bairro Miritiua.	220

Figura 108: Formação Açuí, (A) depósito de pântanos e mangues, (B) depósito
fluviomarinho. 221

Figura 109: Águas do Paciência cobrindo a MA – 2001, trecho entre os bairros
Forquilha, em São Luís, e Saramanta, em São José de Ribamar..... 223

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Percentagem do domínio das classes de declividade na Bacia do Paciência.	146
Gráfico 2: Tempo de estabilização da infiltração para o topo das colinas.	162
Gráfico 3: Tempo de estabilização da infiltração para a encosta das colinas.....	164
Gráfico 4: Tempo de estabilização da infiltração para a base das colinas.	164
Gráfico 5: Média da lâmina d'água infiltrada.	165
Gráfico 6: Percentagem da distribuição espacial das potencialidades	224

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Hierarquia de documentos produzidos a partir do mapeamento geotécnico..	41
Quadro 2: Hierarquia e documentos cartográficos correspondentes – meio físico.	45
Quadro 3: Hierarquia e documentos cartográficos correspondentes – meio biológico e antrópico (socioeconômico).	46
Quadro 4: Temperatura e tempo para pipetagem	69
Quadro 5: Determinação de pontuação dos atributos e das classes de escoamento superficial.	215

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de estimação do comprimento da capilaridade macroscópica do solo para as categorias de textura e estrutura (λ_c), conforme Elrick and Reynolds (1992)..	75
Tabela 2: Critério de classificação de infiltração básica, conforme Reichardt (1990)...	75
Tabela 3: Valores de classes do relevo conforme EMBRAPA (2013).....	89
Tabela 4: Classes de potencial direcional do fluxo do escoamento superficial.....	101
Tabela 5: Imagens de satélites utilizadas neste trabalho.	109
Tabela 6: Síntese da atribuição de pontos para uso e cobertura da terra.	113
Tabela 7: Síntese da atribuição de pontos para textura do solo.....	114
Tabela 8: Síntese da atribuição de pontos para Geologia.	115
Tabela 9: Síntese da atribuição de pontos para permeabilidade.	116
Tabela 10: Síntese da atribuição de pontos para curvatura das vertentes.....	116
Tabela 11: Síntese da atribuição de pontos para declividade.	117
Tabela 12: Síntese da atribuição de pontos para densidade de drenagem.	117
Tabela 13: Potencialidades do escoamento superficial.	216

Sumário

1 INTRODUÇÃO	25
2 OBJETIVOS	28
2.1 Geral	28
2.2 Específicos.....	28
3 REFERENCIAIS CONCEITUAIS.....	29
3.1 O homem na paisagem	29
3.2 Bacia hidrográfica.....	31
3.3 O escoamento superficial.....	33
3.4 O mapeamento geotécnico e suas particularidades	35
3.5 Cartografia digital.....	48
4 METODOLOGIA.....	51
4.1 Método.....	51
4.2 Procedimentos metodológicos e organização do trabalho.....	52
4.2.1 <i>Levantamento bibliográfico</i>	52
4.2.2 <i>Pesquisa de campo</i>	53
4.2.2.1 <i>Reconhecimento de campo e coleta de amostras</i>	53
4.2.2.1.1 <i>Reconhecimento do ambiente</i>	53
4.2.2.1.2 <i>Distribuição dos pontos de coletas e perfis</i>	53
4.2.2.1.3 <i>As coletas de amostras deformadas e indeformadas de solo</i>	56
4.2.2.2 <i>Ensaio de Infiltração</i>	59
4.2.2.3 <i>Reconhecimento das cartas temáticas em campo</i>	63
4.2.3 <i>Análises laboratoriais</i>	63
4.2.3.1 <i>Densidade do solo</i>	64
4.2.3.2 <i>Análise do espectro do tamanho das partículas (Pipetagem)</i>	65
4.2.4 <i>Tratamento dos dados</i>	71

4.2.4.1 Dados de densidade do solo.....	72
4.2.4.2 Dados de infiltração de água no solo	73
4.2.4.3 Dados de granulometria	76
4.2.5.2 Rede de Drenagem	85
4.2.5.3 TIN (Triangulated Irregular Network).....	87
4.2.5.4 Declividade	88
4.2.5.5 Carta geológica.....	89
4.2.5.6 Carta geomorfológica	91
4.2.5.7 Carta de Curvatura das Vertentes (5º Táxon)	99
4.2.5.8 Carta de classes texturais	103
4.2.5.9 Susceptibilidade à infiltração	107
4.2.5.10 Uso e cobertura da terra.....	109
4.2.5.11 Elaboração da carta do potencial de escoamento superficial.....	110
5 MEIO FÍSICO DA ILHA DO MARANHÃO	128
5.1 Geologia	128
5.2 Geomorfologia.....	135
5.3 Hidrografia	138
5.4 Clima	140
5.5 Solos	142
6 LEVANTAMENTO DOS ATRIBUTOS DE ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	145
6.1 Descrição dos atributos de Declividade.....	145
6.2 A carta geológica e seus atributos	148
6.3 Descrição do espectro de tamanho de partículas do solo	154
6.3.1 Textura e Profundidade.....	155
6.3.2 Permeabilidade.....	161
6.4 Aspectos hidrográficos	166

6.4.1 Morfometria	166
6.4.2 Densidade de Drenagem	168
6.5 Caracterização do Relevo	170
6.5.1 Mapeamento Geomorfológico.....	170
6.5.2 Curvatura das vertentes e sua influência no escoamento superficial – 5º Táxon.....	188
6.6 Uso e cobertura da terra.....	196
6.6.1 O fenômeno dos conjuntos habitacionais	197
6.6.2 Classes de uso e cobertura da terra.....	205
7 CARTA DO ZONEAMENTO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	213
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	225
REFERÊNCIAS	229
APÊNDICE	239

1 INTRODUÇÃO

Conhecer melhor o território sempre foi, ao longo da história da Geografia, uma estratégia para o desenvolvimento e afirmação de uma nação. Conhecer as aptidões e potencialidades do meio físico auxiliam no planejamento ambiental e no traçado de planos para a apropriação, exploração e uso do terreno, otimizando assim suas potencialidades.

Na sociedade moderna, principalmente nos meios urbanos, a ocupação do solo, sem um planejamento que considere as características naturais e vocacionais do terreno, incorre quase sempre em quadros complexos de desequilíbrios ambientais onde o homem é tanto o agente impactador quanto o sujeito que sofre as consequências do impacto.

O modo de produção e sistema econômico capitalista tem imprimido na sociedade o estilo de produção do espaço voraz, onde os interesses econômicos se sobrepõem aos interesses e capacidades socioambientais. Nesse sistema os espaços são desenvolvidos de forma desigual e a parcela menos abastada, apesar de ser a maior em representatividade, torna-se a mais vulnerável às consequências direta e indireta, tais como deslizamento de massa, desabastecimento hídrico e alagamentos.

Os estudos ambientais aplicados têm se desenvolvido e ganhado espaço, principalmente a partir da II Revolução Industrial, como uma tentativa de resposta a tais desequilíbrios. Por tanto, a busca por entender, remediar e prevenir problemas ambientais se dá, unicamente, pela existência do problema em si e sua eminente ameaça.

O mapeamento geotécnico tem sua história ligada a essa necessidade de compreensão do problema ambiental, pautando-se no estudo do comportamento dos elementos do meio físico de forma correlacionada para oferecer subsídios a um planejamento e ação mais efetiva.

Porém, na pluralidade marcante da paisagem não se pode realizar uma análise sistêmica somente a partir do estudo do meio físico, por isso a inserção de elementos biológicos e antrópicos têm agregado mais qualidade a este tipo de estudo dando destaque à vertente dos zoneamentos geoambientais.

O escoamento superficial é um processo natural oriundo da relação relevo, solo, vegetação e pluviosidade, sendo um processo natural e alheio à vontade humana sua

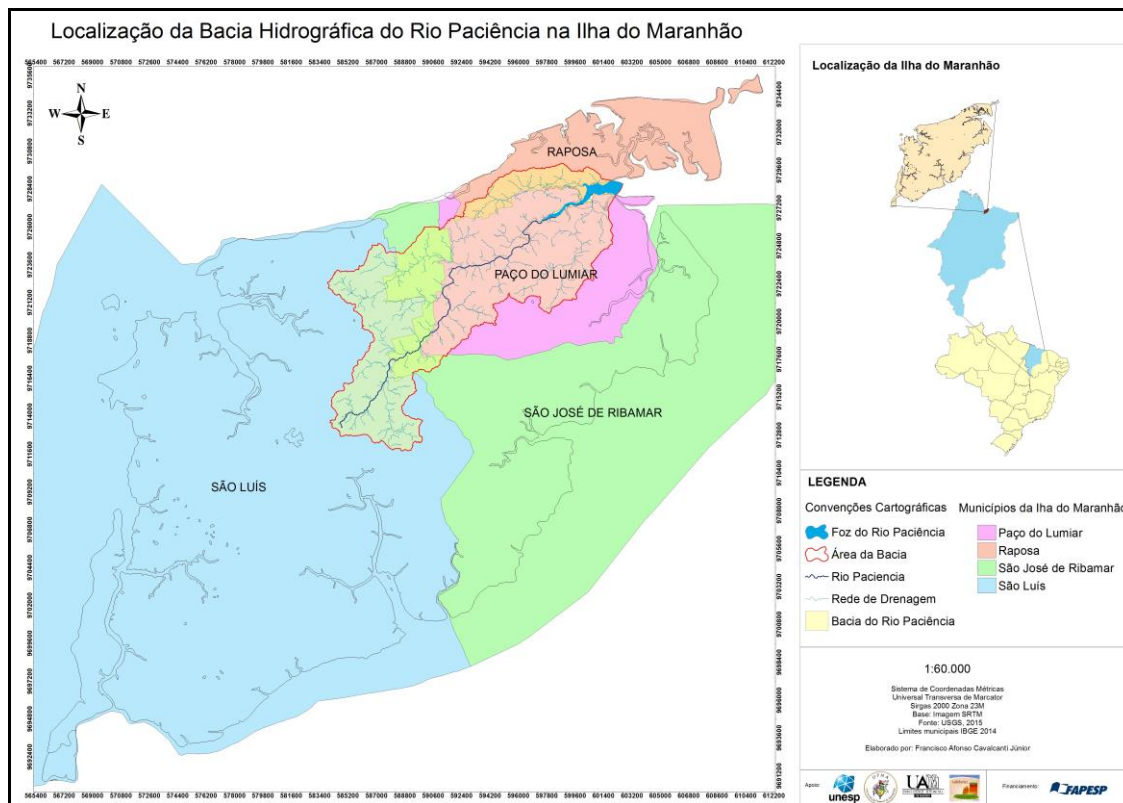
dinâmica segue um fluxo que pode ser potencializado ou amenizado pela ação humana, mas não extinto. A urbanização acelerada que a humanidade vem vivenciando desde o século XX tem também sua parcela nos crescentes casos de perdas materiais e de vida nos grandes centros urbanos decorrentes de uma combinação dinâmica de fatores que envolvem o escoamento superficial. Uma das formas de investigar essa problemática no espaço urbano é a partir do recorte da bacia hidrográfica como uma unidade de análise socioambiental.

Nesse contexto o conhecimento das condições de escoamento superficial por meio das características geotécnicas do terreno é de fundamental importância para o planejamento e gestão de bacias hidrográficas visando o desenvolvimento social, econômico e ambiental.

A proposta desse estudo trata-se do levantamento dos atributos necessários para classificação do potencial de escoamento superficial bem como sua representação através da elaboração da Carta do potencial de escoamento superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.

A Bacia Hidrográfica do Rio Paciência situa-se entre as coordenadas geográficas S 2°35'03''/2°27'52'' e O 44°13'32''/44°03'83'', abrangendo os quatro municípios da Região Metropolitana da Grande São Luís na Ilha do Maranhão; são eles: São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa (Figura 1); Maranhão/Brasil.

Figura 1: Mapa das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão, com destaque para a Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.



Sua área total é de 150 km² e seu sistema de drenagem, de acordo com a classificação de Strahler (1960), de 5º ordem. O Rio Paciência tem 28 km de extensão, sendo a maior bacia hidrográfica da Ilha do Maranhão. O acesso pode ser feito pelas vias terrestres MA-201, MA-202, MA-204, Avenida dos São Luís Rei de França, Avenida dos Holandeses e via marítima através de pequenos portos ao longo da desembocadura do rio principal.

Nas décadas de 70 e 80, através da implantação da política habitacional de grandes conjuntos populacionais, tais como COHAB, COHATRAC e Maiobão, ocorreu um incremento significativo de processos de urbanização, e com eles as ocupações espontâneas que hoje representam os maiores adensamentos populacionais da ilha. As consequências dessas ocupações foram: impermeabilização e compactação do solo em alguns pontos, desmatamentos, aterramento de nascentes com supressão de vários canais de drenagem e contaminação das águas por dejetos domésticos *in natura* e industriais.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Elaborar a carta de potencial de escoamento superficial avaliando os impactos ambientais do uso e formas de ocupação da terra na dinâmica da água na Bacia Hidrográfica do Rio Paciência - MA.

2.2 Específicos

- ✓ Caracterizar o meio físico da área em questão;
- ✓ Caracterizar o histórico de ocupação da terra da bacia hidrográfica;
- ✓ Elaborar cartas temáticas de drenagem, de declividade, de Geomorfologia e de uso e cobertura na escala de detalhe;
- ✓ Elaborar a carta de Susceptibilidade a infiltração na escala de detalhe, que permitirá zonear as áreas potenciais de infiltração;
- ✓ Integrar as informações cartográficas dos aspectos geotécnicos e sociais em uma linguagem acessível, a fim de elaborar a carta de potencial de escoamento superficial, objetivando difundir nos órgãos públicos como subsídio para orientar políticas públicas direcionadas a gestão ambiental da bacia.

Os objetivos supracitados buscam atender à hipótese de que na bacia hidrográfica estudada há uma forte tendência ao escoamento superficial, principalmente no alto curso, decorrentes de um conjunto de fatores como: crescimento urbano, estrutura geológica, solos, cobertura vegetal e relevo.

3 REFERENCIAIS CONCEITUAIS

3.1 O homem na paisagem

A concepção acerca do que é paisagem sempre nos levou a pensar em um recorte do espaço geográfico a partir da mirada de um observador, todavia, a interpretação deste processo torna-se complexa por estar imbuída de subjetividade.

Por vezes somos levados a pensar a paisagem como uma relação exclusivamente de “o natural x o social”, ou seja, a natureza sem uma intervenção humana (representada pelas alterações) *versus* o ambiente social que representa o antropismo, e neste ponto corremos o sério risco de limitar e excluir a interrelação destes aspectos nos estudos geográficos, como, por exemplo, o ambiente rural que possui as características de uma natureza que sofre constantemente a ação humana, mas que também constitui uma paisagem.

Para Bertrand (2004) a simples adição, sem sentido, de componentes geográficos não caracteriza a paisagem, a qual resulta da combinação dinâmica, logo instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que dialeticamente atuam uns sobre os outros em uma dada porção do espaço. Essa dinâmica faz da paisagem um conjunto único e indissociável que permanece em constante evolução.

Sendo os elementos geoecológicos instáveis e transtemporais eles atuam de forma cíclica modelando e remodelando a paisagem. Nesse sentido ela pode ser concebida como [...] uma herança dos processos fisiográficos, biológicos e do patrimônio coletivo dos povos que historicamente a herdaram como um território de atuação das comunidades (Ab’Saber, 2007, p. 9).

A paisagem é dialética, dessa forma destaca-se que não se trata apenas da paisagem natural, mas da paisagem totalizada, logo, integrada às influências da ação antrópica (Bertrand, 2004). Torna-se, portanto, inegável a presença do homem como agente transformador da paisagem quando, por exemplo, é possível perceber, a partir de uma mirada externa da Terra, as manchas urbanas das megalópoles a olho nu ou as áreas de florestas devastadas ou os desastres ambientais de consequência antrópica. Dessa forma o homem mostra o seu potencial como agente capaz de, igual à natureza, deixar a sua marca esculpida na superfície terrestre.

As formas esculpidas nas paisagens são resultado do acúmulo de bilhões de anos de atuação da natureza sobre a crosta terrestre na escala de tempo geológico, apenas recentemente, na escala do tempo histórico, o homem surgiu nesse espaço, com presença cada vez mais marcante na medida em que se desenvolve cientificamente e tecnologicamente. Dessa forma, desde quando o homem surgiu na Terra ele modifica o ambiente de igual modo que o ambiente também influenciou no desenvolvimento cognitivo e físico, portanto, há uma influência mútua do homem e do meio ambiente (TRICART, 1977).

O meio ambiente integra a paisagem, a qual Santos (2006) concebe como sendo uma expressão materializada do espaço num dado momento, desta forma expressando o acúmulo das interações locais entre o homem e a natureza. Por sua vez Suertegaray (2000) complementa o autor (op.cit.) ao conceber a paisagem como um conceito operacional que permite a análise do espaço geográfico a partir de determinada ótica, que seja da dimensão dos elementos naturais e tecnificados, socioeconômicos e culturais.

Não por acaso nos ambientes urbanos são onde se encontram as maiores diversidades de alteração da paisagem pelo homem, pois aí vivem os que mais se utilizam da tecnificação para melhor usufruir do sistema econômico, na figura do modo de produção capitalista, onde a natureza passa a possuir um valor de mercado e se transforma no tino da vontade/interesse do homem.

No ambiente rural a economia do agronegócio tem impulsionado a mecanização do campo e alterado as paisagens com as atividades extensionistas de diversas culturas, mas no urbano encontramos a face mais agressiva da economia sobre a paisagem. Na busca de oferecer serviços e estruturas diversificadas para aqueles que podem pagar, o relevo sofre um processo de “dissecação” por meio de máquinas e em questão de minutos córregos são canalizados e sobre eles são dadas funções econômicas e sociais diferentes da função natural. O verde é tomado pelo cinza do concreto e o sistema geológico muda, mas aqueles que não conseguem usufruir da cidade privada também transformam a paisagem sendo induzidos pelo sistema socioeconômico a ocupar os morros, margens dos rios, manguezais e outras áreas de risco que por vezes são desprovidas do mínimo de infraestrutura.

Nesse limiar Suertegaray (2000) e Troll (1950) convergem para a ideia da paisagem como um conceito de análise geográfica concebida através da forma e da

funcionalidade. A forma é a configuração dos sistemas naturais que constituem a morfologia e a funcionalidade corresponde à interação de geofatores incluindo a economia e a cultura humana, desta forma entendendo a paisagem como um processo de constituição e reconstituição da forma ligada a dinâmica social.

De certo que, a ação do homem como agente morfodinâmico, desde o início, foi na tentativa de sobreviver em condições extremas da natureza, mas a paisagem como herança é um bem que deve ser conservado para exploração sustentável de suas potencialidades, onde todos os cidadãos têm a sua parcela de responsabilidade (Ab'Saber, 2007).

Para o reconhecimento do nível de desenvolvimento de um país Ab'Saber (2007) fez uma previsão, que cada dia ganha mais força, ao afirmar que esse desenvolvimento estará pautado na capacidade do seu povo em termos de recursos, no nível de exigência e no respeito ao zoneamento de atividades, bem como na busca de alternativas para a valorização e renovação dos recursos naturais.

Evidentemente, para os que não têm conhecimento do significado das heranças paisagísticas e ecológicas, os esforços dos cientistas que pretendem responsabilizar todos e cada um pela boa conservação e pelo uso racional da paisagem e dos recursos da natureza somente podem ser tomados como motivo de irritação, quando não de ameaça, a curto prazo, à economicidade das forças de produção econômica. (AB'SABER, 2007, p. 10)

A paisagem é o conceito que mais se adequa para a realização da análise geografia do estudo do zoneamento do escoamento superficial na bacia visto que nele estão expressas as grandes categorias sociedade e natureza. Foi a partir deste entendimento que buscamos nortear o levantamento dirigido do quadro ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência objetivando fornecer subsídios para o planejamento ambiental.

3.2 Bacia hidrográfica

As bacias hidrográficas cumprem um papel fundamental na manutenção não apenas dos recursos hídricos, mas também de toda uma fauna, flora e bem estar das sociedades que nelas vivem.

A bacia hidrográfica ou bacia de drenagem, conforme Christofolletti (1980) é definida como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial. Guerra e Guerra (1997) consideram como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, verificando-se nas depressões longitudinais o lençol de escoamento superficial. Para os autores supracitados a noção de bacia hidrográfica compreende a existência de cabeceiras ou nascentes, divisores de água principais, afluentes, subafluentes.

Outras definições incluem em seu conceito o dinamismo dos agentes terrestres e atmosféricos que dão o entendimento da bacia hidrográfica como um sistema.

[...], é possível definir bacia hidrográfica como um sistema que compreende um volume de materiais, predominantemente sólidos e líquidos, próximo à superfície terrestre, delimitado interna e externamente por todos os processos que, a partir do fornecimento de água pela atmosfera, interferem no fluxo de matéria e de energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais. Inclui, portanto, todos os espaços de circulação, armazenamento, e de saídas da água e do material por ela transportado, que mantém relações com esses canais. (RODRIGUES e ADAMI. *In*: VENTURI org., 2009, p. 147)

A bacia hidrográfica constitui-se em um sistema dotado de complexidades e particularidades fundamentais para um bom planejamento e gestão do ambiente, por tanto o conhecimento técnico da área é imprescindível para um gerenciamento que venha atender as reais necessidades da sociedade.

A Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 institui os fundamentos para a Política Nacional de Recursos Hídricos, o PNRH, portanto em seu Artigo 1º designa que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Logo podemos pensar nesta como uma unidade que representa não somente os processos hidrológicos e morfológicos, mas também como uma unidade administrativa de planejamento e gestão.

Portanto o planejamento ambiental das bacias hidrográficas deve considerar o planejamento territorial de forma integrada, ou seja, pensar o planejamento dos recursos hídricos com um planejamento do uso da terra buscando um equilíbrio sustentável para a sociedade e para a natureza.

Sendo assim, Santos (2004) aponta o planejamento como sendo a sistematização de um estágio presente visando um determinado fim para uma situação futura, e que no caso de bacias hidrográficas envolve uma gama de complexidades que muitas vezes não dialogam, principalmente aspectos políticos-administrativos, mas que ainda é uma ferramenta fundamental para uma gestão eficaz.

3.3 O escoamento superficial

O escoamento superficial ou *runoff* corresponde a uma fase do ciclo hidrológico relacionada ao deslocamento de água sobre a superfície terrestre, como consequência da fase de infiltração e das características naturais do meio físico e antrópicas.

Sua origem está fundamentada nas precipitações. Parte da água das chuvas é interceptada pela vegetação e outros obstáculos. Após tocar na superfície parte evapora, outra parte é retida em depressões do terreno e o restante se infiltra, ocorrendo assim o escoamento pela superfície tão logo o solo esteja saturado de umidade e a intensidade da precipitação supere a capacidade de infiltração. Segundo De Ploey (1983) *Apud* Guerra et al. (2010, p. 27), é muito difícil fazer uma distinção nítida entre o tempo que leva para as poças se formarem e o início do *runoff*. Para o referido autor, quando as poças estão formadas, o *runoff* já está iniciando. Mas na prática, as poças são formadas antes da geração do *runoff*. Apesar de serem quase que concomitantes, existe um pequeno intervalo de tempo entre um processo e outro.

As condições do solo e vegetação podem dinamizar os processos erosivos, dentro da bacia, decorrentes do referido fenômeno ou mesmo indicar onde há alto e baixo potencial de escoamento tanto superficial quanto subsuperficial. No início, o fluxo de água é difuso, caracterizado por escoamento em lençol ou *sheetflow*, conforme Guerra et al (2010) a força do cisalhamento exercida por esse fluxo não é o suficiente para o transporte de partículas, porém a medida em que o aporte de água aumenta ocorrerá o cisalhamento e consequentemente o processo erosivo nas unidades da paisagem natural topo até a base.

Tomando como base que o escoamento superficial é resultado, principalmente, do limite da capacidade de infiltração, Pruski et al (2008) salientam que todos os fatores que influenciam na taxa de infiltração da água no solo interferem também no

escoamento superficial. Os fatores podem ser climáticos, geomorfológicos, geológicos e pedológicos do terreno, além também, do tipo de apropriação e uso do solo.

Quanto ao fator climático, em especial a precipitação, existem subfatores que devem ser considerados na análise e contribuição da duração deste evento. [...] os fatores que influenciam o valor da duração da precipitação em que toda a área da bacia considerada passa a contribuir com escoamento na seção de deságue são: área da bacia, comprimento e declividade do canal mais longo (principal), forma da bacia, declividade média do terreno, declividade e comprimento dos afluentes, rugosidade do canal, tipo de cobertura vegetal e características da precipitação. (PRUSKI et al, 2008, p. 22)

Durante a precipitação o tempo e a intensidade do evento muito podem dizer sobre os parâmetros do escoamento da água pela superfície, contudo a duração pode não ser constante em uma dada área, variando conforme outros fatores do ambiente.

A relação solo e relevo exercem forte influência na dinâmica da água na paisagem natural. Segundo Guerra e Cunha (2009) as correlações entre configuração do terreno e classes de solos e/ou características de solos são válidas para condições fisiográficas específicas. O relevo local exerce forte influencia nas condições hídricas e térmicas do solo, refletindo-se principalmente na vegetação autóctone e em características e propriedades do solo. A condutividade hidráulica do solo está relacionada diretamente com a estrutura deste, por tanto, a capacidade de retenção líquida do terreno será analisada a partir das estruturas pedológicas do solo.

Considerando-se que as propriedades hidráulicas do solo são caracterizadas, principalmente pelos processos de retenção e movimento da água, elas podem ser utilizadas como parâmetros para a avaliação funcional do efeito das modificações impostas à estrutura do solo. (CANALLI; ROLOFF, 1997. *Apud* MORAES et al., 2002, p.103.)

O estudo aprofundado da interação água e solo nos permitem compreender que as modificações na estrutura pedológica e o mau uso e cobertura da terra, podem refletir na diminuição da infiltração da água no solo, que por natureza já é um processo lento, e consequentemente no alto ou baixo potencial de escoamento superficial.

3.4 O mapeamento geotécnico e suas particularidades

3.4.1 Cartografia geotécnica: breve histórico e conceito

O estudo do mapeamento geotécnico está apoiado na necessidade crescente da humanidade em conhecer melhor os potenciais e limitações do seu território e assim buscar as melhores formas de apropriar-se dele, principalmente no meio urbano. Por isso os estudos nessa temática têm ganhado maior visibilidade e grandes avanços.

Na obra intitulada Cartografia Geotécnica os autores, Zuquette e Gondolfi (2004), discorrem sobre o primeiro estudo, de que se tem notícia, voltado para a temática em questão. Tratou-se dos documentos apresentados por Langen em 1913 na feira de construções de Leipzig, na Alemanha. Tais documentos foram muito úteis para orientar as construções nas cidades de Erfurt e Danzing.

Ao que parece esses documentos não foram batizados com nenhum nome de estudo dirigido frente à contribuição inédita, logo a partir deles novos documentos foram desenvolvidos e acrescidos de novas informações, análises e detalhes de acordo com a escala proposta recebendo assim diversas denominações, tais como: *Engineering Geological Map* (no Reino Unido), *Carte Geotechnique* (na França), *Carta Geológica* (na Itália), *Iuzenyrsko Geologika Mapa* (na antiga Tchecoslováquia), *Ingenieurgeologische Karte* (na Alemanha), *Environmental Geological Map* e *Soil and Subsoil Map* (nos Estados Unidos, Canadá e África o Sul).

Zuquette e Gondolfi (2004) destacam que apesar das várias nomenclaturas esses estudos tinham em comum um conjunto de ações que incluíam a obtenção, avaliação, análise e classificação das informações do meio físico.

Após a II Guerra Mundial, com o objetivo de reconstruir as cidades que foram destruídas, as primeiras cartas geotécnicas surgiram para subsidiar o planejamento territorial e urbano, desta forma com a implementação de metodologias adequadas e sistematizadas.

Dentre os países que mais se destacaram na contribuição aos estudos de mapeamento geotécnico pode-se citar a antiga Tchecoslováquia com os trabalhos de Pasek, Rybar, Zebera, Matula e Zaruba. A escola tchecoslovaca tinha como principal característica a representação dos materiais geológicos em termos de profundidade e não da espessura das camadas. Outros países, concentrados no leste europeu, também se

destacaram neste tipo de estudo, é o caso da Polônia, Hungria, Bulgária, União Soviética e Alemanha Oriental.

A IAEG (*International Association of Engineering Geology*) propôs, em 1968, a criação da Engineering Geological Mapping Comissão com fins de regularizar a elaboração de mapeamentos geotécnicos e seus produtos pautando-os em estudos técnicos, também difundindo conhecimentos e tendências que influenciaram a elaboração de diversos documentos especializados, com destaque para o guia preparatório de cartas geotécnicas para a UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) e a produção de cartas para diversos países (FRANCO et al., 2010).

A definição de mapeamento geotécnico foi se aperfeiçoando na medida em que este tipo de estudo começou a ser difundido. Varnes (1971) concebeu o mapeamento geotécnico como a sistematização de operações físicas de adição, seleção, generalização e transformação das informações espaciais referentes à litologia, estrutura de solos e rochas, geomorfologia, hidrogeologia e processos geológicos. Para o IAEG (1976) e Matula (1976) ele é um tipo de mapa geológico que tem como finalidade classificar e representar os elementos do ambiente geológico servindo às atividades relacionadas à engenharia e demais áreas.

Partindo de uma análise dos conceitos e metodologias pioneiras, Zuquette e Gondolfi (2004) compreendem o mapeamento geotécnico como o conjunto de processos que visa analisar e avaliar os elementos componentes do meio físico, bem como eles se comportam sujeitos às várias possibilidades de ocupação, dessa forma objetivando propor diretrizes para o planejamento, ocupação, manejo e conservação de determinada porção do espaço, consequentemente auxiliando na mitigação de problemas recorrentes e problemas futuros. Em outras palavras, constitui-se em um conjunto de ações para a elaboração de mapas e cartas dotadas de capacidades referentes à Geotecnia para finalidades oriundas do conhecimento geotécnico.

Nesse sentido tanto o mapeamento quanto a cartografia geotécnica se configuram um dos instrumentos mais importantes no planejamento e gestão do território em virtude da grande quantidade de elementos estudados e da riqueza de detalhes e informações contidas nos levantamentos e análises.

Se faz necessário distinguir os termos mapeamento geotécnico e cartografia geotécnica, pelo simples fato de serem coisas diferentes a pesar de muitas vezes serem

citados como sinônimos. Duas correntes de trabalho exerceram uma grande influência neste tipo de estudo no Brasil, trata-se da *Cartographie Geotechnique* (de origem francesa) e do *Engineeiring Geological Mapping* (de origem inglesa). Segundo Wolski et al. (1998) e Zuquette e Gondolfi (2004) o mapeamento geotécnico consiste em um processo, no qual envolve os procedimentos necessários para o levantamento e estudo dos atributos para a elaboração da carta geotécnica, por sua vez a cartografia geotécnica é o produto e não a ação de obtenção de informações e dados geotécnicos, ou seja, a cartografia geotécnica é uma etapa do processo de mapeamento.

3.4.2 O estudo da cartografia geotécnica no Brasil

No Brasil os estudos de mapeamento geotécnico com mais tradição têm se concentrado em algumas instituições como: a Escola de Engenharia de São Carlos da USP (EESC-USP), O Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, o Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IG-UFRJ), Instituto Geológico de São Paulo e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Os trabalhos de mapeamento/cartografia geotécnica executados no Brasil têm como marco inicial o trabalho de Haberlehner, realizado na cidade de Rio de Janeiro, entre os anos de 1965 e 1966 (ZAINÉ, 2000, p. 27), tem-se ainda registro de alguns outros trabalhos posteriores, mas somente a partir de 1988 há uma expressividade de estudos nessa temática.

A maior parte dos trabalhos elaborados a partir de 1988 são de documentos cartográficos dotados de informações sintéticas e de cunho qualitativo, geralmente focando nos estudos dos aspectos pedológicos e geomorfológicos. Algumas metodologias de estudo foram organizadas pelos institutos já citados, a saber:

- ✓ **IG-UFRJ:** A metodologia adotada pelo Instituto de Geociências/UFRJ aborda trabalhos na escala de 1:50.000 a 1:10.000 e está voltada para o estudo dos movimentos de massa gravitacionais e processos de uso e ocupação do solo, sendo no Brasil o grupo que reúne o maior número de trabalhos em escala superiores a 1:10:000 tendo como principais bases Barroso et al. (1986) e Barroso et al. (1993). Além de pioneiro tem como ponto positivo a prevenção do

comportamento geotécnico considerando o perfil de alteração (ZUQUETTE e GONDOLFI, 2004).

- ✓ **UFRGS:** Os estudos desenvolvidos pela UFRGS (DIAS, 1995) destacam, primordialmente, a associação do substrato geológico aos tipos de solos, desta forma estabelecendo uma correlação das características geotécnicas e pedológicas (ZAINÉ, 2000).
- ✓ **IG-SP:** O Instituto Geológico de São Paulo – IG, através do seu grupo de pesquisadores, tem realizado levantamentos geológico-geotécnicos, os quais estão registrados nas publicações de YOSHINAGA et al. (1995) e PIRES & YOSHINAGA (1995). Seus trabalhos estão fundamentados nos conceitos de tipos de terrenos e na produção de uma gama de produtos cartográficos, com apontamentos de diversos tipos de uso, avaliação de aquíferos e limitações do terreno (ZAINÉ, 2000).
- ✓ **IPT:** O Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT/SP, visando solucionar rapidamente situações específicas relacionadas ao meio físico, desenvolveu trabalhos que fornecessem resposta rápida e que considerassem prazos e custos. Estes trabalhos estão baseados em Prandini et al. (1995) quanto ao conceito e metodologia.

Franco et al.(2010) descreve os procedimentos metodológicos adotados pelo IPT baseados em Prandini et al. (1995), obedecendo a seguinte ordem:

- 1. Formulação de uma hipótese/modelo inicial orientador:** identificação objetiva dos recursos e problemas existentes ou esperados, pelo conhecimento da dinâmica da ocupação local; envolve o conhecimento das solicitações e transformações inerentes às formas de uso do solo, e dos elementos fundamentais dos processos e comportamentos da geologia, geomorfologia e da geotecnia local, o que proporciona um esboço fisiográfico primário dos terrenos, do ponto de vista de seu uso, resultando em um primeiro ensaio de compartimentação ante os problemas e recursos esperados;
- 2. Análise fenomenológica e de desempenho:** análise e identificação das causas e do desenvolvimento dos fenômenos ou situações geradoras dos problemas

previamente detectados, estabelecendo as características fisiográficas de interesse para a ocupação;

3. **Mapeamento e compartimentação:** estabelecimento das principais evidências acessíveis à investigação das características de interesse, fixando critérios de correlação, extrapolação e interpolação das diversas áreas de conhecimento, resultando na configuração espacial da distribuição de tais características. Orientação das informações e expressões geográficas das características de interesse, através de operações de coleta e análise das informações; reconhecimento/mapeamento, por sensoriamento remoto, levantamentos de campo, investigações laboratoriais e in situ; compartimentação homogênea, segundo a maior probabilidade de ocorrência de problemas, ou as características de interesse, ou as unidades homogêneas, quanto à aptidão à determinada forma de uso e ocupação, bem como a minimização de possíveis efeitos;
4. **Representação:** apresentação dos resultados de modo a facilitar o acesso ao público interessado.

O IPT tem como cernes para o desenvolvimento dos seus trabalhos os seguintes pontos:

- Tendo nos problemas relevantes do meio físico o ponto de partida para as suas condicionantes mapeáveis;
- Ter como fator fundamental para a determinação do desempenho dos terrenos a consideração das formas usuais de ocupação do solo e suas implicações sobre o meio físico;
- Obter distintas práticas e técnicas de prevenção e de correção de problemas focando na obtenção objetiva e orientada de dados, direcionadas pela definição de unidades do terreno de mesmo comportamento;
- Superar o determinismo ligado aos conceitos de “aptidão” de grande parte das cartas geotécnicas publicadas, fundamentando-se em técnicas confiáveis para o estudo do uso do solo;

- Elaborar cartas geotécnicas criativas que possibilitem em sua estrutura agregar novos conhecimentos do meio físico e novas técnicas de ocupação do solo.

Neste levantamento há uma 5ª metodologia adotada no Brasil e trata-se da que norteia esta pesquisa, a desenvolvida pela **Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP)** também conhecida como método de Zuquette.

Conforme Zuquette (1993) esta metodologia obedece 3 etapas principais:

- ✓ 1ª Etapa: Estabelecer um grupo de condições a serem analisadas previamente, tais como os objetivos, a escala a ser trabalhada, quais atributos a serem levantados e como tratá-los, forma de análise, produtos gerados. Todos os atributos levantados devem ser factuais, relevantes, válidos e muito bem analisados e representados;
- ✓ 2ª Etapa: Consiste em formular hipóteses através de um raciocínio de correlação, desta forma gerando uma classificação do meio estudado. A investigação deve ser feita a partir da compartimentação da área de estudos em unidades considerando as particularidades dos atributos que mais se correlacionam, desta forma gerando zonas homogêneas para o meio físico a partir de seus elementos;
- ✓ 3ª Etapa: Nesta etapa são aplicadas as técnicas experimentais buscando comprovar as hipóteses levantadas por meio do mapeamento e apresentadas nos mapas/cartas.

Esta metodologia sistematiza o mapeamento geotécnico em 8 níveis hierárquicos de documentos. A hierarquização permite orientar a elaboração dos documentos cartográficos em uma sequência lógica desde o planejamento do trabalho (Quadro 1).

Quadro 1: Hierarquia de documentos produzidos a partir do mapeamento geotécnico.

Nível Hierárquico	Tipo de Documento	Recomendações básicas
I	Fundamental básico – registra as características dos componentes dos meios físico, biológico e antrópico (socioeconômico) por meio de variação espacial dos atributos.	Obtenção dos atributos e a produção dos documentos podem ser feitas por diferentes procedimentos métodos.
II	Fundamental de síntese – elaborado com objetivo de sintetizar as informações de uma região sem, no entanto, propiciar análises para fins específicos.	Representar as informações em um único documento (após uma seleção dos atributos). As escalas pequenas são as mais indicadas (1:100.000). CZGG (Carta de zoneamento geotécnico geral).
III	Carta derivada e interpretativa – produzida para uma condição pré-definida; reflete o resultado de uma análise, considerando as características de cada divisão da área em questão. Cada unidade delimitada neste documento é classificada quanto ao comportamento natural do meio diante de uma determinada situação de uso.	Considerando as variáveis espaciais, pode-se produzir CZGE (Carta de zoneamento geotécnico específico). Objetivo é delimitar unidades que apresentem níveis de heterogeneidade mínimos, compatíveis com a escala do trabalho. Podem ser utilizados os seguintes recursos: matriz bidimensional; matriz tridimensional; árvore lógica; sobreposição controlada; métodos determinísticos; métodos estatísticos; dupla hierarquização ou combinar recursos entre si. Para CZGG, é necessário definir uma hierarquia de componentes e

		atributos, bem como uma de influência de cada um deles.
IV	Carta analítica básica – elaborada com base em um conjunto de informações sobre os componentes básicos de um meio, normalmente relacionados à avaliação da probabilidade (absoluta ou relativa) de ocorrência de um ou mais processos naturais.	São cartas elaboradas a partir dos documentos das fases anteriores. Considerar para a carta os documentos referentes aos elementos de ocupação. Considerar os tipos de eventos perigosos e as áreas que podem ser atingidas. Considerar como melhor técnica para obtenção das cartas a superposição controlada (manual ou automatizada).
V	Carta de prognósticos de riscos, de problemas e de limitações – montada considerando a interação de características dos componentes do meio ambiente.	Cartas produzidas a partir de análises das anteriores.
VI	Carta de procedimento – leva em conta a ocupação e o controle dos riscos.	Considerar as vantagens e limitações das diferentes zonas.
VII	Carta de viabilidade (potencial) para os usuários – deve ter como base todas as informações do meio ambiente, considerando as relações entre os diferentes vetores de ocupação.	Aspectos do meio ambiente, fatores socioeconômicos e antrópicos devem ser considerados em documentos para escalas desde 1:50.000 até 1:2.000.
VIII	Carta de orientações	Ter como base os documentos das

	conclusivas – tem como objetivo permitir tomadas de decisões administrativas ou econômicas.	fases anteriores e estudos das demandas futuras quanto ao ventor considerado (ocupação urbana, água etc.).
--	---	--

Fonte: Zuquette e Gondolfi (2004), p. 75-76, modificado de Zuquette (1993).

Segundo Zuquette e Gondolfi (op. cit.) para a produção de documentos cartográficos, no mapeamento geotécnico, sejam mapas ou cartas se faz necessário eleger uma metodologia para nortear os trabalhos. Portanto, os documentos são elaborados a partir de uma sequência determinada de procedimentos que estipulam os vários níveis hierárquicos a serem adotados e, conseqüentemente, atribuídos às cartas e mapas.

3.4.3 O mapeamento geotécnico e as cartas geoambientais: Carta de zoneamento do escoamento superficial conforme Zuquette

O mapeamento geotécnico tem suas bases na Geotecnia e nos estudos dos atributos do meio físico para análises estruturais, todavia, as várias utilidades de deste tipo de estudo exige uma correlação com elementos biológicos e antrópicos a fim de subsidiar e buscar atender as necessidades que envolvem a problemática ambiental.

Os atributos básicos para o mapeamento geotécnico consistem em elementos do meio físico, ou seja, rochas, materiais inconsolidados, água, relevo, condições climáticas e suas relações. Na medida em que são inseridos elementos dos meios biológico e antrópico, na mesma proporcionalidade de investigar a relação homem natureza, a carta geotécnica clássica se transforma em uma carta geotécnica ambiental ou simplesmente carta ambiental.

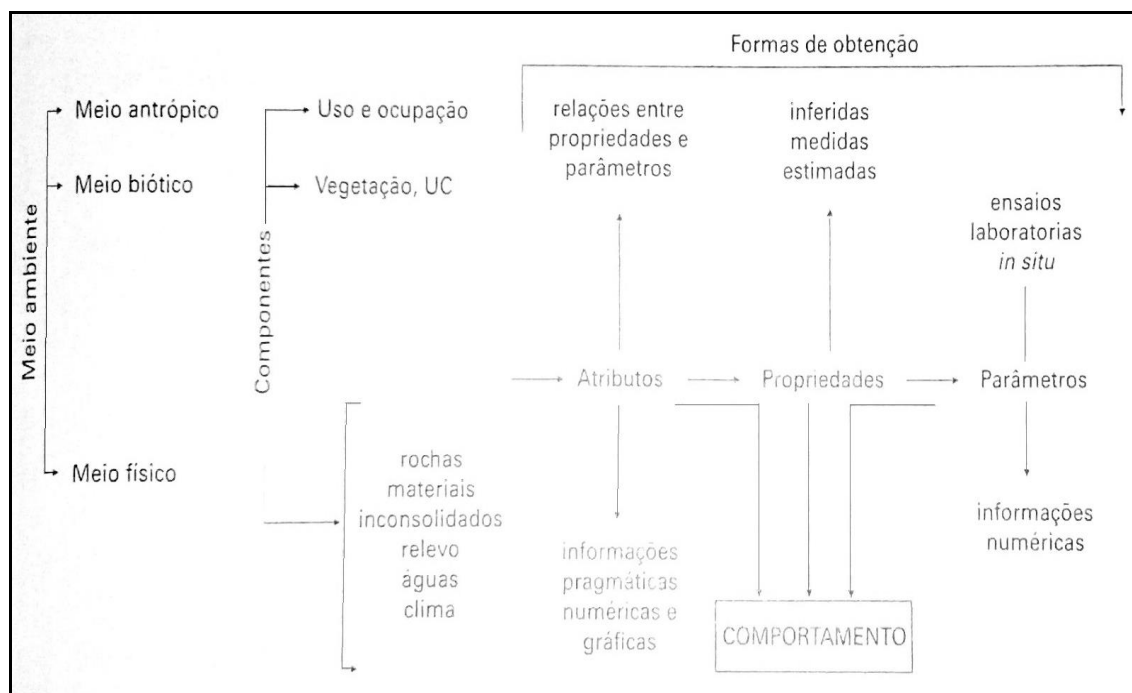
Para Freitas e Campanha (2007) a carta geotécnica é considerada um tipo de carta ambiental, na qual há a predominância do estudo dos componentes do meio físico, é também chamada de carta geoambiental, no qual seu significado se baseia na própria etimologia do termo, buscando compreender os processos e fenômenos responsáveis pela dinâmica da crosta terrestre.

A eficiência da técnica de mapeamento geotécnico pode ser avaliada quando considera alguns pressupostos, como: os atributos considerados no levantamento e sua

heterogeneidade, bem como a escala adotada para suas classificações; ordem de aquisição dos dados e informações dos atributos; determinação de como, onde e quanto amostrar; representação e generalização com base nos critérios adotados para estabelecer seus níveis (ZUQUETTE e GOLDOFI, 2004).

As cartas geotécnicas do tipo derivadas são resultado da relação dos componentes do meio ambiente, os quais consistem nos atributos do meio físico, aspectos bióticos, processos antrópicos recentes e condições socioeconômicas. Zuquette e Gondolfi (op. cit.) dizem que estes atributos foram considerados levando-se em consideração a necessidade de elaborar um conjunto de mapas e cartas que integram o mapeamento geotécnico ou que podem surgir a partir da combinação dados do mapeamento geotécnico com dados de outros componentes do meio ambiente conforme demonstra a Figura 2.

Figura 2: Níveis progressivos das informações relativas aos atributos do meio físico.



Fonte: Zuquette e Gondolfi (2004).

O resultado do cruzamento do fluxograma e matrizes de relações, expostos na figura 48, forma um conjunto de 99 atributos que podem ser combinados para diversos estudos ambientais.

Para os trabalhos que envolvem problemas geotécnicos e ambientais deve-se estar atento para os níveis hierárquicos de informações dos meios físico, biológico e antrópico, representados em documentos cartográficos resultantes do cruzamento de atributos pertinentes a cada componente dos meios em suas possibilidades e uso suas particularidades (Quadro 2e Quadro 3).

A hierarquização deve ser norteadada pelos critérios de grau de importância para uma determinada finalidade e de grau de dependência em sentido decrescente ou crescente (ZUQUETTE e GONDOLFI, 2004).

Quadro 2: Hierarquia e documentos cartográficos correspondentes – meio físico.

Nível Hierárquico	Meio Físico
I	Mapa do substrato rochoso; mapa da qualidade das águas; mapa das feições do terreno; mapa dos materiais inconsolidados; carta de declividade; mapa de bacias hidrográficas; mapa de profundidade do nível da água; mapa de áreas húmidas; mapa geologia estrutural/relevo; mapa das feições resultantes dos processos geológicos; mapa das feições do tecnógeno; mapa das condições hidrogeológicas; mapa de documentação; mapa climático.
II	Carta de zoneamento geotécnico geral (CZGG); mapa das condições geológicas-geotécnicas (MCGC); carta de restrições.
III	Carta para fundações, carta das condições de drenabilidade; carta para escavabilidade; carta para erosividade e erodibilidade; carta do potencial de escoamento superficial e infiltração; carta do potencial agrícola; carta para irrigação, carta das zonas de recarga; carta para a disposição de rejeitos e resíduos; carta do potencial de corrosividade; carta para exploração das águas; carta para estocagem subterrânea; carta para estradas; carta de potencial para minerais e materiais para construção civil.
IV	Carta da probabilidade de ocorrência de eventos naturais; carta das áreas degradadas; carta de diagnóstico de zonas degradadas; carta das possibilidades de ocorrência de eventos perigosos; carta de passivos

	ambientais (meio físico); carta do potencial de erosão; carta das áreas sujeitas a eventos perigosos (tipo x áreas); cartas para gestão ambiental.
V	Carta de classificação de bacias hidrográficas quanto a problemas ambientais; carta com as áreas que apresentam restrições para um tipo de ocupação específica; carta de vulnerabilidade das águas; Carta de zoneamento geoambiental; carta de riscos específicos e totais.
VI	Carta que retrata os procedimentos construtivos e os cuidados para implementar as formas de ocupação.
VII	Viabilidade para aeroportos, reservatórios (barragens) e captação de água; viabilidade para construções e residências; viabilidade para aterros sanitários; viabilidade para obras enterradas.
VII	Hierarquização das unidades considerando somente os atributos de meio físico; priorização das áreas para diferentes finalidades (específicas ou globais).

Fonte: Zuquette e Gondolfi (2004), p. 76.

Quadro 3: Hierarquia e documentos cartográficos correspondentes – meio biológico e antrópico (socioeconômico).

Nível Hierárquico	Meio Biológico	Meio Socioeconômico
I	Mapa de vegetação.	Mapa dos equipamentos urbanos existentes, transporte, energia etc. Mapa de densidade populacional.
II	Mapa dos ecossistemas.	Mapas das áreas públicas. Mapa dos diferentes tipos de ocupação: A – tipos que podem provocar eventos perigosos; B – ocupações comuns; C – ocupações futuras.
III	Carta de hierarquização quanto à preservação.	Mapa de índices socioeconômicos.

IV	Vulnerabilidade dos elementos de ocupação diante a eventos perigosos e outras limitações. Carta de passivos ambientais (meio biótico).	
V	Carta dos níveis de riscos para as diferentes zonas ambientais.	
VI	Carta com os procedimentos de segurança para cada zona.	
VII	Viabilidade para proteção ambiental ou para exploração de recursos naturais.	
VII		Cartas que retratem as estimativas da relação custo/benefício. Carta de zoneamento das condições globais do meio ambiente e problemas futuros.

Fonte: Zuquette e Gondolfi (2004), p. 77.

Os mapas de zoneamento estão inseridos no III nível hierárquico de mapeamento geotécnico, que correspondem aos documentos derivados e interpretativos. O mapa de zoneamento possibilita analisar a dinâmica funcional e espacial dos atributos básicos que caracterizam as unidades homogêneas, essas análises são realizadas por meio de modelos tridimensionais (ZUQUETTE e GONDOLFI, 2004).

Normalmente este tipo mapa consiste em atender duas formas de necessidade de zoneamento, o regional e o tipológico.

O mapa de zoneamento regional estabelece unidades mínimas, quanto à heterogeneidade, dentro do território estudado, desta forma busca representar a individualidade e particularidades das características geotécnicas do lugar (ZUQUETTE, 1993).

O mapa de zoneamento tipológico consiste no processo tomado por algumas metodologias, onde as unidades homogêneas são estabelecidas considerando os atributos relacionados à escala e à respectiva unidade taxonômica.

A carta do zoneamento do escoamento superficial é um documento fundamental para zonear uma região. Seus resultados estabelecem critérios que representam diferentes condições de escoamento superficial e infiltração, de tal forma que podem ser utilizadas para a produção de outros documentos de níveis hierárquicos mais complexos, tais como as análíticas (ZUQUETTE e GONDOLFI, 2004). Este tipo de carta pode ser elaborada a partir de atributos, de forma conjunta e consonante, para prever as consequências de um cenário de chuva.

O trabalho de Pejon e Zuquette (1993) estabelece os critérios de atributos considerados para a elaboração de uma carta de escoamento superficial. Para tal, os autores consideraram os seguintes atributos:

- Declividade;
- Litologia;
- Materiais inconsolidados
 - Textura e gênese;
 - Espessura (m);
 - Permeabilidade.
- Densidade de drenagem (canais/km);
- Feições favoráveis ao escoamento superficial.

O tratamento desses dados é feito em laboratório e em campo, por sua vez a análise é realizada a partir de comparações e atribuição de pontos que são maiores quanto maior for a influencias do atributo para o escoamento superficial na área de estudo.

Os autores ainda destacam que a atribuição dos pontos é subjetiva e dependo da experiência e conhecimento do mapeador e que os atributos podem ser alterados de acordo com as particularidades da área de estudo.

3.5 Cartografia digital

O mapeamento geotécnico ganhou um grande impulso a partir do desenvolvimento da cartografia digital como instrumento de gestão e planejamento do

território a partir da otimização da representação gráfica das correlações dos elementos do meio ambiente, os instrumentos.

A utilização de computadores revolucionou a cartografia tradicional com a inserção de recursos como CAD (*Computer Aided Desing*), CAM (*Computer Aided Mapping*) e AM/FM (*Automated Mapping/Facility Management*), que são formas de trabalhar e converter mapas do meio analógico para o meio digital (OLIVEIRA, 1983). O transcurso evolutivo da cartografia digital galgou etapas superiores ao passo que se desenvolveram também os sistemas de gerenciamento de banco de dados e desta forma possibilitando uma interlocução entre a cartografia digital e os bancos de dados descritivos, assim surgindo os Sistemas de Informações Geográficas – SIGs (FRANCO et al., 2010).

A cartografia digital tem suas bases nos sistemas remotos de captação de informações e algoritmos numéricos computacionais que, operacionalizados manualmente, fornecem dados geoestatísticos que podem ser compilados graficamente. Entretanto Taylor (1991) atenta para o fato da cartografia digital não ser vista apenas como um processo metodologicamente manual, mas como um meio para se explorar múltiplas possibilidades de produzir, reproduzir e analisar os dados espaciais.

Esta ainda pode ser compreendida como forma de sistema, pois envolve uma gama de instrumentos, além da operacionalização humana, tais como: ferramentas físicas (*hardwares*) e não físicas (*softwares*), que combinadas possibilitam a geração de mapas e cartas sociais e de elementos e fenômenos físicos.

Assim sendo, seu desenvolvimento só foi possível com os avanços tecnológicos dos SIGs (Sistema de Informações Geográficas) ou GISs (*Geographic Information Systems*) que, conforme Lang e Blaschke (2009) têm sua origem no planejamento das paisagens e do meio ambiente e, que mesmo com os mais de 40 anos de desenvolvimento, ainda não foram explorados em todo o seu potencial, mesmo nos dias atuais.

De acordo com Jensen (2009) e Florenzano (2007), os SIGs ainda podem fornecer valiosas contribuições no suporte aos trabalhos de planejamento, que se tornam cada vez mais complexos frente ao mundo globalizado. Mas uma questão imprescindível para todos, que se utilizam dessas ferramentas, é não confundir as concepções de carta, mapa e SIG. Em muitos trabalhos científicos há uma tendência de

generalização dessas concepções que foram bem explicitadas por Kondratyev e Filatov (1999), tomando como ponto de discussão a representação gráfica da Terra.

Maps have long been used to represent the location of Earth-system components and their superposition in space, but maps are static and qualitative. GISs grew out of the need to derive quantitative information about the distribution of and interactions among the Earth's Resources. GIS technology integrates geographic analysis benefits offered by maps and database operations such as query and statistical analysis and it is probably the best technology currently available for spatial and temporal analysis of data. A GIS differs from a map in several ways. A map is an analog depiction of the Earth's surface, while a GIS record spatially distributed features in digital form. A map simultaneously depicts a variety of features of landscape or water-body (e.g. topography, land cover type, and bathymetry), while a GIS usually store each feature as a separate data layer, identifying relationships between different layers. A map is static and difficult to update , while a GIS data Layer can be easily revised. (KONDRATYEV e FILATOV, 1999, p. 374)

Nesse sentido, é possível compreender que, diferentemente do mapa, o SIG fornece condições de trabalho por meio de técnicas de geoprocessamento. Este se baseia em grandes volumes de dados gerados, associados a um referencial para produção das informações, ou seja, ganho de conhecimento. De acordo com Xavier da Silva (2009) o conhecimento aponta, como referencial, o contexto ambiental no sentido amplo, ou o territorial, no sentido específico.

Xavier da Silva (2009) ainda salienta que as ferramentas remotas, tais como Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto e GPS (Global Positioning System) se preocupam em gerar dados brutos e de qualidade, ao passo que o Geoprocessamento se apropria desses dados para produção da informação ambiental, integrando assim, racionalmente, os diversos dados do ambiente em um procedimento denominado geoinclusão.

Por tanto, torna-se imprescindível depreender as formas de representação gráfica e geração de dados e informações para uma análise geográfica dos fenômenos e elementos representados em uma projeção. É neste ponto que o trabalho científico se diferencia do técnico, quando este imbuído, mesmo que de modo estático em uma tela ou papel, de uma análise e/ou reflexão das dinâmicas territoriais e da natureza fornecendo, assim, subsídios para o planejamento ambiental, no contexto de produção do espaço geográfico.

4 METODOLOGIA

4.1 Método

Para a presente pesquisa adotou-se, como base científico-metodológica para o seu desenvolvimento e análise, a abordagem do método sistêmico de análise e interpretação dos fenômenos e processos naturais para a realidade.

O método sistêmico foi proposto por Bertalanffy (1975), nele o autor apresenta a possibilidade de uma análise conjunta por meio de uma linguagem científica unificada englobando todos os campos do conhecimento, tais como: ciências biológicas, ciências humanas, ciências exatas e da natureza, engenharias dentre outras, através da definição e análise de elementos estruturais inerentes a todos, os quais se estabelecem como base fundamental para compreensão do sistema.

Para Vicente e Perez Filho (2003) o método sistêmico tem um cunho multidisciplinar e ultrapassa a dicotomia do ambiente físico-químico ou o sociocultural, antes busca compreender o ambiente como fruto da relação do homem com a sua natureza. Perez Filho (op. cit.) diz ainda que o referido método se insere na Geografia pela necessidade de uma análise do complexo ambiental por meio da evolução e interação de seus componentes socioeconômicos e naturais no conjunto de sua organização espaço-temporal.

Para elaboração da carta de escoamento superficial foram empregados os princípios da *Técnica de Cartografia Geotécnica* conforme Zuquette (1993) e Zuquette e Gandolfi (2004, p.49), que [...] pode ser descrito como o processo que busca avaliar e retratar as características do meio físico, bem como os possíveis comportamentos frente às diferentes formas de uso do solo, processos naturais e induzidos.

Dentro desta técnica adotou-se os elementos para zoneamento geoambiental, conforme os critérios para documentos de nível hierárquico III, voltados para o estudo do escoamento superficial. Destaca-se que foram realizadas adaptações nos procedimentos em virtude das especificidades da área de estudo.

Neste procedimento as características geotécnicas foram levantadas, cruzadas e posteriormente avaliadas. Nas avaliações de cada classe foram atribuídos valores conforme a finalidade de cada estudo. Esses valores, conforme os autores são estipulados pelo pesquisador de forma associativa para cada região onde for aplicado

este tipo de estudo. Para análise e estipulação de valores foi adotado o método de Cook, haja vista que as regiões nem sempre apresentam as mesmas características físicas e processos antrópicos, portanto respeitando suas particularidades. Por fim esses valores foram correlacionados para a criação de classes e valores de escoamento superficial, no caso específico deste estudo.

4.2 Procedimentos metodológicos e organização do trabalho

Os procedimentos metodológicos adotados para a elaboração da pesquisa foram organizados em cinco etapas, a saber:

- ✓ Levantamento bibliográfico;
- ✓ Pesquisa de campo;
- ✓ Análises laboratoriais;
- ✓ Tratamento dos dados;
- ✓ Elaboração das cartas temáticas.

Essa organização em etapas foi necessário devido à complexidade da pesquisa que, como em qualquer zoneamento, requer procedimentos distintos conforme a necessidade de cada especificidade levantada.

4.2.1 Levantamento bibliográfico

A etapa de levantamento bibliográfico consistiu em uma seleção e organização de obras; entre livros, teses, dissertações, artigos científicos e mapas; que tratam dos diversos aspectos da pesquisa. Com objetivo de subsidiar cientificamente e de evoluir no conhecimento de causa da pesquisa, a primeira etapa foi de uma consistente revisão bibliográfica acerca da temática, sendo algumas das bibliografias básicas: Rodrigues et al. (1994), EMBRAPA (2013), Pereira (2006), Ab'Saber (1960), Zuquette (1993), Zuquette e Gandolfi (2004), Guerra et al (2010), Guerra e Cunha (2009), Pruski et al (2008), Christofoletti (1980), Lepsch (2002), IBGE (2007), Nogueira (1995), Pinto (2006), Bezerra (2004) e Silva (2012).

Estas obras, entre outras, estão presentes diretamente, quando citadas no corpo do texto, e indiretamente, quando subsidiam tomadas de decisões e análises não estando necessariamente citadas no texto, a fim de dar caráter científico à pesquisa diferenciando assim de um trabalho eminentemente técnico.

4.2.2 Pesquisa de campo

A etapa de pesquisa de campo foi dividida em três. Na primeira foram realizados os trabalhos de reconhecimento de campo, coleta de amostras de solo e observações dos aspectos geológicos e geomorfológicos da bacia. A segunda consistiu nos ensaios de infiltração de água no solo e observação dos aspectos urbanos. Na terceira e última etapa foram realizadas as validações *in situ* das cartas temáticas fruto da pesquisa.

4.2.2.1 Reconhecimento de campo e coleta de amostras

4.2.2.1.1 Reconhecimento do ambiente

Foi recrutada uma equipe de auxiliares para os trabalhos de campo, haja vista ser inviável desenvolver este tipo de trabalho sem um suporte de recursos humanos, com o apoio de colaboradores do Laboratório de Estudos de Bacias Hidrográficas – LEBAC e do Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais – NEPA, ambos da Universidade Federal do Maranhão.

Posteriormente foram realizados os primeiros trabalhos onde foi percorrida toda a bacia para se obter um panorama geral e planejar as melhores estratégias e pontos para as coletas de amostras deformadas e indeformadas do solo, bem como os ensaios de infiltração de água no solo.

4.2.2.1.2 Distribuição dos pontos de coletas e perfis

As coletas de amostra de solos foram sistematizadas em topossequência de colinas (topo, encosta e base) no alto, médio e baixo curso da bacia. Ocorreram de duas formas; deformadas, para análise física, e indeformadas, em anéis volumétricos para mensurar a densidade do solo.

Ao longo da bacia foram selecionados 38 pontos (Figura 4), levando-se em consideração a variação das cotas altimétricas da área. Em 35 pontos foram coletadas 3 amostras, referentes as profundidades de 20 cm, 40 cm e 60 cm do solo. Para fins de análise granulométrica e homogeneização dos dados de solos especializados coletou-se 3 amostras de sedimentos fluviomarinhas em 3 pontos distribuídos nas margens esquerda e direita da foz do Rio Paciência em profundidade de 20 cm.

No total foram 108 amostras coletadas. A profundidade das trincheiras e perfis exposto variou de 1 metro a 1 metro e 50 centímetros (Figura 3).

Figura 3: Abertura de trincheiras e profundidade do perfil de solo.

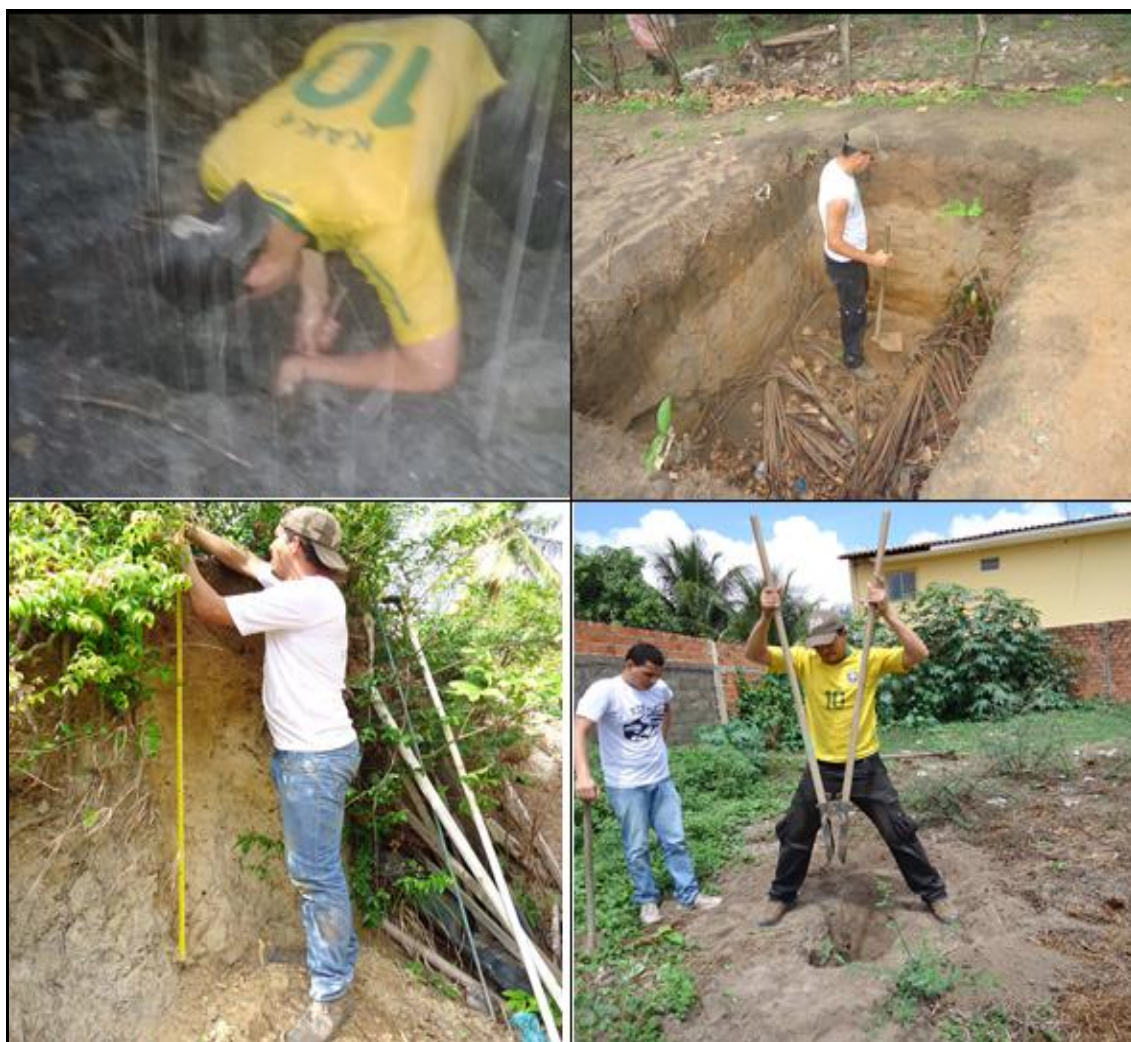
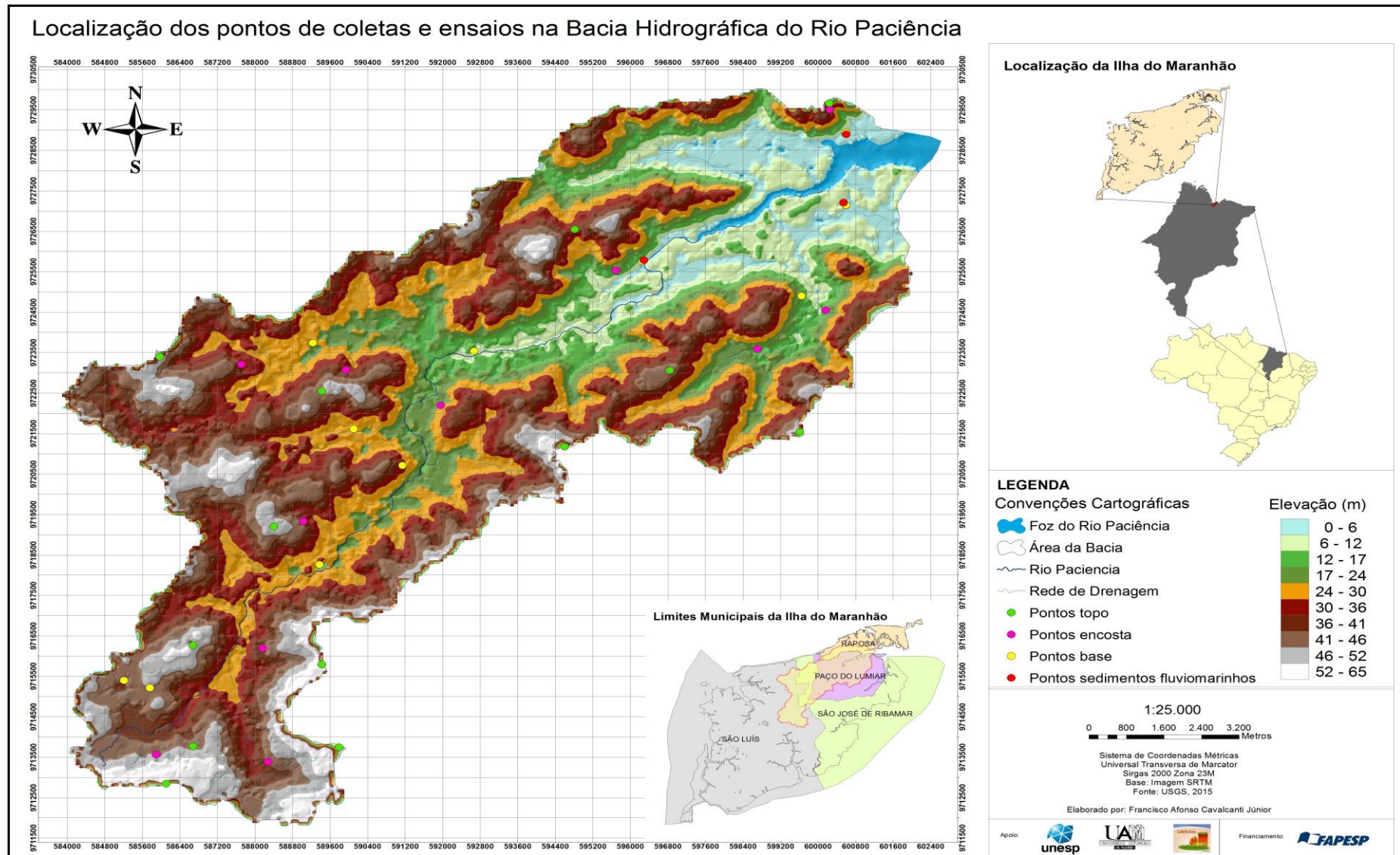


Figura 4: Distribuição dos pontos de coleta de solos na Bacia do Rio Paciência.



4.2.2.1.3 As coletas de amostras deformadas e indeformadas de solo

Durante os trabalhos optou-se primeiramente pela coleta das amostras indeformadas, para tal fez-se uso dos anéis volumétricos. Devido à indisponibilidade de anéis metálicos, insuficientes para o volume de coletas, foram providenciados anéis feitos a partir de canos PVC com dimensões de largura e altura iguais, assim mantendo um padrão de volume.

Foram coletadas duas amostras indeformadas por perfil (Figura 5). Com auxílio de uma pá o material de solo do lado externo do anel foi gradativamente retirado com incisões em ângulo que favorecesse uma semivolta em forma de "C" para que o fundo do anel não perdesse material (Figura 6). Essas amostras foram cuidadosamente manuseadas quanto à retirada de excessos com ajuda de uma espátula (Figura 7), assim preservando a não alteração do volume real de solo, posteriormente foram envolvidas em papel filme para assegurar a integridade do conteúdo.

Figura 5: Retirada de amostra indeformada do solo com anel volumétrico.



Figura 6: Retirada do anel volumétrico com amostra indeformada.



Figura 7: Retirada do excesso contido na amostra.



Após a coleta das amostras de material indeformado foram realizadas as coletas de amostras de material deformado. Para tal foram coletadas amostras das três camadas

de profundidade (20 cm, 40 cm e 60 cm) para fins de análise física do solo com determinação das frações areia, argila e site.

Foram utilizados uma pá, saco plástico com capacidade para 3 kg, fita e caneta piloto (para anotar a identificação nas amostras). No mesmo ponto de coleta das amostras anteriormente descritas foram coletadas as amostras deformadas com incisão direta da pá no ponto escolhido (Figura 8). Amostras de sedimentos fluviomarinhos também foram coletados (Figura 9) em 3 pontos da foz do rio Paciência, neste caso apenas na profundidade superficial.

Figura 8: Ponto de coleta de amostra indeformada.



Figura 9: Coleta de amostra de sedimentos fluviomarinhos.

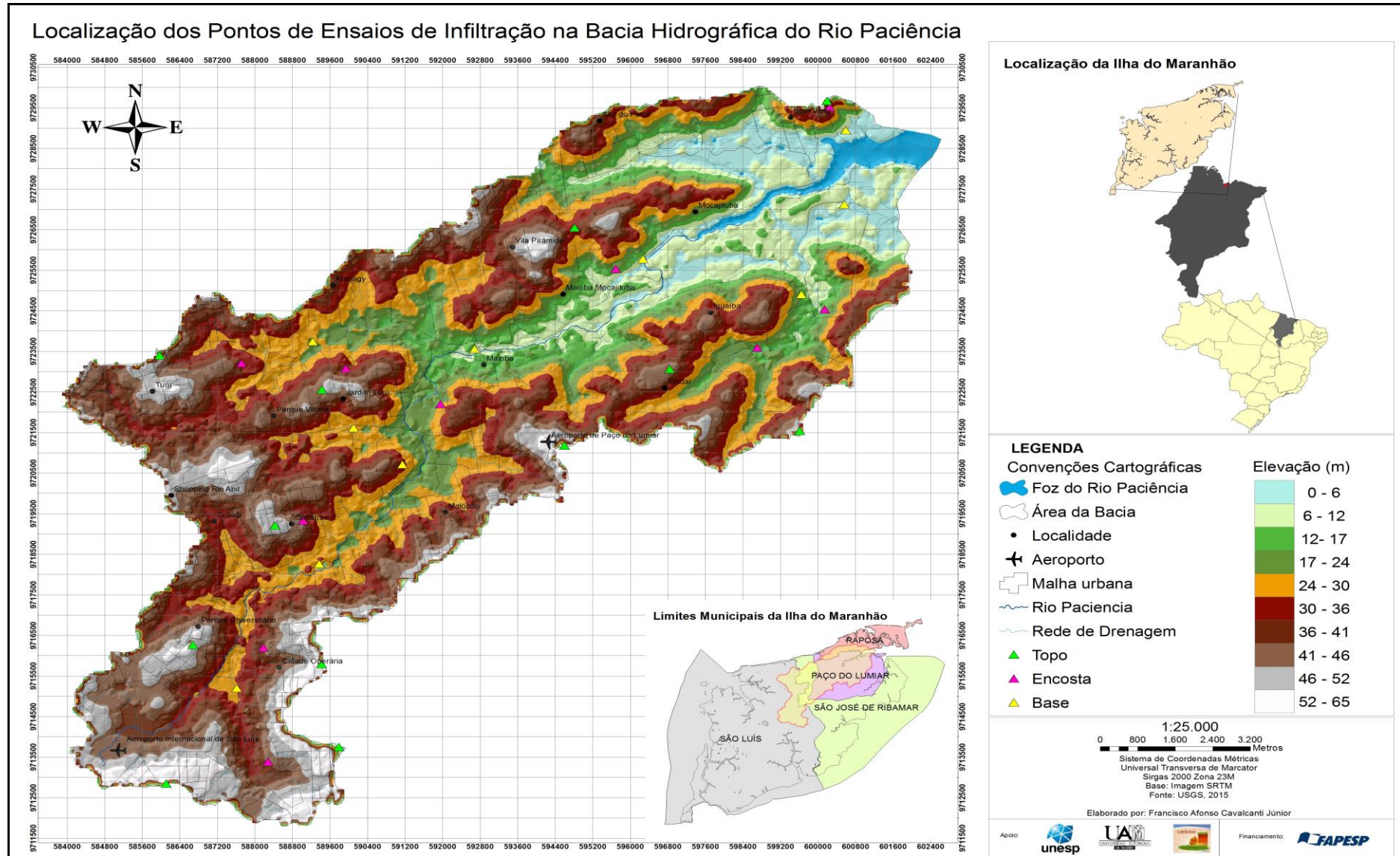


A coleta das amostras seguiu a orientação vertical, de baixo para cima, dos horizontes com fins de não contaminar as amostras posteriores com o material que se desprende e vem abaixo pela força da gravidade. Em cada saco foram armazenadas aproximadamente 1kg de material.

4.2.2.2 Ensaios de Infiltração

Os ensaios de infiltração (Figura 10) foram realizados nos mesmos pontos de coleta de amostras de solo para que ao serem correlacionados com as análises granulométricas não apresentassem valores duvidosos. Em apenas 1 ponto não foi possível a determinação dos valores de infiltração por motivo de segurança e integridade física do pesquisador, devido a ameaças de violência, em outros 3 pontos tornou-se inviável essa determinação devido a instabilidade dos terrenos de sedimentos

Figura 10: Localização dos pontos onde foram realizados os ensaios de infiltração de água no solo.



fluviomarinhos. No total foram realizados 33 ensaios de infiltração na Bacia do Rio Paciência.

Para este trabalho fez-se uso da técnica do *Infiltrômetro de Duplo Anel*, conforme Reichardt (1990) e Martins (1976), para condutividade hidráulica do solo saturado. A técnica consiste na utilização de dois cilindros concêntricos onde a água é adicionada em ambos, sendo a função do cilindro externo a de atenuar o efeito da dispersão da água do cilindro interno.

Os materiais utilizados foram dois cilindros concêntricos de 30 cm e 60 cm de diâmetros, cravados no solo a aproximadamente 15 cm (Figura 11), uma marreta, um pedaço de madeira grande para não aplicar a força da marreta diretamente no infiltrômetro e assim evitando danificá-lo, uma régua com fixador, um cronômetro, galões de água, um balde, uma caneca, caneta, papel e uma prancheta.

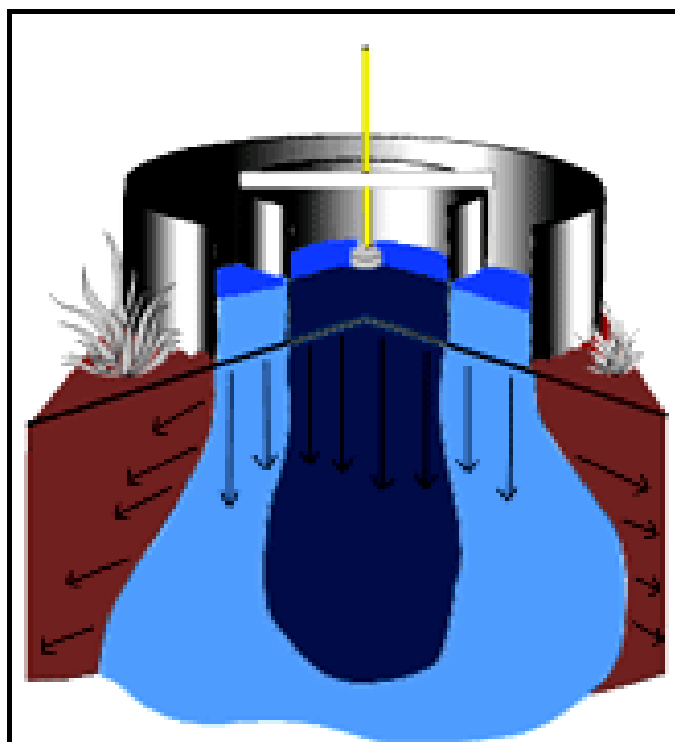
Figura 11: Cilindros sendo cravados no solo a 15 cm de profundidade com auxílio de marreta.



Os ensaios de infiltração foram realizados em colinas dispersas na bacia (nas feições topo, encosta e base) e durante o período de verão seco para a região, pois a superfície não pode receber precipitação pluvial por um período mínimo de 15 dias, para que o solo úmido ou saturado não interferisse na velocidade de infiltração.

O cilindro maior foi preenchido com água e só depois o menor, o objetivo foi de saturar o solo no sentido horizontal evitando a dispersão e permitindo com que a água do cilindro menor infiltrasse no sentido vertical (Figura 12), conforme REICHARDT (1990) e MARTINS (1976) as variações registradas foram as ocorridas dentro do cilindro interno.

Figura 12: Esquema de infiltração com infiltrômetro de duplo anel.



Fonte: http://www.aquagri.com/equipamentos/image_equipamentos/doubling4.gif

As leituras ocorreram a cada minuto dos primeiros 10 minutos e, transcorrido este tempo, a cada 5 minutos até atingir o ponto de estabilidade, nos pontos da régua que marcavam a altura da lâmina d'água dentro do cilindro na hora da leitura (Figura 13). Os registros das variações foram feitos em uma tabela contendo na primeira coluna o tempo (de 1 em 1 minuto e depois de 5 a 5 minutos), em outra coluna a altura medida em cada tempo a partir da altura inicial e em outra coluna a diferença entre as sucessivas alturas (h^1-h^2).

Figura 13: Leitura do volume d'água dentro do cilindro menor.



4.2.2.3 Reconhecimento das cartas temáticas em campo

Após a elaboração das cartas foi realizado a validação das mesmas em campo, observando as informações plotadas e as comparando com a realidade em *in loco*. Em ambiente SIG foram realizadas as correções observadas.

4.2.3 Análises laboratoriais

A etapa de análise laboratorial foi dividida em duas. Na primeira foram determinados os valores de densidade do solo com base nas amostras contidas nos anéis volumétricos e na segunda etapa foram determinados os valores espectros do tamanho de partículas das amostras de solo.

4.2.3.1 Densidade do solo

Foram coletadas 54 amostras com anéis volumétricos, contudo apenas 51 foram analisados, pois 3 amostras sofreram destruturação durante o transporte do local de coleta até o laboratório. Para as amostras perdidas e para os pontos onde não foi possível realizar a coleta foram repetidos os valores que apresentaram as mesmas características granulométricas e condições ambientais (uso e cobertura da terra, topografia e localização) conforme a Lei de Geográfica de Tobler que diz que tudo é relacionado com tudo, porém coisas mais próximas estão mais relacionadas que coisas mais distantes.

Os anéis e suas caixas foram pesados juntos, o valor ficou registrado como peso inicial. As amostras (com os anéis) foram levadas à estufa elétrica por 24 horas a 105°C, para determinação de massa seca, após este período foram levadas ao dessecador para resfriarem sem absorverem umidade (Figura 14). Por fim, as amostras tiveram sua pesagem registrada em uma balança granatária de 4 dígitos (Figura 15) e seus valores foram registrados como peso final.

Figura 14: Amostras de solo indeformadas sendo resfriadas em dessecadores.



Figura 15: Pesagem de amostra seca com balança granatária.



4.2.3.2 Análise do espectro do tamanho das partículas (Pipetagem)

Para esta etapa foram analisadas 108 amostras, totalizando 972 determinações, visto que são realizados 3 tipos de determinações (areia, argila e silte) e cada uma delas requer 3 repetições por amostra.

As análises físicas foram realizadas com base nas orientações disponíveis no Manual de métodos de análise de solos da EMBRAPA (1997) para a técnica de pipetagem. Em laboratório as amostras foram armazenadas em formas de papel (Figura 16) e postas para secagem em temperatura ambiente durante uma semana, passado este período foram destorroadas.

Figura 16: Amostras armazenadas em formas de papel, secagem em temperatura ambiente.



Com o auxílio de um almofariz e pistilo as amostras foram destorroadas (Figura 17), atentando para não fragmentar os sedimentos mais grosseiros e alterar a amostra real. Ao término do procedimento o material mais arenoso foi separado por meio uma peneira de 2.000 mm de abertura.

Figura 17: Destorroamento de solo com auxílio do almofariz e pistilo.

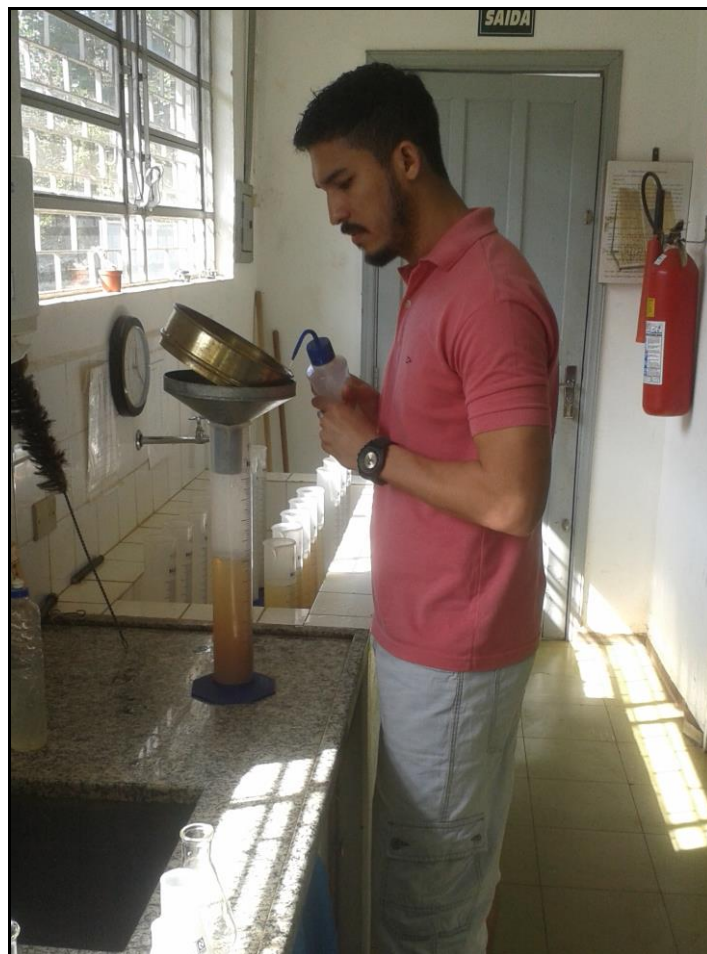


O procedimento seguinte foi a preparação de uma quantidade representativa da amostra para determinação dos parâmetros granulométricos.

No balão de Erlenmeyer pesou-se 10 g da amostra tratada adicionando 20 ml de água destilada, com a ajuda de uma proveta de 25 ml, e 10 ml de NaOH (solução de hidróxido de sódio), referente a 1M com a pipeta volumétrica de 10 ml. O balão de Erlenmeyer, contendo as soluções com a amostra, foi levado para mesa agitadora, permanecendo por um período de 6 horas para desagregação dos sedimentos que compõem o solo.

Após o período de agitação a solução passou por um processo de lavagem utilizando uma peneira com abertura de 0,053 mm (Figura 18), a solução residual da lavagem foi armazenada em uma proveta de 1000 ml com o auxílio de um funil. Os sedimentos retidos na peneira foram lavados com água destilada até o ponto que a água residual ficasse incolor, o volume da proveta, quando necessário, foi completo com água destilada até a marca dos 1000 ml.

Figura 18: Lavagem da solução residual, contendo argila e silte, armazenada em proveta.



Os sedimentos retidos na peneira foram depositados na placa de Petri; que já estava devidamente seca, na estufa por 1 hora e resfriada no dessecador, e pesada na balança analítica de 6 dígitos (registrado como peso inicial)(Figura 19); a deposição ocorreu esguichando água destilada sobre os sedimentos em direção a placa de Petri, certificando-se que não tenha permanecido nenhum resquício de sedimento na peneira.

Assim, retornou-se a placa com a solução de sedimentos para a estufa secando durante 24 horas a uma temperatura de 105°C, transcorrido esse tempo transferimos as placas para o dessecador, resfriando-as, posteriormente foram pesadas (registrado como peso final), a diferença entre o peso inicial e o final determinou o peso real da fração areia da amostra.

Figura 19: Placa de Pétri sendo pesada na balança analítica.



Depois de separada a fração areia as frações de argila e silte permaneceram contidas na solução armazenada na proveta de 1000 ml, para suas determinações a solução necessitou atingir uma uniformidade térmica. Para a mensuração térmica mediu-se a temperatura com um termômetro de mercúrio, posteriormente estabeleceu-se o tempo da pipetagem conforme a indicação para o grau obtido (Quadro 4).

Quadro 4: Temperatura e tempo para pipetagem

Temperatura °C	Tempo	Temperatura °C	Tempo
10	5h 11'	23	3h 43'
11	5h 03'	24	3h 38'
12	4h 55'	25	3h 33'
13	4h 47'	26	3h 28'
14	4h 39'	27	3h 24'
15	4h 33'	28	3h 19'
16	4h 26'	29	3h 15'
17	4h 20'	30	3h 10'
18	4h 12'	31	3h 07'
19	4h 06'	32	3h 03'
20	4h 00'	33	2h 58'
21	3h 54'	34	2h 55'
22	3h 48'	35	2h 52'

Fonte: EMBRAPA (1997)

Conforme o quadro, a temperatura medida indicou o período de tempo em que se iniciou a pipetagem, não houve nas análises uma temperatura, e consequentemente um tempo, fixa para todas as amostras considerando o quadro 4.

Antes do processo de pipetagem, logo após a mensuração da temperatura e determinação de tempo, foi necessário agitar as soluções, seguindo as orientações metodológicas da EMBRAPA. Com um bastão de agitação, agitou-se a primeira solução por 30 segundos realizando o mesmo procedimento para as posteriores, com intervalo de 1 minuto. Neste processo foi marcada a hora de início da agitação, que somada ao tempo determinado pelo quadro de temperatura, indicou a hora de início da pipetagem.

Transcorrido o tempo de descanso da solução deu-se início a pipetagem. Com uma pipeta automática (Figura 20) as coletas foram realizadas nos primeiros 5 cm de profundidade a partir da superfície da solução, na quantidade de 5 ml.

Figura 20: Pipeta automática.



Os 5 ml de solução coletada foram depositados em béqueres secos, e pesados já determinados seus pesos iniciais, e levados à estufa (Figura 21), lá permanecendo por 24 horas sob uma temperatura de 105°C. Transcorrido este tempo foram levados ao dessecador para resfriamento e posteriormente pesados, para registro do peso final. A diferença entre o peso final e o peso inicial forneceu a determinação da fração argila para cada amostra.

Figura 21: Béqueres com pesos iniciais registrados e prontos para serem levados à estufa.



Destaca-se que em todos os procedimentos com vidraria, as mesmas devem ser devidamente identificadas com a mesma identificação da amostra. Tal identificação deve ser realizada com caneta piloto diretamente na vidraria. Não são recomendadas identificações com etiquetas ou fitas adesivas, pois todo o procedimento de pesagem ocorre em balanças de precisão e, portanto, tais formas de identificação podem alterar o peso real.

4.2.4 Tratamento dos dados

Após os levantamento e geração de dados, em campo e em laboratório, seguiu-se o tratamento e refinamento dos mesmos por meio de aplicativos computacionais e

tratamentos matemáticos e estatísticos diretos para a produção de informações, bem como a valoração destas informações considerando cada uma das técnicas adotadas para os seus levantamentos, tratamento e classificação.

4.2.4.1 Dados de densidade do solo

A densidade foi determinada pela massa dos anéis, diferença entre o peso final e o peso inicial, e o volume do anel, representada na seguinte equação.

$$D = \frac{M}{V} = \frac{P_f - P_i}{\pi \cdot r^2 \cdot h}$$

Onde:

D: Densidade da amostra de solo;

M: Massa de solo contida no anel;

V: Volume do anel (cilindro);

P_f: Peso do anel com massa seca em caixa metálica;

P_i: Peso do anel sem massa em caixa metálica;

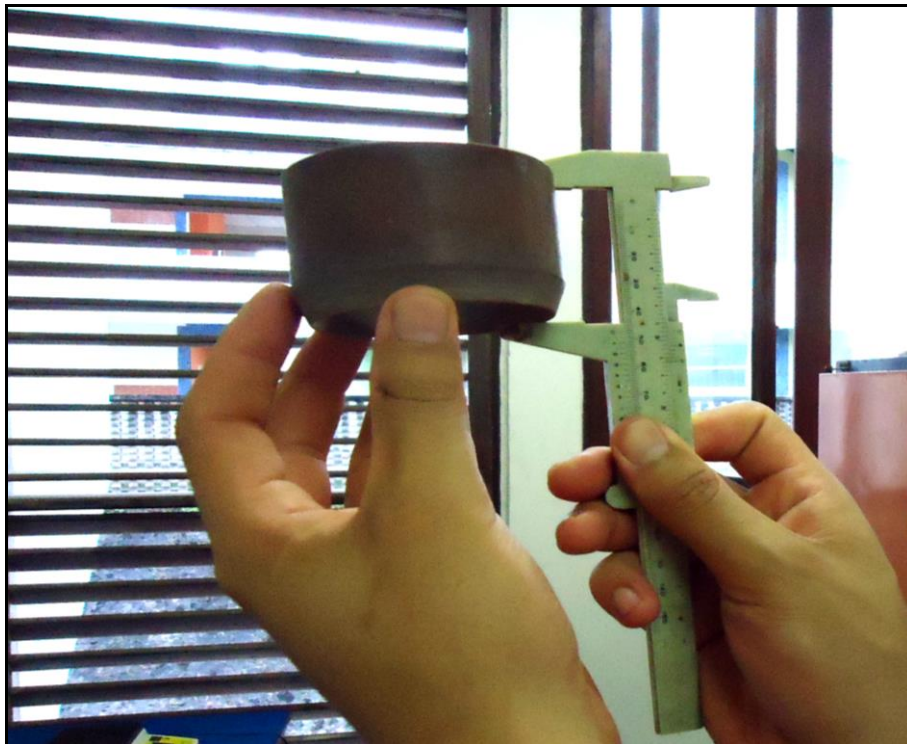
π: 3,14;

r²: Raio do anel elevado ao quadrado;

h: Altura do anel volumétrico.

O volume do anel foi determinado com o uso de um paquímetro (Figura 22), com o qual foram mensurados os valores de altura e raio do anel volumétrico.

Figura 22: Determinação das dimensões do anel volumétrico com paquímetro.



Como a densidade representa uma grandeza que estabelece uma relação de peso e quantidade de material contido dentro de uma porção tridimensional, foi estabelecida para esta pesquisa a expressão g/cm^3 .

4.2.4.2 Dados de infiltração de água no solo

A velocidade de infiltração (V_i) para cada instante foi determinada considerando os tempos (Δt) em minutos e os valores de altura (Δh) da infiltração em centímetros, valores estes que são medidos por meio de uma régua fixa no cilindro interno, que indica altura de água sobre o solo. A velocidade de infiltração (V_i) é expressa em cm/h , para tal multiplica-se o valor da divisão por 60, referente à quantidade de minutos contidos em 1 hora, conforme apresenta a seguinte equação:

$$V_i = \frac{\Delta h}{\Delta t} \times 60 = \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1} \times 60$$

A equação resultante da infiltração acumulada (Δh) versus tempo (Δt) indicou as medidas de V_i , alta no início da infiltração e que foi diminuindo com o tempo. O solo se satura e a velocidade de infiltração se estabiliza, assumindo um valor constante, denominado permeabilidade do solo saturado ou condutividade hidráulica (K).

A infiltração em anel é considerada uma fonte pontual de fluxo de água descendente, constante e tridimensional. Wooding (1968) *Apud* Radcliffe e Simunek, (2010) desenvolveu uma equação para essa condição que corresponde à carga de pressão da água obtida na superfície do solo analisado, a saber:

$$K_o = \frac{Is}{1 + \frac{4 \cdot \lambda c}{\pi \cdot r}}$$

Onde:

K_o : Condutividade hidráulica ou permeabilidade do solo saturado;

Is : Taxa de infiltração estável;

r : Raio do anel;

λc : Comprimento da capilaridade macroscópica do solo conforme as categorias de textura e estrutura;

π : 3,14;

1: Valor fixo e constante;

4: Valor fixo e constante.

Os valores do comprimento da capilaridade macroscópica do solo (λc), conforme as categorias de textura e estrutura, foram estabelecidos de acordo com o exposto na Tabela 1, proposta por Elrick e Reynolds (1992) *Apud* Radcliffe e Simunek (2010), considerando a estrutura de cada tipo de solo. O levantamento realizado na bacia apresentou algumas texturas representadas com valor de λc igual a 8,3 cm, para solos mais argilosos, porém a predominância foi de valor de λc igual a 2,8 cm, para solos mais arenosos.

Tabela 1: Valores de estimação do comprimento da capilaridade macroscópica do solo para as categorias de textura e estrutura (λ_c), conforme Elrick and Reynolds (1992).

Estimação do comprimento da capilaridade macroscópica do solo conforme as categorias de textura e estrutura (λ_c).	λ_c (cm)
Sedimentos grosseiros, cascalhos, areia podendo incluir solos altamente estruturados com grande quantidade de macroporos e fissuras.	2,8
Solos mais estruturados a partir de argilas e <i>loam</i> também incluem solos moderadamente estruturados e areia fina.	8,3
Solos com textura fina (argiloso) e não estruturado.	25
Solos compactados não estruturados, material argiloso como capas de <i>landfill e liners</i> , lacustrino ou sedimentos marinhos etc.	100

Fonte: Cavalcanti Júnior (2011).

As classes deste atributo foram estabelecidas conforme a classificação de infiltração básica de Reichardt (1990) (Tabela 2).

Tabela 2: Critério de classificação de infiltração básica, conforme Reichardt (1990).

K	Valor (cm/h)
Muito alto	> 3
Alto	1,5 – 3
Médio	0,5 – 1,5
Baixo	0,1 – 0,5
Muito baixo	< 0,1

Os dados foram tratados estatisticamente e tabelados no aplicativo *Excel* para a geração de novos dados através de fórmulas matemáticas, a partir de então gráficos foram produzidos e o resultado da equação final foi utilizado na interpolação de pontos no ArcGIS versão 10.1 gerando a carta de susceptibilidade a infiltração de água do solo da bacia.

Após o tratamento e tabulação dos dados, foram gerados gráficos que representam as grandezas de rebaixamento da infiltração *versus* o tempo, adicionando

uma linha de tendência do tipo potência que apresenta o valor do coeficiente de correlação (R^2) dos pontos. A análise do coeficiente de correlação (R^2) considerou os valores de infiltração próximos da estabilização até a estabilização total da infiltração.

Este procedimento é importante, pois é ele quem fornece o percentual que explica a relação dos pontos, representado por R^2 . O R^2 tem uma variação de valor de 0 a 1, portanto, quanto maior for o seu valor, ou seja, mais próximo a 1, mais ele consegue explicar e validar os dados observados e quanto mais próximo a 0 menos confiáveis são esses dados.

A escolha da linha de tendência do tipo potência ocorreu em virtude dos dados apresentarem uma melhor resposta quando submetidos a ela, a qual, segundo o fabricante do aplicativo Excel¹, é uma linha curva usada em conjuntos de dados que comparam medidas que seguem um aumento com taxa específica. Não se pode criar uma linha de tendência do tipo potência se os dados contiverem valores nulos ou negativos.

Os gráficos foram gerados para todos os pontos de ensaio de infiltração nas feições topográficas topo, encosta e base das colinas.

A análise do coeficiente de correlação para cada ensaio de infiltração mostra que os dados são válidos, com grau de satisfação variando de médio a alto, e que, portanto, podem ser usados para explicar e representar a dinâmica de permeabilidade do solo saturado da bacia.

4.2.4.3 Dados de granulometria

Para determinação das percentagens e quantidade das frações granulométricas na amostra, foram utilizadas as equações abaixo descritas:

Areia

$$M_{\text{areia}} = P_2(\text{peso da placa com areia}) - P_1(\text{peso da placa})$$

¹ Suporte Office Online. Escolher a melhor linha de tendência para os seus dados. Potência. Disponível em: <https://support.office.com/pt-br/article/Escolher-a-melhor-linha-de-tend%C3%Aancia-para-os-seus-dados-1bb3c9e7-0280-45b5-9ab0-d0c93161daa8>

$$\begin{array}{ll}
 10\text{g de solo} \rightarrow 100\% & 10\text{g de solo} \rightarrow X(N_1\%) \\
 M_{\text{areia}} \rightarrow X\% & 100\text{g de solo} \rightarrow Y \text{ de areia} \\
 X = N_1\% \text{ de areia na amostra} & Y = N_2 \text{ g/kg de solo}
 \end{array}$$

Argila

$$\begin{aligned}
 M_{\text{argila}} &= P_2(\text{peso do b quer com argila}) - P_1(\text{peso do b quer}) \\
 \%_{\text{argila}} &= (M_{\text{argila}} - 0,002) \times 2000 \\
 10\text{g de solo} &\rightarrow M_{\text{argila}} \\
 1000\text{g de solo} &\rightarrow X \\
 X &= N \text{ g/kg de solo}
 \end{aligned}$$

Silte

$$\begin{aligned}
 \%_{\text{silte}} &= 100\% - \%_{\text{areia}} - \%_{\text{argila}} \\
 10\text{g de solo} &\rightarrow N_1\text{g de silte} \\
 1000\text{g de solo} &\rightarrow X \\
 X &= N_2 \text{ g/kg de solo}
 \end{aligned}$$

Em suma, o valor de silte contido na amostra está sendo determinado por indução, ou seja, uma vez que sabe-se os valores das frações areia e argila somados, o valor do silte é o correspondente a quantidade ausente para a cota de 10 g da amostra analisada.

Como já mencionado, para cada amostra foram realizadas 3 repetições. A análise é realizada em triplicada para garantir a confiabilidade do resultado, seguindo assim o princípio da experimentação para a repetição, que visa atender com segurança os dados experimentais para determinação de valores médios.

Sendo assim, após os c culos granulométricos, os resultados foram tabelados em planilhas do aplicativo *Excel* e comparados. Seguindo a orientação da técnica de pipetagem da EMBRAPA (1997), quando um dos resultados da triplicata apresentou diferença maior que 2% em relação aos demais, em qualquer uma das frações granulométricas comparadas, esta unidade foi considerada descartável (Figura 23), sendo determinado o valor médio apenas dos resultados válidos. Quando houve diferença superior a 2%, entre qualquer uma das frações granulométricas comparadas, em duas ou em todas as unidades da triplicata a amostra foi submetida a uma nova análise. O desconto de 2% é referente à correção de erros diferenciais causados por

Figura 23: Em destaque, na cor vermelha, as unidades de triplicata que apresentaram diferença superior a 2% em relação às demais unidades de mesma triplicata.

sedimentos3 [Modo de Compatibilidade] - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
		Béquer	Béquer	Argila	Argila%	Argila	Placas	Placas	Areia	Areia%	Areia	Silte%	Silte						
		Pi	Pf	massa	%	g/Kg	Pi	Pf	massa	%	g/Kg	%	g/Kg		AMOSTRA	M Argila%	M Areia %	M Silte%	TOTAL
3	E-02-A	33,3723	33,3794	0,0074	10,8	198	43,0847	51,2957	8,211	82,11	821,1	7,09	70,9		B-01-A	22,2000	61,5635	16,2365	100
4	E-02-A'	33,8484	33,8545	0,0061	8,2	82	42,0494	50,1803	8,1309	81,309	813,09	10,491	104,91		B-02-A	6,7000	85,3875	7,9125	100
5	E-02-A''	33,2890	33,2946	0,0056	7,2	72	58,7118	66,9203	8,2085	82,085	820,85	10,715	107,15		B-04-A	13,3000	79,2225	7,4775	100
6	E-09-A	33,5834	33,5901	0,0067	9,4	94	41,9022	50,3664	8,4642	84,642	846,42	5,958	59,58		B-05-A	4,8667	83,3220	11,8113	100
7	E-09-A'	32,9692	32,9754	0,0062	8,4	84	42,3483	50,8254	8,4771	84,771	847,71	6,829	68,29		B-06-A	12,1333	84,5303	3,3363	100
8	E-09-A''	37,4133	37,4209	0,0076	11,2	112	43,2189	51,6572	8,4383	84,383	843,83	4,417	44,17		B-07-A	18,2000	66,1790	15,6210	100
9	E-04-A	43,3716	43,3806	0,009	14	140	53,5138	61,3024	7,7886	77,886	778,86	8,114	81,14		B-08-A	12,6000	84,8510	2,5490	100
10	E-04-A'	34,4928	34,5011	0,0083	12,6	126	42,8334	50,5844	7,751	77,51	775,1	9,89	98,9		B-09-A	11,6000	79,5385	8,8615	100
11	E-04-A''	36,3908	36,3991	0,0083	12,6	126	59,3383	67,0906	7,7523	77,523	775,23	9,877	98,77		B-10-A	1,6000	91,2525	7,1475	100
12	T-08-A	37,7154	37,7205	0,0051	6,2	62	52,098	60,3356	8,2376	82,376	823,76	11,424	114,24		B-11-A	10,3000	86,1615	3,5385	100
13	T-08-A'	36,5587	36,5637	0,005	6	60	54,2072	62,5181	8,3109	83,109	831,09	10,891	108,91		B-12-A	3,6000	93,3610	3,0390	100
14	T-08-A''	34,7701	34,7757	0,0056	7,2	72	43,1396	51,4802	8,3406	83,406	834,06	9,394	93,94		E-01-A	12,7000	78,9140	8,3860	100
15	T-07-A	37,6672	37,6735	0,0063	8,6	86	43,7507	52,1809	8,4302	84,302	843,02	7,098	70,98		E-02-A	7,7000	81,6970	10,6030	100
16	T-07-A'	30,1417	30,149	0,0073	10,6	106	52,2895	60,7026	8,4131	84,131	841,31	5,269	52,69		E-04-A	13,0667	77,6397	9,2937	100
17	T-07-A''	37,0418	37,0482	0,0064	8,8	88	42,0039	50,3684	8,3645	83,645	836,45	7,555	75,55		E-05-A	15,4000	71,0095	13,5905	100
18	T-03-A	39,1598	39,166	0,0062	8,4	84	37,4408	45,3842	7,9434	79,434	794,34	12,166	121,66		E-06-A	7,3000	86,7945	5,9055	100
19	T-03-A'	47,6864	47,6911	0,0047	5,4	54	35,5382	43,5288	7,9906	79,906	799,06	14,694	146,94		E-07-A	16,2000	76,9947	6,8053	100
20	T-03-A''	33,8483	33,8535	0,0052	6,4	64	59,276	67,1968	7,9208	79,208	792,08	14,392	143,92		E-08-A	9,0000	84,6200	6,3800	100
21	T-04-A	37,671	37,6794	0,0084	12,8	128	42,8346	51,0797	8,2451	82,451	824,51	4,749	47,49		E-09-A	8,9000	84,7065	6,3935	100
22	T-04-A'	36,5631	36,5706	0,0075	11	110	43,1396	51,543	8,4034	84,034	840,34	4,966	49,66		E-10-A	7,5000	87,1870	5,3130	100
23	T-04-A''	37,9725	37,9792	0,0067	9,4	94	43,2189	51,4611	8,2422	82,422	824,22	8,178	81,78		E-11-A	13,2000	79,7855	7,0145	100
24	E-07-A	36,2942	36,3044	0,0102	16,4	164	42,0042	49,7008	7,6966	76,966	769,66	6,634	66,34		E-12-A	25,8000	65,0130	9,1870	100
25	E-07-A'	43,3809	43,3912	0,0103	16,6	166	41,0744	48,799	7,7246	77,246	772,46	6,154	61,54		T-01-A	10,8667	79,3407	9,7927	100
26	E-07-A''	36,3984	36,4082	0,0098	15,6	156	43,0842	50,7614	7,6772	76,772	767,72	7,628	76,28		T-02-A	6,3000	85,8375	7,8625	100
27	E-10-A	34,7757	34,7812	0,0055	7	70	58,7138	67,3941	8,6803	86,803	868,03	6,197	61,97		T-03-A	5,9000	79,5570	14,5430	100
28	E-10-A'	33,5878	33,5938	0,006	8	80	52,2904	61,0475	8,7571	87,571	875,71	4,429	44,29		T-04-A	10,2000	83,2280	6,5720	100
29	E-10-A''	33,377	33,3843	0,0073	10,6	106	59,3398	68,0724	8,7326	87,326	873,26	2,074	20,74		T-05-A	18,0000	71,3425	10,6575	100
30	E-11-A	37,42	37,4284	0,0084	12,8	128	55,7967	63,8326	8,0359	80,359	803,59	6,841	68,41		T-06-A	12,2000	85,1440	2,6560	100

Pronto

100%

POR 23:04
PTB 11/09/2015

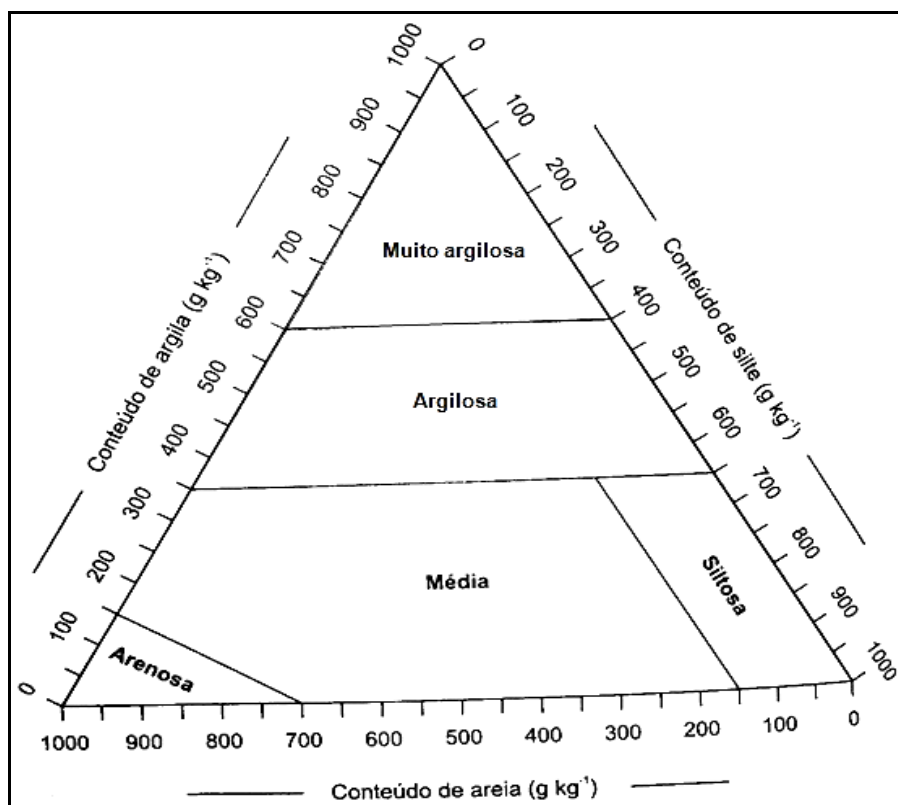
possíveis cristais resultantes da evaporação da solução de hidróxido de sódio (NaOH) usado na determinação granulométrica.

A valoração de classes texturais para cada amostra foi determinada conforme o SiBCS 3ª edição, EMBRAPA (2013). A análise para a classificação textural procedeu-se de duas formas, a primeira foi a classificação em grupamentos texturais e a segunda em subgrupamentos texturais.

- **Grupamento textural:**

É a reunião de uma ou mais classes de textura (Figura 24) [...] registrados em noção simples, binária ou ternária (EMBRAPA, 2013, p. 46). É utilizado para diferenciar classes de solos no 5º nível categórico, sendo recomendada sua ampla utilização em levantamentos de solos ou trabalhos correlatos (p. 286). Ainda segundo EMBRAPA (2013) podem ser usados as seguintes classes de grupamento textural: textura arenosa, textura média, textura argilosa, textura muito argilosa e textura siltosa.

Figura 24: Diagrama para classificação do grupamento textural.



Fonte: EMBRAPA (2013).

- ✓ Textura arenosa: Material que compreende as classes texturais areia e areia franca, ou seja, teor de areia menos teor de argila $> 700 \text{ g kg}^{-1}$;
- ✓ Textura média: Material com menos de 350 g kg^{-1} de argila e mais de 150 g kg^{-1} de areia, excluídas as classes texturais areia e areia franca;
- ✓ Textura argilosa: Material com conteúdo de argila entre 350 g kg^{-1} e 600 g kg^{-1} ;
- ✓ Textura muito argilosa: Material com conteúdo de argila superior a 600 g kg^{-1} ;
- ✓ Textura siltosa: Material com menos de 350 g kg^{-1} de argila e menos de 150 g kg^{-1} de areia.

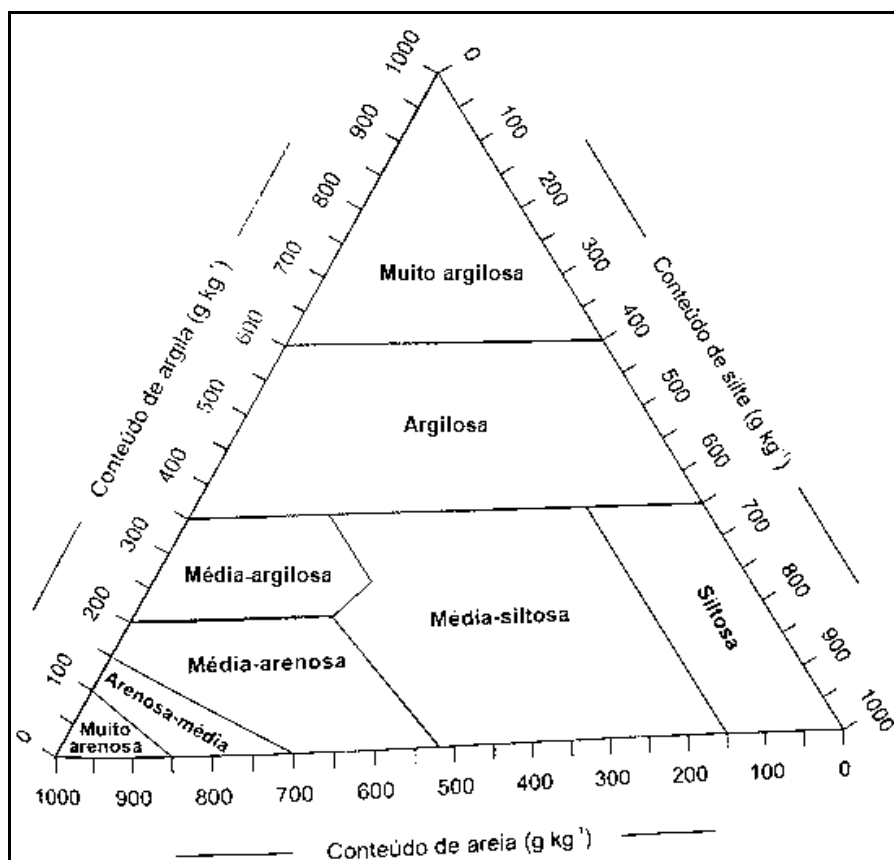
Nesta pesquisa essa classificação foi usada para caracterizar a predominância do tipo de grupamento textural em cada uma das profundidades de análise (20 cm, 40 cm e 60 cm).

- **Subgrupamento textural:**

É utilizado em substituição ao grupamento textural quando há a necessidade de um maior detalhamento das informações da área de estudo (EMBRAPA, 2013). Pode ser registrado em noção simples, binária ou ternária.

A nova classificação de critérios de subgrupamento textural (Figura 25) surge, nesta 3ª edição do SiBCS, como uma proposta de substituição à classificação adotada nas edições anteriores, todavia, ainda passa por processo de validação.

Figura 25: Diagrama para classificação do subgrupoamento textural.



Fonte: EMBRAPA (2013).

Segundo EMBRAPA (2013) podem ser usados as seguintes classes de subgrupoamento textural:

- ✓ Textura muito arenosa: Compreende a classe textural areia das edições anteriores do SiBCS;
- ✓ Textura arenosa-média: Compreende a classe textural areia franca das edições anteriores do SiBCS;
- ✓ Textura média-arenosa: Compreende a classe textural francoarenosa das edições anteriores do SiBCS, com mais de 520 g kg⁻¹ de areia;
- ✓ Textura média-argilosa: Compreende a classe textural franco-argiloarenosa das edições anteriores do SiBCS;
- ✓ Textura média-siltosa: Tem composição granulométrica com menos de 350 g kg⁻¹ de argila e 150 g kg⁻¹ de areia, excluídas as classes texturais

areia, areia franca, franco-argiloarenosa e francoarenosa com mais de 520 g kg⁻¹ de areia;

- ✓ Textura siltosa: Tem composição granulométrica com menos de 350 g kg⁻¹ de argila e menos de 150 g kg⁻¹ de areia;
- ✓ Textura argilosa: Tem composição granulométrica com conteúdo de argila entre 350 g kg⁻¹ e 600 g kg⁻¹;
- ✓ Textura muito argilosa: Tem composição granulométrica com teor de argila superior a 600 g kg⁻¹.

A classificação em subgrupamento textural foi utilizada nesta pesquisa para caracterizar cada compartimentação textural presente na bacia nas profundidades de 20 cm, 40 cm e 60 cm.

As classes texturais foram determinadas considerando os resultados, em percentagem, da análise granulométrica por técnica de pipetagem. Conforme o triângulo guia para classificação textural mostra, a variação granulométrica vai 0 a 1000 g, ou seja, é da em kg, por sua vez o resultado da pipetagem é dada em percentagem a partir de uma amostra de 10 g.

Sendo assim se fez necessário a realização de uma conversão valores de percentagem para gramas e gramas para gramas em proporcionalidade, expressa pela seguinte equação:

$$100 . x = y$$

Sabendo-se que:

$$\begin{array}{c} 10g \rightarrow 100\% \\ x \rightarrow n \end{array} \rightarrow 100x = 10 . n \rightarrow x = \frac{10 . n}{100} \rightarrow x = z$$

Onde:

100: Corresponde a 10% do total de gramas contidas em 1 kg;

x: Corresponde ao valor em gramas, de areia ou silte ou argila, contido em 10 g da amostra analisada na pipetagem;

y: Valor de gramas equivalente à escala de gramas por quilo no diagrama de classes texturais;

10g: Quantidade da amostra analisada por meio da técnica de pipetagem;

100%: Representa o valor absoluto das 10 g de amostra;

n: Percentagem da fração areia ou silte ou argila resultante da análise granulométrica;

z: Valor de x.

Os valores de cada fração, por amostra, foram cruzados no triângulo textural com o auxílio de uma régua, o ponto de intersecção das linhas determinou o tipo de textura para a amostra analisada.

4.2.5 Elaboração das cartas temáticas

Neste item estão descritos todos os procedimentos para a elaboração das cartas temáticas, bem como de outros processos que auxiliaram a produção das mesmas.

4.2.5.1 Imagem SRTM e Carta Altimétrica

A primeira imagem de radar utilizada para extrair informações foi a do projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, este projeto consiste em um melhoramento estatístico da resolução espacial das imagens *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM, ou seja, convertendo a resolução espacial original de 90 metros para 30 metros.

Todavia, durante o uso da imagem TOPODATA, na pesquisa, foi verificado alguns erros nas cotas de nível, isso ocorreu porque o procedimento de melhoramento da resolução espacial não consegue manter todas as informações de detalhes do terreno tal como se a imagem fosse originalmente captada pelo radar com resolução de 30 metros.

Pesquisando alternativas para sanar esta deficiência descobrimos que o Serviço Geológico dos Estados Unidos – USGS disponibilizou em sua página web² novas imagens da missão SRTM com resolução original de 30 metros, diferentemente da

² <http://earthexplorer.usgs.gov/>

TOPODA esta consegue registrar informações com mais precisão, mas ainda apresenta algumas deficiências quando se quer trabalhar com mapeamento em escala de detalhes.

Após escolher a imagem partimos para a extração da área da bacia hidrografia estudada e posteriormente das curvas de nível, por se tratar este de um estudo de mapeamento detalhado optou-se por intervalos de 5 metros, conforme o esquema metodológico para extração de curvas de nível exposto abaixo:

ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Raster Surface > Contour > Input raster (adicionar imagem SRTM resolução de 30 metros) > *Output polyline features* (pasta de destino do arquivo resultante) > *Contour interval* (digitar numero do intervalo das curvas de nível)
> *Ok*

Mas as curvas apresentaram contornos e quebras muito abruptas, isso ocorreu devido à pixelização da imagem ao forçar a extração de informação.

Para solucionar o problema acima mencionado, geramos uma nova imagem raster a partir do *shapefile* de curvas de nível, com equidistância original de 5 metros, por meio de interpolação. Para este caso o processo de interpolação, segundo a ESRI (2015), consiste em utilizar as informações topográficas das curvas de nível para construir um modelo generalizado da rede de drenagem; a partir de então um modelo hidrogeomorfológico é criado automaticamente, com as informações de declividade partindo da rede de drenagem. Esse modelo posteriormente é usado para a geração de um Modelo Digital do Terreno – MDT, menos pixelado e com curvas mais suaves e menos quebradas.

O procedimento de interpolação segue o presente esquema metodológico exposto, a saber:

ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Raster Interpolation > Topo to Raster > Input feature data (adicionar o *shape* de curvas de nível) > *Output surfasse raster* (pasta de destino do arquivo resultante) > *Ok* > Fazer um recorte da área de estudo sobre a imagem raster.

Com a nova imagem raster foi possível extrair novas curvas de nível com intervalos de 5 metros e com contornos mais suaves e com menos erros topográficos

para a escala estudada, para isso repetindo o mesmo procedimento para extração de curvas de nível mencionado no início. Foi identificado que a maior cota altimetria, a partir do nível do mar, foi de 65 metros, confirmando as cotas altimetrias encontradas em outros trabalhos para área.

4.2.5.2 Rede de Drenagem

O mapeamento da rede de drenagem foi fundamental para a base dos outros mapeamentos e subsidiou os cálculos morfométricos para bacia.

A ferramenta utilizada para a extração das informações de drenagem e delimitação da bacia foi a *ArcHydro*, todavia este complemento deve ser baixado diretamente da página web da ESRI e instalado no aplicativo *ArcGis*. A organização metodológica dos processamentos realizados pelo aplicativo está disposta conforme o fluxograma da Figura 26.

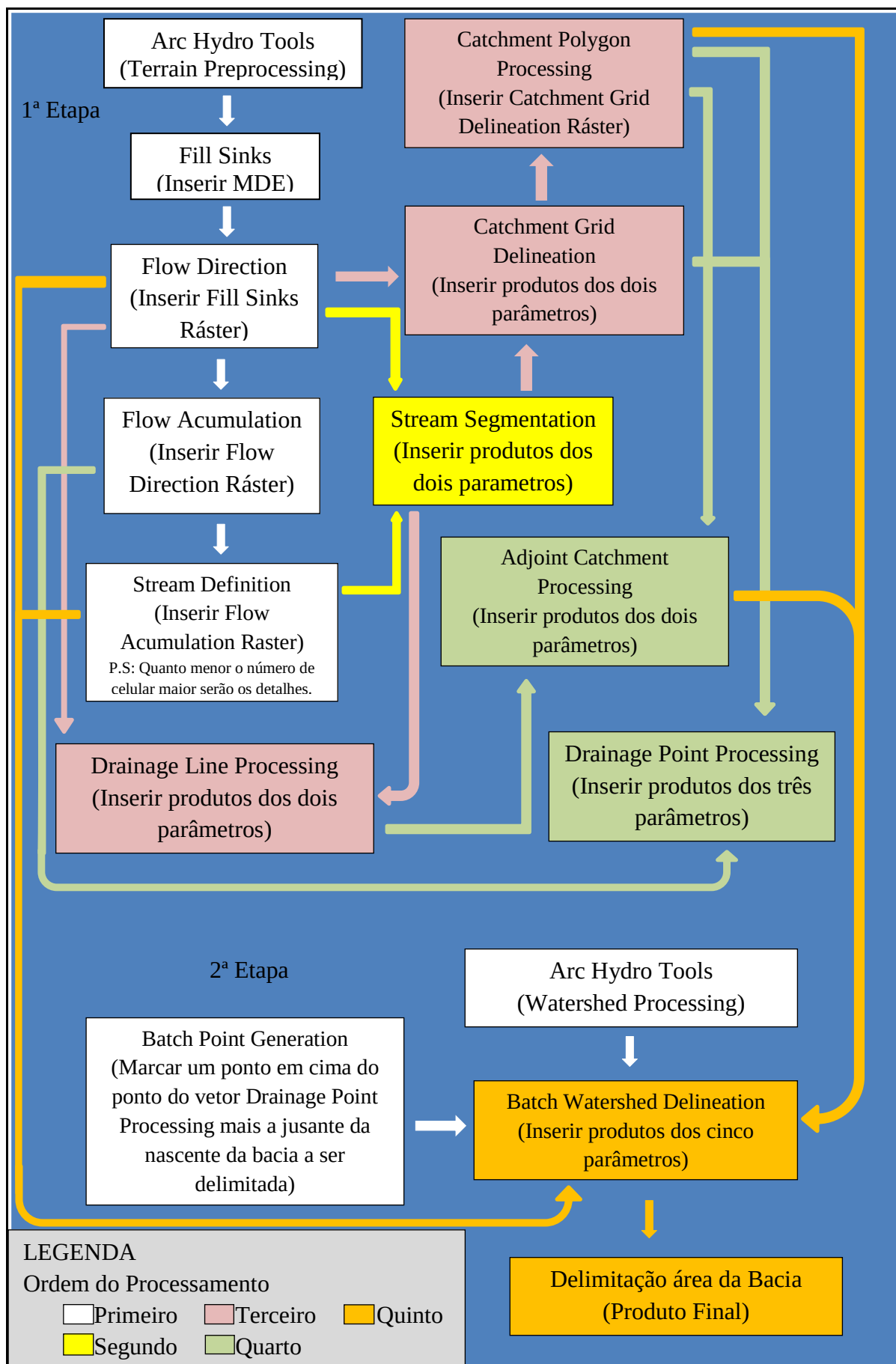
Todo o processamento teve como finalidade a delimitação da área da bacia de forma automatizada, porém varias outras informações também podem ser extraídas, mas o que mais interessa para a pesquisa, além do produto final, é: a rede de drenagem, as informações de área e perímetro e a hierarquização de drenagem.

No parâmetro *Drainage Line Processing* o produto resultante consiste na rede de drenagem, que posteriormente, para fins de apresentação, teve suas curvas suavizadas por meio da ferramenta *Smooth Polyline (Cartography Tools > Generalization)*.

A hierarquização da drenagem foi realizada com a ferramenta *Stream Order (Spatial Analyst Tools > Hydrology)* tomando como arquivo de entrada o *Stream Definition* e o *Flow Direction*, o método de entrada escolhido foi o *Strahler* que se baseia em Strahler (1957)

Para o cálculo de área e perímetro foi utilizada a função *Calcuete Geometry* na tabela de atributos da área delimitada da bacia, os respectivos valores foram de 149,5 km² e 81,5 km. Com estes valores poderemos calcular os demais parâmetros morfométricos.

Figura 26: Fluxograma do processamento no Arc Hydro.

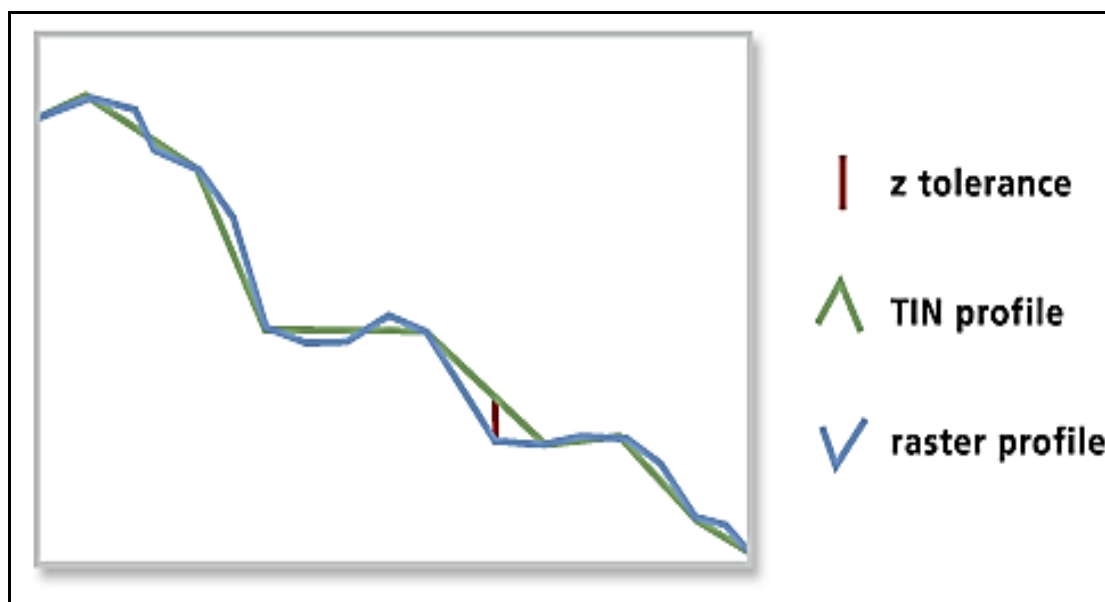


4.2.5.3 TIN (Triangulated Irregular Network)

A Rede de Triângulo Irregular – TIN consiste em um modelo digital de interpolação linear a partir de pontos cotados ou curvas de nível, representando valores de altitude por meio de triângulos em um modelo matemático que atribui triângulos irregulares para cada linha cotada (ESRI, 2015).

Diferentemente do MDT raster o TIN fornece uma representação gráfica do relevo em 3D muito mais realçado e como uma superfície de valores de Z mais contínuas (Figura 27).

Figura 27: Representação em perfil da lógica de criação de um TIN.



Fonte: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/00q90000008r000000/>

Este modelo digital perde algumas informações reais de depressões e saliências do terreno presentes no raster original, todavia fornece mais volume e melhor perspectiva das feições do terreno no momento de uma análise, onde a representação tridimensional apresenta valores de localização (x e y) e de elevação (z) com qualidade suficiente para orientar diversos mapeamentos do relevo, pois também agrega valor de declividade.

Para criação do TIN usou-se das curvas de nível melhoradas como entrada na ferramenta *ArcToolbox > Management > TIN > Create TIN > Layers* (adicionar o *shape* de curvas de nível) > *Output TIN* (selecionar a pasta de destino do novo arquivo)

> Ok, do ArcGis, o resultado foi uma imagem com relevo de contornos abruptos com formas relativamente quadradas.

O aspecto métrico das formas foi suavizado criando um raster de relevo sombreado e sobrepondo-o ao TIN.

4.2.5.4 Declividade

A declividade é uma classe muito importante para o estudo de escoamento superficial por isso foi indispensável a produção de uma carta que representasse este aspecto. Para isto foi utilizada imagem raster da bacia como entrada na ferramenta *Slope* (*ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Raster Surface*) do ArcGis, assim gerando uma carta com graduações de declividade em valores de percentagem.

Segundo a ESRI (2015) esses valores de graduação de declividade podem ser apresentados em graus ou percentagem, mas para fins de padronização de classificação de declividade conforme EMBRAPA (2013) optou-se pelos valores em percentagem.

Os valores de plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado seguiram os seguintes critérios (Tabela 3) de acordo com EMBRAPA (2013, p. 296 - 297):

- ✓ Plano: Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades variáveis de 0% a 3%;
- ✓ Suave ondulado: Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50 m e de 50 m a 100 m, respectivamente), apresentando declives suaves, predominantemente variáveis de 3% a 8%;
- ✓ Ondulado: Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e /ou outeiros, apresentando declives moderados, predominantemente variáveis de 8% a 20%;
- ✓ Forte ondulado: Superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros (elevações de altitudes relativas de 50 m a 100 m e de 100 m a 200 m, respectivamente) e raramente colinas, com declives fortes, predominantemente variáveis de 20% a 45%;

- ✓ Montanhoso: Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes, predominantemente variáveis de 45% a 75%;
- ✓ Escarpado: Áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes e escarpamentos, tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuevas, falésias, vertentes de declives muito fortes, usualmente com declividades superiores a 75%.

Tabela 3: Valores de classes do relevo conforme EMBRAPA (2013).

Classe de Declividade	Valor (%)
Plano	0% - 3%
Suave ondulado	3% - 8%
Ondulado	8% - 20%
Forte ondulado	20% - 45%
Montanhoso	45% - 75%
Escarpado	> 75%

4.2.5.5 Carta geológica

A carta geológica da bacia foi produzida a partir da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (Folha São Luís SA.23) na escala 1:1.000.000, Rodrigues *et al.*(1994), Pereira (2006), Ab'Saber (2004) e Ab'Saber (1960). Já existem documentos com uma descrição e representação geológica muito rica para a Ilha em escalas acima de 1:60.000, porém como a pesquisa em questão trata de um mapeamento em escala de detalhe foi necessário aprofundar a leitura e realizar trabalhos de campo para um melhor detalhamento dos aspectos geológicos da bacia.

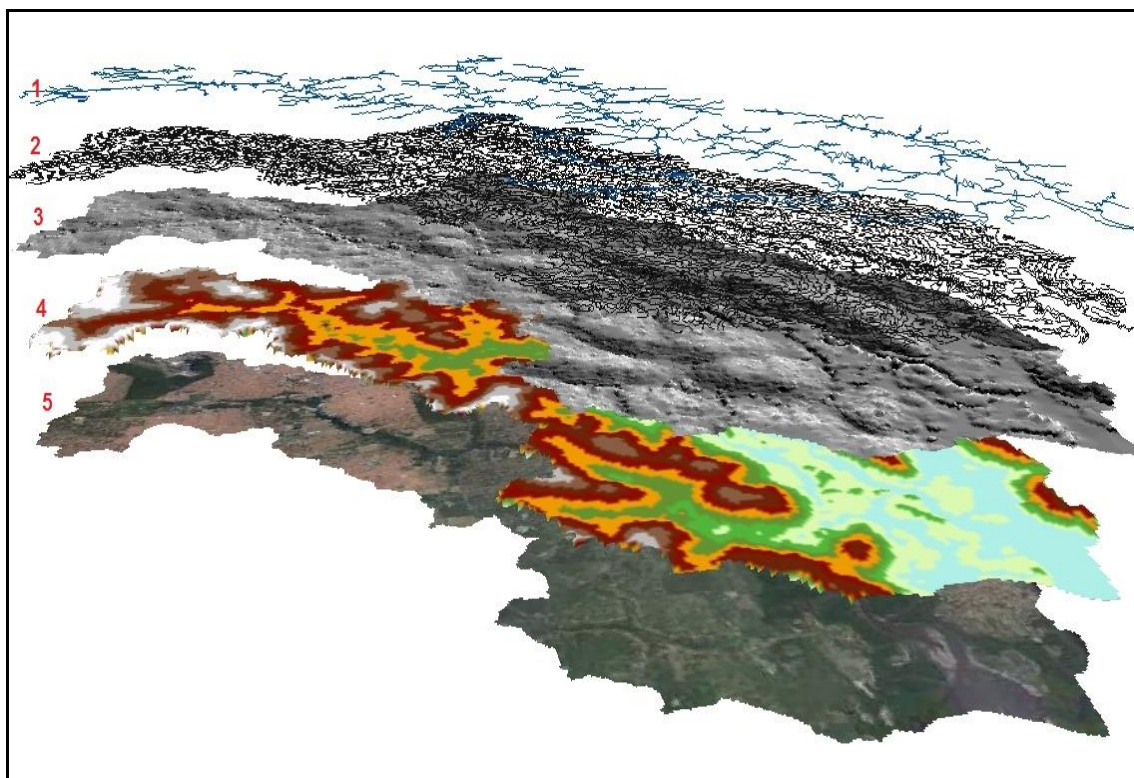
Os procedimentos adotados foram além da revisão bibliográfica e reconhecimento em campo, a observação das unidades de fácies em imagens orbitais multiespectrais e vetorização das mesmas em ambiente SIG tomando como orientação as cotas altimétricas das curvas de nível com intervalo de 5 metros, a rede de drenagem,

o MDT e o relevo sombreado. As análises físicas de solo também forneceram subsídios para a delimitação das unidades de fácies.

Para a elaboração do modelo do relevo sombreado o seguinte procedimento: *ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Raster Surface > Hillshade > Input raster* (adicionar a imagem raster da bacia) > *Output raster* (pasta de destino do arquivo do relevo sombreado) > *Ok*.

Tratou-se de um procedimento minucioso que buscou uma representação gráfica o mais próximo possível da realidade. Fundamentado nas literaturas e observações de campo o mapa foi vetorizado observando-se as características geológicas do terreno sobre a imagem multiespectral, relevo sombreado, MDT, rede de drenagem e curvas de nível conforme demonstra a Figura 28.

Figura 28: Esquema metodológico de vetorização da carta geológica.



1 - Rede de drenagem; 2 - Curvas de nível; 3 - Relevo sombreado; 4 - TIN (MDT); 5 - Imagem multiespectral.

Foram mapeadas duas grandes formações geológicas, a Barreiras e a Açuí, e propostas cinco classes de unidades de fácies para a bacia, a saber: depósito

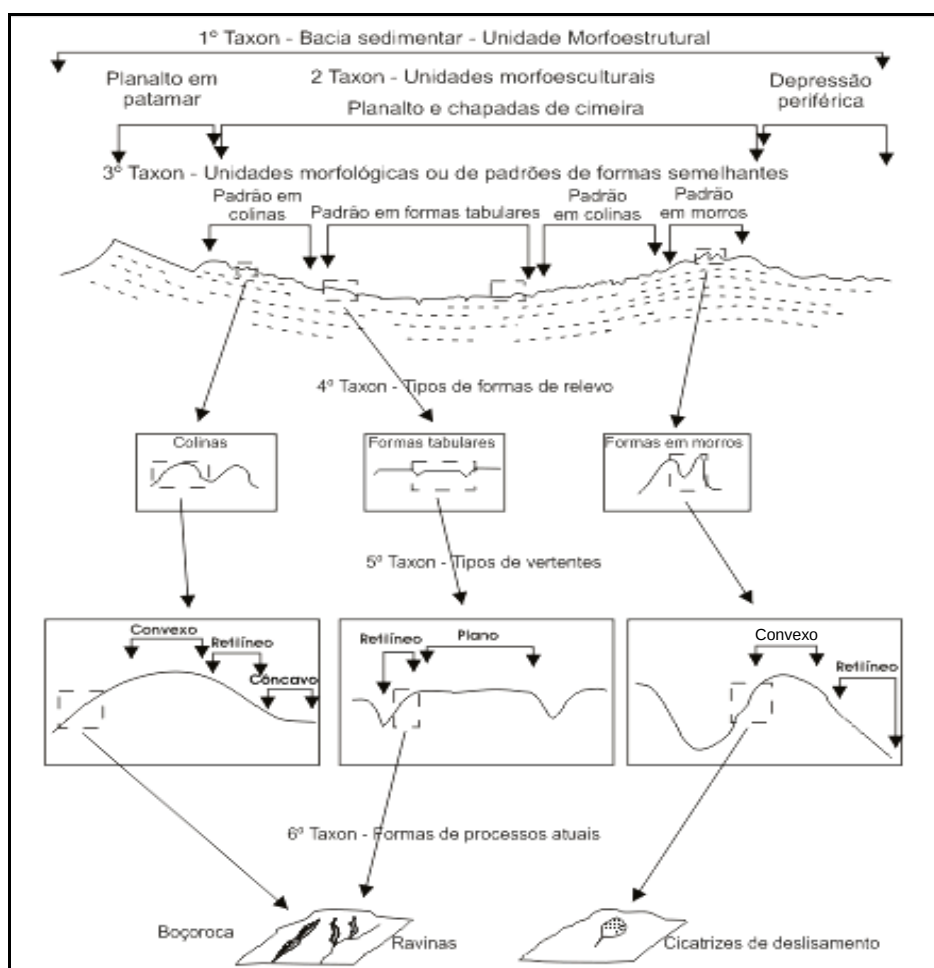
fluviomarinho, depósito de pântanos e mangues, depósito aluvionar, fácies areno-argilosa e fácies arenosa.

4.2.5.6 Carta geomorfológica

A partir da produção da carta geológica foi possível gerar a carta geomorfológica seguindo a proposta de Ross (1992) até a ordem do 5º táxon, salienta-se que por se tratar de uma proposta de mapeamento detalhado foram realizadas algumas adaptações visando melhor atender as necessidades da área estudada.

A proposta de taxonomia do relevo proposta por Ross (1992) consiste em um ordenamento das formas do relevo considerando os processos de estruturação e esculpimento da superfície terrestre em ordem de grandeza dos processos, para tal considerando 6 táxons (Figura 29).

Figura 29: Esquema das 6 unidades taxonômicas propostas por Ross (1992).



Fonte: Ross (1992), com adaptação.

Conforme a referida proposta as classes taxonômicas se baseiam nos seguintes critérios:

- 1º táxon Unidades Morfoestruturais: Corresponde às extensas formas com padrão influenciado por processos geológicos que estruturam a superfície terrestre como, por exemplo, bacias sedimentares e extensos escudos cristalinos;
- 2º táxon Unidades Morfoesculturais: Representa formas menores, porém significativas dentro da morfoescultura como resultado da intervenção climática em escala de tempo geológico, como planaltos, chapadões e depressões;
- 3º táxon Padrões de Formas Semelhantes ou Unidades Morfológicas: Contidas na morfoescultura estas unidades estão ligadas a um padrão de fisionomia topográfica; tais como extensas planícies, tabuleiros, cadeia de colinas;
- 4º táxon Tipos de Formas do Relevo: São as compartimentações individuais das unidades morfológicas do relevo como, por exemplo, colinas e planícies com formas específicas quanto ao processo e origem por aggradação ou denudação;
- 5º táxon Tipos de Vertentes: Representa os tipos de vertentes presentes em cada uma das formas do relevo. Considera os setores de vertentes, quer sejam eles convexos, planos, retilíneos, aguçados, abruptos e côncavos, são dimensões menores do relevo. Assim sendo, são de gênese e idade mais recentes;
- 6º táxon Formas de Processos Atuais: Representa formas de relevo ainda menores, são geradas ao longo das vertentes por processos geomórficos atuais e principalmente por influência antrópica. Compreende as formas de degradação do solo como os sulcos, ravinas, voçorocas, cicatrizes de deslizamentos, que se desenvolvem ao longo por ação das águas pluviais.

Os materiais usados para o mapeamento foram a carta geológica da bacia, modelo TIN, relevo sombreado, curvas de nível, imagens orbitais multiespectrais, fotografias de campo.

A plotagem desta representação foi realizada conforme Silva e Rodrigues (2009) para mapeamento geomorfológico em ambiente SIG, utilizando-se para tal o aplicativo

ArcGis. Este ambiente dispõe de técnicas de processamento digital e estatísticas multivariadas que fornecem uma delimitação mais precisa das formas identificadas.

Segundo Silva e Rodrigues (2009) para o mapeamento geomorfológico se faz necessário que o mapeador possua conhecimento prévio e acumulado acerca dos aspectos referentes a Geologia, bem como os elementos componentes de cada compartimentação litológica.

Os *shapes* de cada uma das unidades geológicas foram agrupados por meio da ferramenta *union*, na tabela de atributos foram organizados os nomes de cada unidade em uma coluna, bem como suas características litológicas em outra. Por tanto, a produção da representação da carta geomorfológica seguiu os seguintes procedimentos:

- ✓ Vetorização das unidades morfoestruturais: Como a área de estudo está situada completamente dentro da Bacia Sedimentar de São Luís e sofre a influência marinha este primeiro táxon correspondeu ao recorte dos *shapes* correspondentes à bacia sedimentar supracitada e ao depósito cenozoico constituído de sedimentos fluviais e fluviomarinhas, por meio do *shape* de Geologia;
- ✓ Vetorização das unidades morfoesculturais: Com o mesmo *Shape* de Geologia utilizado anteriormente foram selecionadas as unidades de formação geológica, visto que as formas esculturais, tabuleiros dissecados e planícies, encontradas na bacia correspondem às mesmas porções das unidades geológicas, Formações Barreiras e Açuí, com o seguinte procedimento:

Clicou-se com o botão direito do mouse sobre o arquivo > *Propierts* > *Simbology* > *Categories* > *Unique Values* > *Value Fild* (escolher valor de unidades de formação geológica do arquivo) > *Add All Values* > *Ok*.

As unidades morfoesculturais identificadas no relevo foram os tabuleiros dissecados (processos denudacionais), muito característicos da Formação Barreiras e o grupo das planícies característico da Formação Açuí (processos agradacionais), segundo Ross (1992) estas formas são resultados de processos climáticos que esculpem o relevo terrestre e que são de idade inferior à morfoestrutural;

- ✓ Delimitação das Unidades de Padrões de Formas Semelhantes ou Unidades Morfológicas: Este táxon também teve sua base no *Shape* de Geologia e

corresponde às classes de unidades de fácies geológicas, as quais são 5, conforme descrito no item 4.2.5.5 Carta geológica. O procedimento para a exposição dessas unidades geológicas foi o mesmo descrito na vetorização das unidades morfoesculturais, escolhendo na opção *Value Field* o valor correspondente;

- ✓ Delimitação das Formas do Relevo: Para este procedimento se fez necessário o *Shape* de curvas de nível, a imagem raster SRTM da bacia e o modelo do relevo sombreado, conforme descrito no 3º parágrafo do item 4.2.5.5 Carta geológica.

O primeiro procedimento desta etapa foi a criação de uma nova imagem raster classificada por meio de classificação automática por máxima verossimilhança da imagem raster SRTM, que consiste em um método que estima parâmetros de um modelo estatístico a partir de um agrupamento de dados de um determinado modelo estatístico e assim estimando valores para os tantos outros parâmetros do modelo. Seguindo o seguinte procedimento:

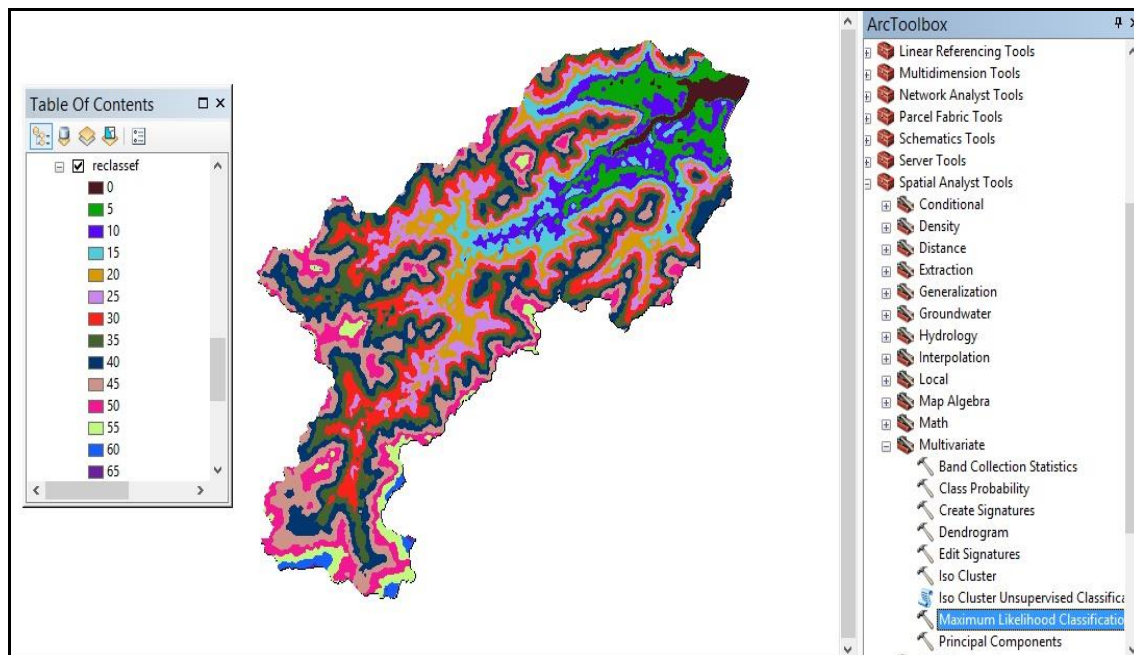
ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Multivariate > Create Signature > Input raster bands (adicionar a imagem raster SRTM) *> Input raster or feature sample data* (adicionar o *shape* de curvas de nível) *> Output signature file* (escolher o local onde será salvo o arquivo e nomeá-lo com o acréscimo do nome do formato GSG) *> Ok*.

O formato do arquivo resultante não é lido pelo aplicativo como qualquer outro que aparece no layout, portanto, não pode ser encontrado diretamente por meio da ferramenta de adição de *layer*, apenas podendo ser lido pela ferramenta *Multivariate* para geração de um novo raster, conforme procedimento descrito abaixo:

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Multivariate > Maximum Likelihood Classification > Input raster bands (adicionar a imagem raster SRTM) *> Input signature file* (adicionar o arquivo GSG, resultante do procedimento anterior) *> Ok*.

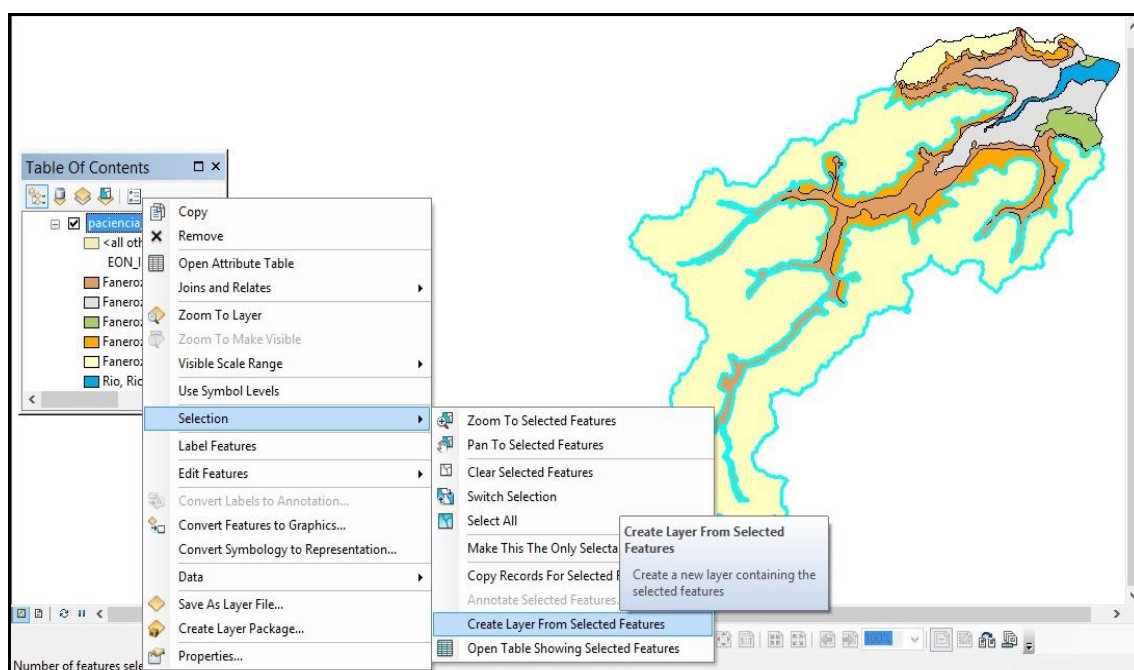
Foi criado um novo raster e adicionado automaticamente ao *layout* conforme demonstra a Figura 30:

Figura 30: Imagem classificada por método de máxima verossimilhança.



Para a separação das unidades do 3º táxon recorremos ao *Shape* de geologia com as unidades de fácies geológicas destacadas, procedeu-se seleccionando cada uma das unidades por vez com a ferramenta *Select Features*, da barra de ferramentas, depois na guia *Layers* clicamos com o botão direito sobre o nome do arquivo > *Selection* > *Create Layer From Selected Features*. (Figura 31)

Figura 31: Procedimento de seleção das unidades morfológicas.



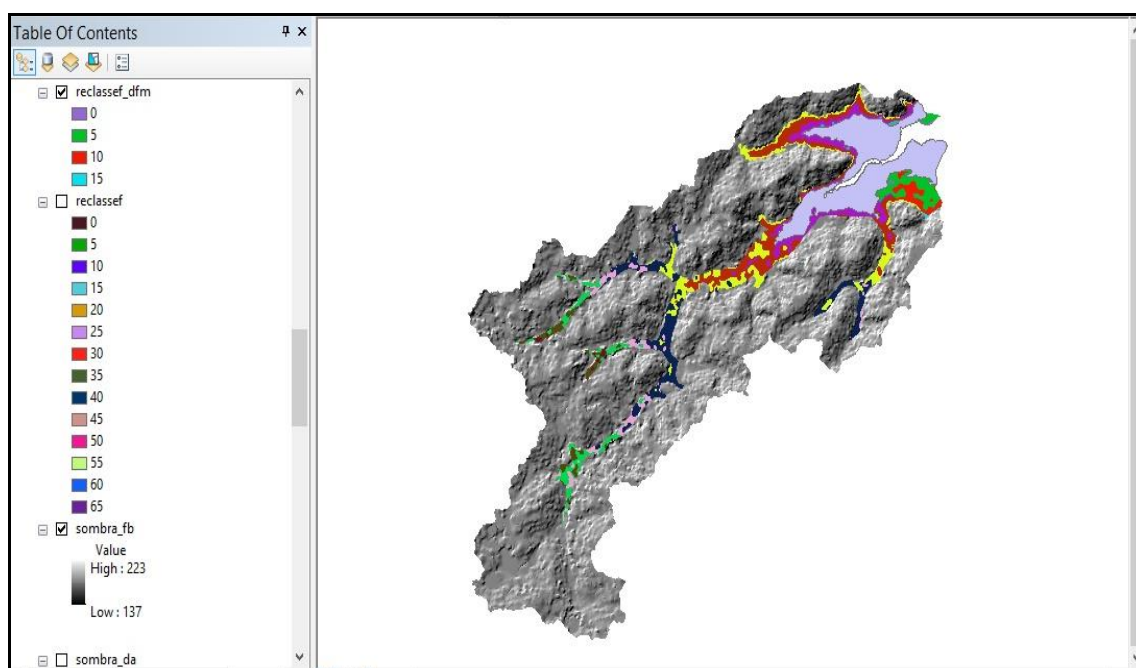
Desta forma a unidade de fácies selecionada foi adicionada a guia Layers como um arquivo temporário, para transforma-lo em um *Shape* individualizado clicou-se em *ArcToolbox > Conversion Tools > To Shapefile > Feature Class to Shapefile > Multiple > Input Features* (adicionar a o arquivo temporário da unidade de fácies selecionada) > *Output Folder* (escolher nome e a pasta de salvamento do arquivo) > *Ok*. Repetiu-se o mesmo procedimento para as demais unidades de fácies presentes no arquivo.

Extraída cada uma das unidades de fácies, em *Shapes* individualizados, o próximo passo foi o recorte da imagem classificada e do modelo do relevo sombreado com base nessas feições, para tal seguindo o seguinte procedimento:

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Extraction > Extract by Mask > Input Raster (adicionar a imagem inteira desejada, quer seja a classificada ou o relevo sombreado) > *Input Raster or Feature* (adicionar o *Shape* da unidade de fácies desejada) > *Output raster* (escolher o nome do arquivo e a pasta de destino) > *Ok*.

Foi realizado o mesmo procedimento de recorte para as duas imagens e com todos os *Shapes* de unidades de fácies geológicas que corresponde ao 3º táxon. (Figura 32)

Figura 32: Imagens e *shape* recortados.

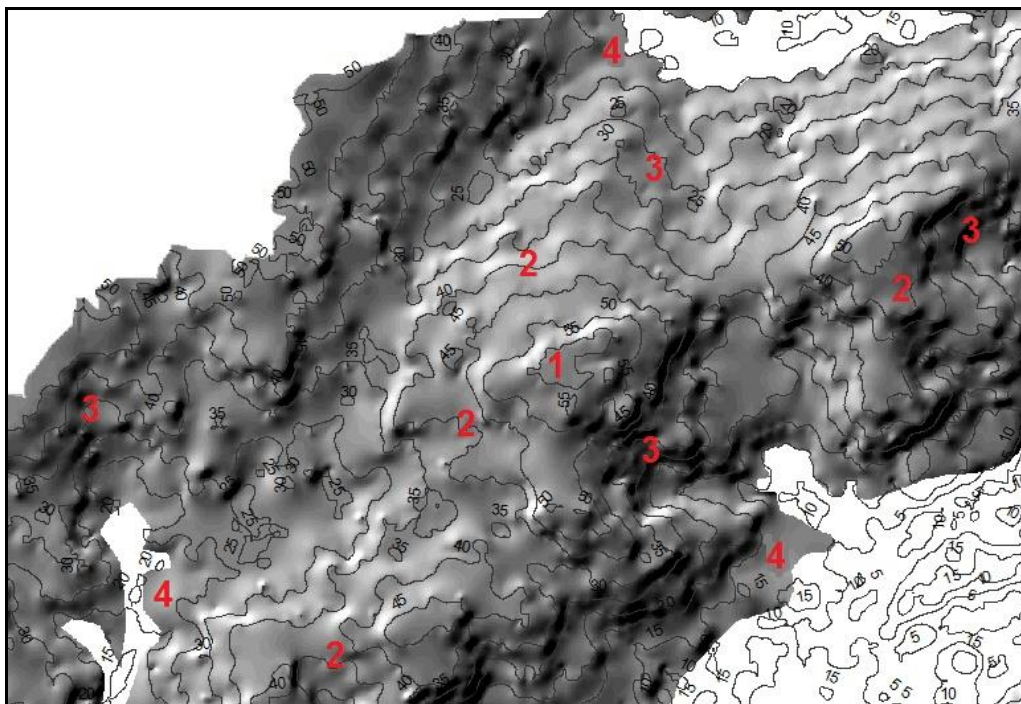


A próxima etapa foi a análise de cada unidade morfológica do 3º táxon para identificação das formas do relevo correspondentes ao 4º táxon. Foi tomado como referencia para a identificação das formas do relevo a diferenciação de sombra e rugosidade da imagem do relevo sombreado e as diferentes cotas altimétrica a partir das curvas de nível (SILVA e RODRIGUES, 2009). Foi um procedimento que exigiu a interpretação visual do mapeador, ainda que muitas feições estivessem bem salientes no relevo.

Esta etapa consistiu na diferenciação das formas do relevo, para isso foram ativadas, no guia *Layers*, somente os recortes da imagem classificada e do relevo sombreado, referentes ao seu *Shape* da unidade de fácies geológica correspondente, com o *Shape* de curvas de nível.

Primeiramente o *Shape* de curvas de nível foi sobreposto ao recorte do relevo sombreado, desta forma foram identificadas as diferenciações de sombra e rugosidade, tendo as curvas de nível como fator delimitador dessas diferenciações (Figura 33).

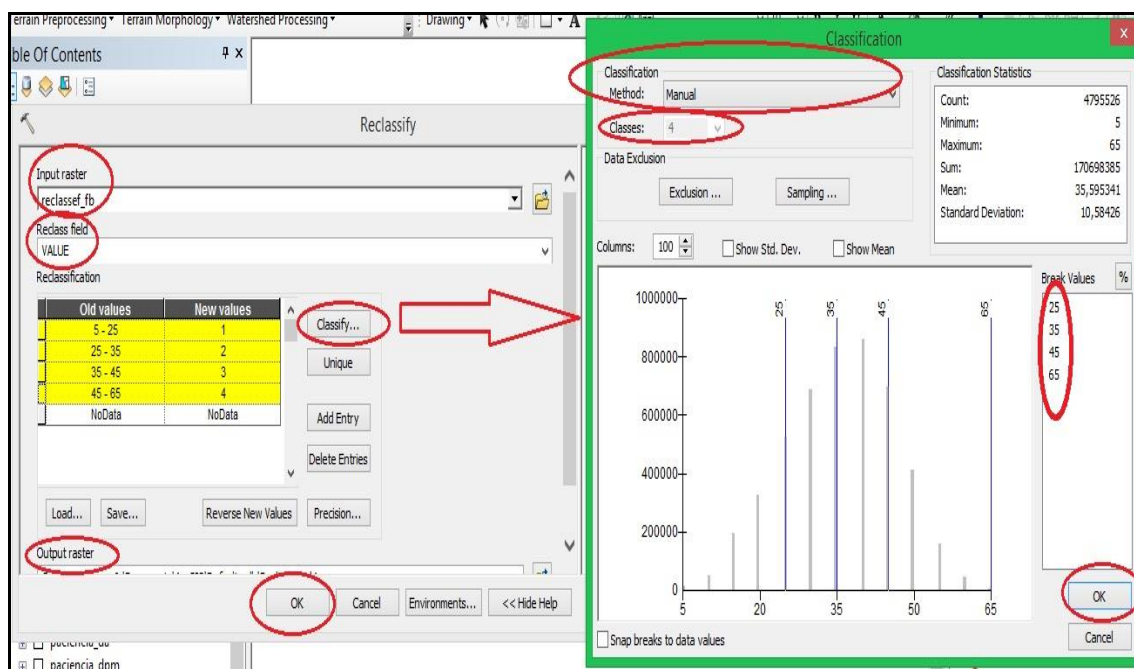
Figura 33: Identificação das diferenciações de sombra e rugosidade.



Cada número correspondeu a uma diferenciação de sombra e rugosidade do relevo em um intervalo de cota altimétrica, as quais foram devidamente anotadas em um bloco de notas. Nesta imagem observa-se 4 diferentes intervalos de cotas altimétricas sendo 4 (5 – 25 metros), 3 (25 – 35 metros), 2 (35 – 45 metros) e 1 (45 – 65 metros).

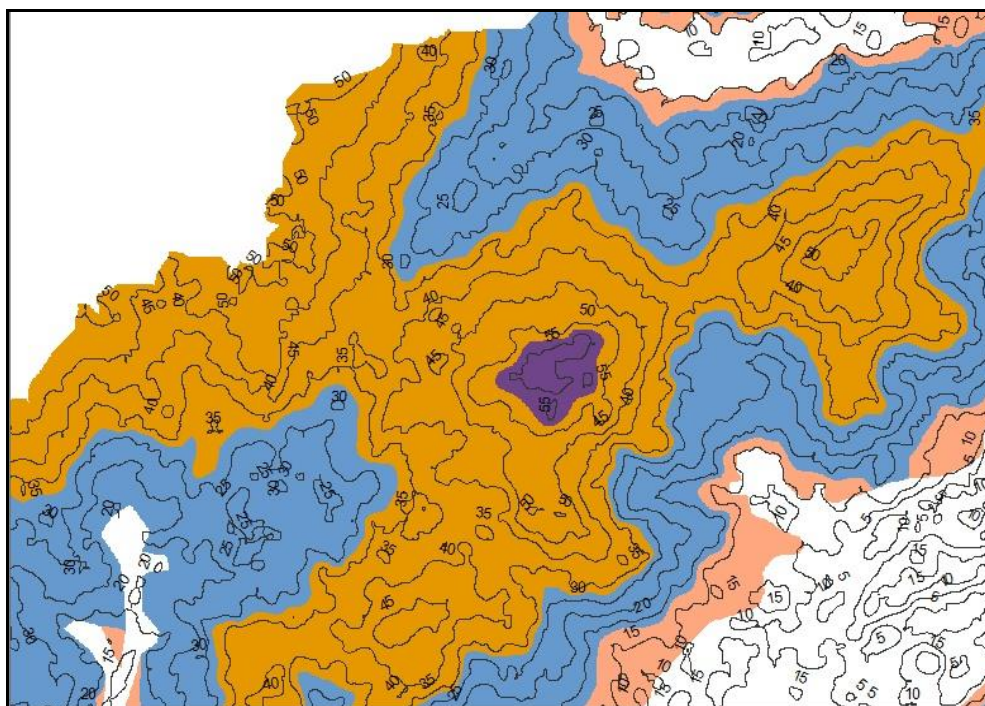
Com 4 classes identificadas na imagem se fez uma reclassificação supervisionada selecionando *3D Analyst Tools > Raster Reclass > Reclassify > Input raster* (adicionar recorte da imagem classificada correspondente ao recorte do relevo sombreado analisado) > *Reclass field* (selecionar a opção *VALUE*) > *Reclassification > Classify > Classification Method* (selecionar *Equal Interval*) > *Classes* (selecionar o número 4, que corresponde as identificações anteriores) > *Classification Method* (selecionar *Manual*) > *Break Values* (Digitar a maior cota de cada uma das classes no valor correspondente > *Ok* > *Output raster* (escolher nome e pasta de destino do arquivo), conforme Figura 34.

Figura 34: Procedimento de reclassificação de imagem.



Este procedimento foi repetido para todos os outros recortes da imagem classificada correspondente a cada unidade de fácies geológica/ 3º táxon. A imagem resultante deste processo é a representada na Figura 35 com as devidas formas expostas após a reclassificação.

Figura 35: Imagem reclassificada contendo as unidades do 4º táxon do relevo.



Portanto, cada forma reclassificada correspondeu ao 4º táxon de formas do relevo proposto por Ross (1992).

A nomenclatura dos táxons foi estabelecida conforme Rodrigues *et al.*(1994), Pereira (2006), Feitosa e Trovão (2006), Silva (2012), Ab'Saber (2004) e Ab'Saber (1960), sendo propostas algumas outras nomenclaturas que não foram contempladas em estudos para a região da Ilha do Maranhão.

Em virtude de sua complexidade o 5º táxon foi representado graficamente em uma carta individual, pois exigiu um procedimento distinto.

4.2.5.7 Carta de Curvatura das Vertentes (5º Táxon)

O 5º táxon, como descrito no item anterior, representa as formas das curvaturas das vertentes. Com base nessa afirmativa utilizamos e adotando a orientação de Florenzano (2008) para análise das curvaturas elaboramos a carta em ambiente SIG do aplicativo ArcGis 10.1.

Em ambiente SIG a partir do arquivo TIN, conforme item 4.2.5.3 TIN (Triangulated Irregular Network), primeiramente foi gerado um arquivo tipo raster

clicando em *Arc Toolbox > 3D Analyst Tools > Conversion > From TIN > TIN to Raster > Input TIN* (adicionar o arquivo TIN desejado) > *Output Raster* (escolher o nome e pasta de destino do arquivo raster) > *Ok*.

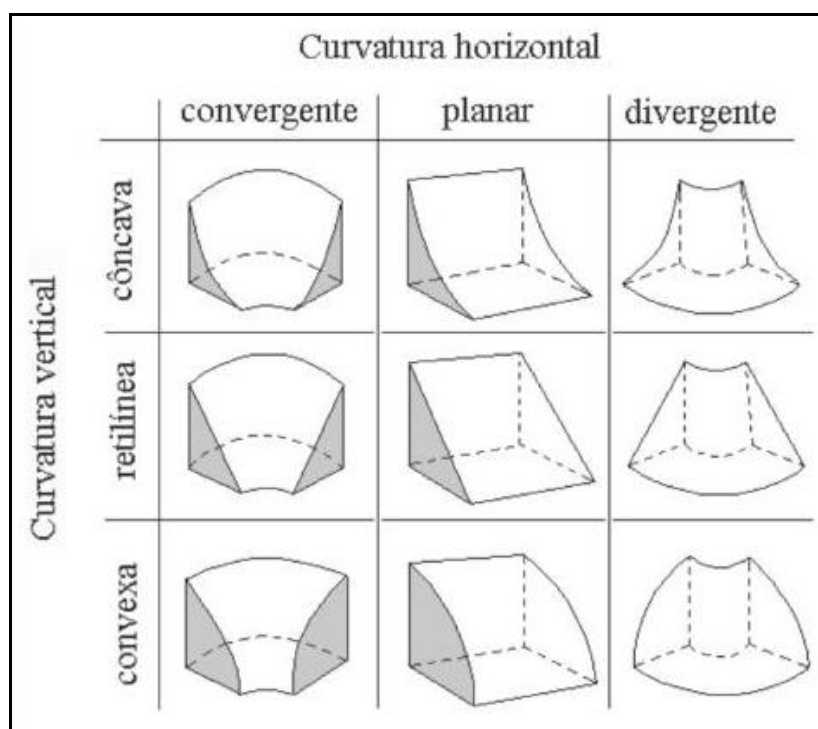
Criado o raster do TIN seguimos no ArcGis clicando em *Arc Toolbox > 3D Analyst Tools > Raster Surface > Curvature > Input raster* (adicionar o raster do TIN) > *Output curvature raster* (escolher o nome e a pasta de destino do arquivo forma das curvaturas das vertentes) > *Output profile curve raster* (escolher nome e a pasta de destino do arquivo curvatura vertical) > *Output plan curve raster* (escolher nome e a pasta de destino do arquivo curvatura horizontal) > *Ok*.

Segundo Florenzano (2008) a forma das curvaturas das vertentes é obtida a partir do cruzamento de dois planos de curvatura, um vertical e outro horizontal. Conforme a autora o plano vertical corresponde às formas côncavas, convexas e retilíneas, por sua vez o plano horizontal corresponde às formas convergentes, divergentes e planares. As formas côncavas e convergentes possuem valor negativo para o descolamento de direção do plano, as formas convexas e divergentes possuem valor positivo para o deslocamento de direção do plano e as formas retilíneas e planares possuem valor de descolamento nulo, ou seja, constante.

A combinação das formas presentes nos dois planos gera a forma geral das curvaturas das vertentes com outras nove compartimentações conforme a Figura 36, as compartimentações são: côncava-convergente, retilínea-convergente, convexa-convergente, côncava-planar, retilínea-planar, convexa-planar, côncava-divergente, retilínea-divergente e convexa-divergente.

Não foi possível representar cada uma das 9 formas na carta por meio do ArcGis, por isso criamos 3 classes de potencial direcional do fluxo do escoamento superficial (Tabela 4) a partir da análise da influencia e agrupamento de cada forma. As formas côncava-convergente, retilínea-convergente e convexa-convergente contribuem para um potencial de concentração de fluxo; as formas côncava-planar, retilínea-planar e convexa-planar contribuem para um potencial unidirecional do fluxo e as formas côncava-divergente, retilínea-divergente e convexa-divergente contribuem para um potencial de dispersão do fluxo.

Figura 36: Formas das curvaturas das vertentes a partir das combinações dos planos vertical e horizontal.



Fonte: Adaptado de Dikau (1990) *Apud* Florenzano (2008).

Tabela 4: Classes de potencial direcional do fluxo do escoamento superficial.

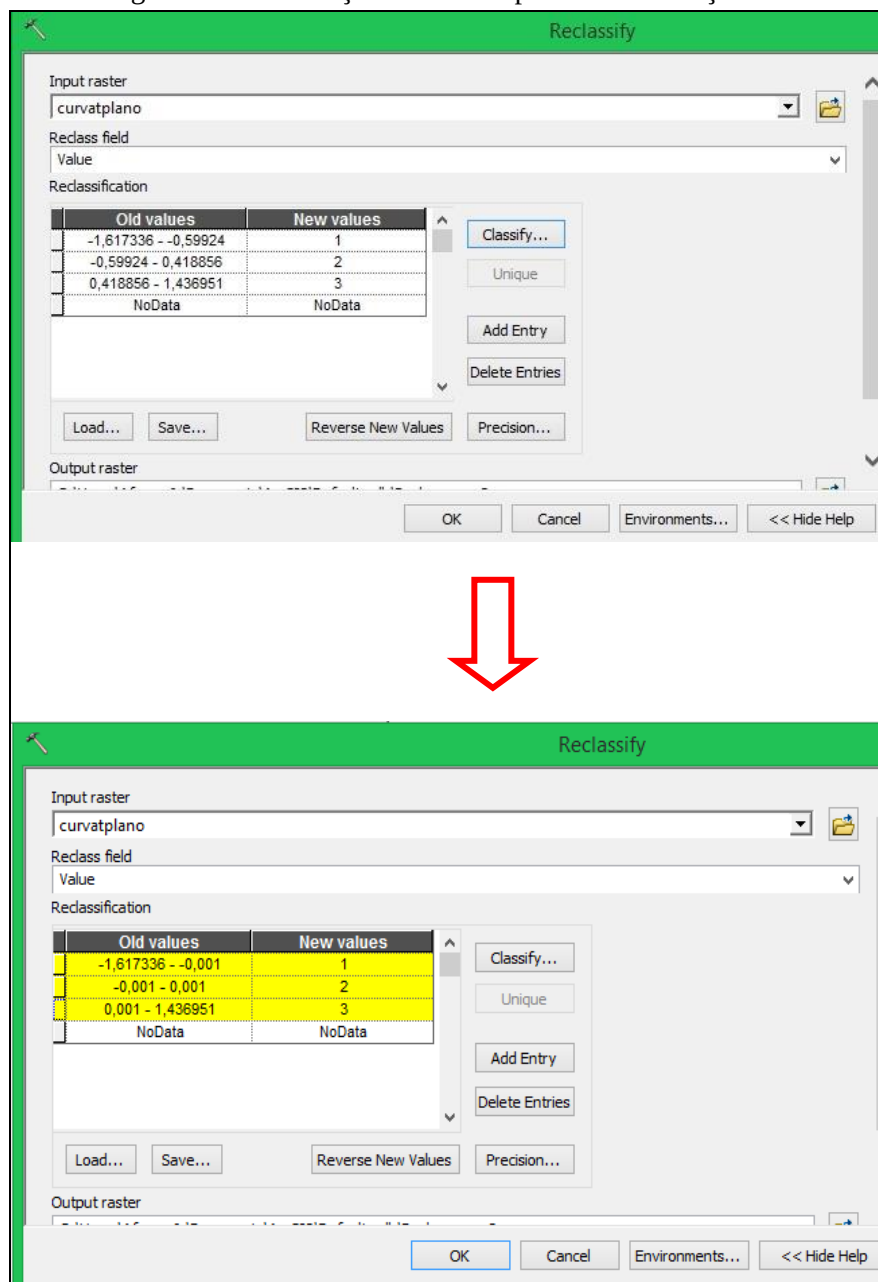
Classes	Valores
Concentração	Negativos (... - -0,001)
Unidirecional	Nulos (-0,001 - 0,001)
Dispersão	Positivos (0,001 - ...)

Após gerar os arquivos rasters de curvaturas se fez necessário a realização de uma reclassificação de imagens considerando os valores para cada classe mencionada acima, para tal procedemos da seguinte forma:

Arc Toolbox > Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify > Input raster (adicionar o arquivo de curvatura) > *Output raster* (escolher nome e pastar de destino do arquivo reclassificado) > *Classify > Method* (escolhere Equal Interval) > *Classes* (escolher o número 3) > *Ok > Reclassification* (realizar a reclassificação trocando os valores de intervalos pelos valores de classes conforme a Tabela 4)(Figura 37) > *Ok*.

A alteração dos valores é realizada para a exibição das classes de intervalos nulos. A homogeneização das informações de curvaturas é dada em função do intervalo de curvas de nível usadas para criação do modelo TIN, para esta carta utilizamos as curvas de nível com intervalos de 10 m porque esta apresentou melhor resposta em relação a fragmentação das forma observadas.

Figura 37: Substituição de valores para reclassificação



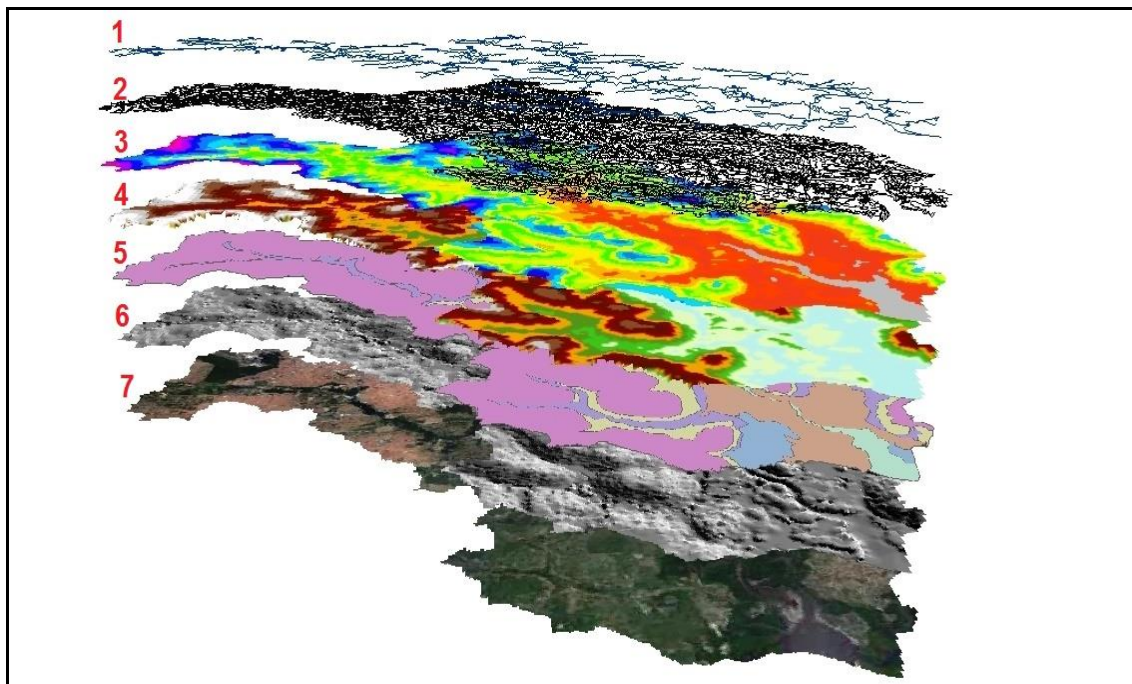
4.2.5.8 Carta de classes texturais

O mapeamento de classes texturais pode ser entendido como o processo que buscou representar espacialmente as características do espectro do tamanho de partículas do solo de uma superfície e/ou profundidade do terreno estudado e avaliar o seu potencial de vulnerabilidade. Para este produto não foram encontradas técnicas de mapeamento que atendessem a necessidade da pesquisa, com procedimentos claros de como especializar as informações dos pontos coletados.

No Laboratório de Geografía Física Aplicada da Universidad Autónoma de Madrid, após várias tentativas mal sucedidas de interpolação para elaboração da carta, pensamos e organizamos um procedimento metodológico que atendesse a necessidade da pesquisa.

Tomando como orientação os indicativos de matérias usados por Nunes *et al.* (2006), na elaboração da carta de variações texturais de latossolo vermelho, elaboramos o mapeamento de classes texturais, também tomando como orientação a metodologia de mapeamento adotada para a carta geológica, desta forma os materiais usados foram: as cartas geológica e geomorfológica da bacia, a rede de drenagem, o modelo TIN, o relevo sombreado, as curvas de nível, imagens orbitais multiespectrais, fotografias de campo e determinação das classes texturais analisada em laboratório e classificadas conforme EMBRAPA (2013). (Figura 38)

Figura 38: Sobreposição de camadas usadas na determinação espacial das classes texturais.



1 – Rede de drenagem, 2 – curvas de nível, 3 – Geomorfologia, 4 – modelo TIN; 5 – Geologia;
6 – modelo sombreado do relevo, 7 – imagem multiespectral.

Este procedimento considerou a percepção, a experiência e o conhecimento da área estudada pelo pesquisador para a realização da interpretação visual do conjunto de materiais adotados, por tanto buscando aproximar-se o máximo possível da realidade através do olhar do mapeador.

A determinação das classes texturais foi realizada conforme descrito no item 4.2.4.3. Dados de granulometria, os valores correspondentes a cada fração granulométrica, das amostras, foram tabelados em planilha do aplicativo *Excel*, posterior a isso foram criadas duas colunas (X e Y) e adicionadas as coordenadas geográficas de cada ponto onde foram coletadas as amostras (Figura 39). Esses dados foram importados para o aplicativo *ArcGis* clicando, na barra fixa, em *File > Add Data > Add XY Data > Choose a table from the map or browse for another table* (escolher o arquivo que contém os dados tabelados e georreferenciados) > (escolher a planilha desejada) > *Edit* (escolher o sistema de coordenadas, o mesmo usado no GPS quando se fez o georreferenciamento dos pontos) > *Ok*. Será criado um *Shapefile* de pontos, como trata-se de um arquivo provisório tivemos que criar um arquivo permanente, indo até a tabela de conteúdos e clicando sobre o nome do arquivo provisório com o botão direito

do mouse > *Data* > *Export Data* > *Output Features Class* (escolher nome e a pasta de destino) > *Ok*.

Para o processamento dessas informações optou-se pela interpretação visual dos arquivos devido à técnica de modelagem de interpolação do vizinho mais próximo suprimir informações e limitações importantes que o relevo impõe no processo de acomodação dos materiais sedimentares. Destaca-se este procedimento de interpretação visual consiste em um trabalho de vetorização manual dentro do ambiente SIG e que, portanto, demandou um longo tempo de produção.

Os *Shapefiles* de polígonos criados visualmente para cada classe textural seguiu o princípio da Primeira Lei de Geografia de Tobler que diz que tudo se relaciona com tudo, porém as unidades de análise mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais afastadas (TOBLER, 1970).

Embasado neste princípio os vetores foram traçados a partir das curvas de nível considerando a apreciação dos materiais já descritos. Portanto foram produzidas três cartas conforme os três níveis de profundidade de coleta de solos; em 20 cm, 40 cm e 60 cm. As classes mapeadas, baseadas nos critérios de EMBRAPA (2013), foram: Argilosa, Arenosa Media, Media Siltosa, Media Argilosa, Media Arenosa, Muito Arenosa.

Figura 39: Planilha de dados granulométricos com seus respectivos pontos georreferenciados.

sedimentos3 [Modo de Compatibilidade] - Microsoft Excel

Arquivo Página Inicial Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibição Design

Colar Fonte Alinhamento Número Estilo Células Edição

Área de Tran... Fonte Alinhamento Número Estilo Células Edição

F12

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Amostra	X	Y	argila	areia	silte	total	textura								
2	T-01-20	586104	9712847	10,8667	79,3407	9,7927	100	MÉDIA-ARENOSA								
3																
4	T-02-20	589787	9713751	6,3000	85,8375	7,8625	100	ARENOSA-MÉDIA								
5																
6	T-03-20	586676	9716268	5,9000	79,5570	14,5430	100	ARENOSA-MÉDIA								
7																
8	T-04-20	589419	9715795	10,2000	83,2280	6,5720	100	ARENOSA-MÉDIA								
9																
10																
11	T-05-20	588401	9719204	18,0000	71,3425	10,6575	100	MÉDIA-ARENOSA								
12																
13																
14	T-06-20	589422	9722548	12,2000	85,1440	2,6560	100	ARENOSA-MÉDIA								
15																
16																
17	T-07-20	585968	9723400	9,3333	84,0260	6,6407	100	ARENOSA-MÉDIA								
18																
19	T-08-20	594597	9721181	6,1000	82,7425	11,1575	100	ARENOSA-MÉDIA								
20																
21																
22	T-09-20	594810	9726550	3,4000	95,8420	0,7580	100	MUITO ARENOSA								
23																
24																
25	T-10-20	599604	9721540	7,1000	86,1145	6,7855	100	ARENOSA-MÉDIA								
26																
27																
28	T-11-20	596834	9723062	8,5333	87,0043	4,4623	100	ARENOSA-MÉDIA								
29																
30																

densi-TOPO-20 densi-TOPO-40 densi-ENCOSTA-20 densi-ENCOSTA-40 densi-BASE-20 densi-BASE-40

Pronto

100%

POR 23:09
PTB 20/09/2015

Os valores e as classes para as áreas de influencia de maré, na foz do Rio Paciência, foram coletadas somente na profundidade de 20 cm e reproduzidos para os mapeamentos de 40 e 60 cm em virtude da dificuldade de abrir um perfil em terreno instável e pelo mesmo apresentar poucas variações texturais observáveis.

4.2.5.9 Susceptibilidade à infiltração

Com dados de infiltração mensurados em campo e tratados foi possível elaborar a carta de susceptibilidade à infiltração de água no solo da bacia.

Foi gerada uma modelagem do tipo krigagem optando pelo modelo exponencial de estimativa matemática, pois foi o que melhor respondeu o resultado observado em campo, este modelo de semivariograma é usado para determinar se existe alguma correlação entre dois pontos amostrais representando fenômenos contínuos e não diferentes, esse semivariograma se expande conforme a distância entre os pontos até chegar a um estágio em que se estabiliza adotando o valor de variância média.

Segundo a ESRI (2015) Krigagem é um procedimento geoestatístico avançado que gera uma superfície estimada a partir de um conjunto de pontos dispersados com valores Z. Para o resultado de cada ponto foi atribuída uma classificação de infiltração básica conforme Reichardt (1990) e posteriormente determinado valores de interpolação com pesos numerais (Figura 39) para estas classes, desta forma podendo ser reconhecidas no processo de modelagem da ferramenta *Kriging* do *ArcGis*.

Os dados foram tabelados na planilha do aplicativo *Excel* com adição de duas colunas (X e Y) com as coordenadas geográficas dos pontos de ensaio de infiltração. A importação dessa planilha para o ambiente SIG ocorreu seguindo o mesmo procedimento adotado no item anterior, 4.2.5.8 Carta de classes texturais, para a importação de dados com pontos georreferenciados.

Já com os dados de infiltração importados realizamos a interpolação espacial desses dados, adotando o seguinte procedimento:

Arc Toolbox > Spatial Analyst Tools > Interpolation > Kriging > Input point features > Z value field (escolher a entrada com os valores de interpolação atribuídos) > *Output surface raster* (escolher o nome e pasta de destino) > *Semivariogram model* (escolher Exponential) > *Ok*.

Figura 40: Valores de interpolação atribuídos em destaque na cor azul.

infiltração paciência - Microsoft Excel

Arquivo Página Inicial Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibição

Calibri 11 A A Quebrar Texto Automaticamente Geral

Colar N I S Fonte Alinhamento Número Estilo Células Edição

Formatação Condicional Formatar como Tabela Estilos de Célula Inserir Excluir Formatar Preencher Limpar Classificar e Filtrar Localizar e Selecionar

E1 VALOR INTERPOLAÇÃO

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
	AMOSTRA	X	Y	VALOR DE INFILTRAÇÃO	VALOR INTERPOLAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO											
1	B-02	587613	9715202	0,3	1	BAIXO											
2	B-04	589368	9718266	1,8	3	ALTO											
3	B-05	591140	9720714	1,3	2	MÉDIO											
4	B-06	590098	9721618	2,5	3	ALTO											
5	B-07	589229	9723744	0,3	1	BAIXO											
6	B-08	592677	9723558	2,6	3	ALTO											
7	B-09	596264	9725774	1,7	3	ALTO											
8	B-10	600559	9727122	0,2	1	BAIXO											
9	B-11	599641	9724908	1,3	2	MÉDIO											
10	B-12	600587	9728953	2,4	3	ALTO											
11	E-01	586104	9712847	0,6	2	MÉDIO											
12	E-02	588276	9713390	1,3	2	MÉDIO											
13	E-04	588175	9716200	0,6	2	MÉDIO											
14	E-05	589026	9719330	0,3	1	BAIXO											
15	E-06	589936	9723080	2,5	3	ALTO											
16	E-07	587710	9723210	0,4	1	BAIXO											
17	E-08	591953	9722204	1,1	2	MÉDIO											
18	E-09	595685	9725538	1,1	2	MÉDIO											
19	E-10	600137	9724540	2,6	3	ALTO											
20	E-11	598705	9723594	1,8	3	ALTO											
21	E-12	600249	9729517	0,2	1	BAIXO											
22	T-01	586104	9712847	0,5	1	BAIXO											
23	T-02	589787	9713751	1,1	2	MÉDIO											
24	T-03	586676	9716268	1,2	2	MÉDIO											

Pronto Média: 2,090909091 Contagem: 34 Soma: 69 100%

POR 01:03
PTB 21/09/2015

O resultado deste processo é o modelo de susceptibilidade à infiltração de água no solo que indiretamente fornece informações acerca do escoamento superficial para a Bacia do Rio Paciência.

4.2.5.10 Uso e cobertura da terra

As cartas de uso e cobertura da terra foram elaboradas em ambiente SIG utilizando processos de segmentação e classificação supervisionada a partir de imagens dos satélites Landsat 5 e 8 conforme as referências de data, resolução e órbita-ponto apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Imagens de satélites utilizadas neste trabalho.

Data	Sensor/Satélite	Bandas	Resolução espacial	Órbita-ponto
20/06/1984	TM/Landsat 5	5, 4 e 3	30 metros	220-62
03/06/1995	TM/Landsat 5	5, 4 e 3	30 metros	220-62
11/06/2004	TM/Landsat 5	5, 4 e 3	30 metros	220-62
15/08/2010	TM/Landsat 5	5, 4 e 3	30 metros	220-62
20/6/2014	OLI/Landsat 8	6, 5 e 4	30 metros	220-62

O pré-processamento das imagens foi iniciado com a correção geométrica, efetuando para cada cena o seu registro pelo método de reamostragem do vizinho mais próximo a partir do Geocover GLS-Landsat 2005 com um erro médio quadrático (RMS) de 0,5 pixel, obtido junto ao catálogo de imagens do INPE³. Criou-se então, a composição (RGB) falsa cor com as bandas do (R) infravermelho médio (1,55 - 1,75 um), (G) infravermelho termal (10,4 - 12,5 um) e (B) vermelho (0,63 – 0,69 um).

Com as imagens prontas, partiu-se para o processamento a fim de elaborar os mapas históricos de uso e cobertura da terra. O primeiro processo desenvolvido foi o de segmentação, tendo por objetivo fragmentar a imagem em regiões e unidades homogêneas, considerando algumas das características elementares do sensoriamento remoto como, por exemplo, o nível de cinza dos pixels, textura e contraste (COUTINHO, 1997).

³ <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>

Os valores a serem fixados para a segmentação de cada imagem são variáveis, dependendo, sobretudo, dos padrões de repartição espacial dos objetos de cada área e também do grau de generalização ou detalhamento necessário a cada estudo. Portanto, para esta pesquisa foram realizadas várias tentativas e aproximações, até que se obteve um padrão de segmentação adequado à área em questão.

Com as imagens fragmentadas foi feita a classificação supervisionada. De acordo com as características detectadas foram criadas as classes de uso e cobertura da terra e realizou a aquisição de amostras e agrupamento de segmentações semelhantes, visando aperfeiçoar o mapeamento final. Destaca-se a preocupação em envolver as mais variadas formas de ocorrência de cada amostra de classe, além da aquisição distribuída em toda a imagem. Por fim, com as amostras fornecidas, foi então realizada a classificação de todos os polígonos das imagens.

4.2.5.11 Elaboração da carta do potencial de escoamento superficial

A elaboração da carta do potencial de escoamento superficial para a Bacia do Rio Paciência foi realizada tomando como base o mesmo tipo de estudo realizado por Zuquette e Gondolfi (2004) para a região de Piracicaba – SP, todavia foram adotadas algumas adaptações visto que as duas áreas (a de aplicação, no Maranhão, e a que foi tomada como base, em São Paulo), possuem diferenças significativas nos aspectos físicos, como por exemplo, Geologia e declividade; e de dinâmica territorial, como por exemplo, a urbanização.

Foram considerados 7 atributos levantados, a saber: uso e cobertura da terra, textura do solo, Geologia, permeabilidade, curvatura das vertentes, declividade e densidade de drenagem. Esses atributos foram organizados conforme exposto no quadro de pontuação, no item 7 **CARTA DO ZONEAMENTO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL**, e analisados conforme o método de Cook, [...] que atribui pesos aos atributos, tanto maiores quanto maior for a sua influencia no processo de escoamento superficial (ZUQUETTE e GONDOLFI, 2004, p. 152). Este método de atribuição de pontos é muito subjetivo e dependente da experiência do mapeador, mas apresenta um resultado satisfatório visto que a análise não é feita por percentagem de influência, mas por potencial de influência da compartimentação da área de estudo no escoamento superficial.

O quadro de pontuação foi organizado seguindo o procedimento de análise anteriormente mencionado, desta forma o atributo com maior influência no escoamento superficial, para a área de estudo, foi o de uso e cobertura da terra, portanto recebendo a maior pontuação dentre os demais atributos. A metodologia completa de organização obedeceu aos seguintes procedimentos:

- ✓ **1º:** Analisou-se a variação de cada atributo na área estudada;
- ✓ **2º:** Para cada atributo, de acordo com sua variação, estabeleceu-se classes de comportamento semelhante quanto ao escoamento superficial;
- ✓ **3º:** Considerando ainda cada atributo isoladamente, dispuseram-se as classes em ordem crescente quanto ao seu potencial de escoamento superficial;
- ✓ **4º:** Análise do conjunto obtido pela associação das classes de menor potencial ao escoamento de cada atributo. Em seguida, atribuiu-se uma pontuação a cada uma dessas classes, tanto maior quanto maior a importância de cada atributo em relação aos demais, de mínimo potencial do escoamento da bacia;
- ✓ **5º:** Verificou-se qual o atributo que apresentava o maior número de classes de escoamento definidas no 2º procedimento e, a partir da pontuação mínima definida no 4º procedimento, estabeleceu-se o número e pontos das demais classes deste atributo. Deve-se conceder o maior número de pontos de acordo com o aumento da influência no processo de escoamento com a variação do atributo considerado. Por exemplo, a classe de uso e cobertura da terra “área urbana” recebeu maior pontuação que a “vegetação mista”;
- ✓ **6º:** Analisou-se o conjunto que define a condição de maior potencial do escoamento superficial na bacia, representado pela associação de todas as classes de maior potencial estabelecidas no 3º procedimento, para cada atributo. A partir do número de pontos da classe de maior potencial de escoamento do atributo, analisado no 5º procedimento, atribuiu-se pontos às classes dos demais atributos, de maneira a refletir a importância de cada um nesta situação de alto potencial de escoamento superficial;
- ✓ **7º:** Estabelecida a pontuação mínima e máxima para cada atributo, procedeu-se à atribuição de pontos para as classes intermediárias, considerando novamente a influência que a variação do atributo ocasiona no processo de escoamento superficial.

A pontuação estabelecida para cada atributo seguiu, como já mencionado, a influência de cada classe, conforme as cartas elaboradas, no escoamento superficial, obedecendo aos critérios descritos a seguir:

- ✓ Uso e cobertura da terra: Foi o atributo considerado com maior influência sobre o escoamento superficial, isso quer dizer que, em uma análise comparativa com os demais atributos este é o que tem maior potencialidade no processo de escoamento (Tabela 6). Sendo assim a classe área urbana recebeu 95 pontos, isso se justifica devido à sua característica de predominância da impermeabilização do solo por materiais construídos (ruas, avenidas, casas, edifícios etc...). Esta condição potencializa o escoamento superficial na medida em que a água que não infiltra no solo alimenta o fluxo de escoamento laminar, em evento de forte precipitação pluvial as ruas assumem o papel de redes de drenagem que escoam um volume maior do que o mesmo terreno escoaria em condições normais. Outra justificativa para esta pontuação é que estas áreas ocorrem principalmente nas cabeceiras de drenagem, e neste caso a declividade potencializa ainda mais, e ao fato de dela representar mais de 47,58% da área total da bacia, conforme os cálculos de área, bem superior ao valor individualizado das demais classes.

A classe que recebeu a segunda maior pontuação foi a de solo exposto, 65 pontos e corresponde a 1,50% da área total da bacia, a exposição do solo a condicionantes intempéries pode criar uma capa, nas superfícies com presença de material argiloso, mais resistente à infiltração de água no solo, por suposto, a ausência ou inexpressividade de cobertura vegetal representa um potencial para o escoamento na media que se não se tem obstáculos naturais que segurem por mais tempo a água em um ponto para que haja a infiltração, e consequentemente retarde a sua movimentação.

A classe manguezal representa 6,89% da área total da bacia e recebeu 50 pontos, uma pontuação média que se justifica por estar em áreas menos declivosas, mas com saturação hídrica extremamente alta e composta por espectros de tamanho de partículas, essencialmente, argilosos e siltosos, essas condições sobrepõe o escoamento em ralação à infiltração.

A mata ciliar, com 4,26% da área total da bacia, recebeu o valor 20 de pontuação. De modo geral esta classe já possui naturalmente a função de proteção dos cursos d'água, e no caso do escoamento superficial assume o papel de barreira do fluxo laminar com sua vegetação mais densa e baixa declividade.

A classe de vegetação mista corresponde a 37,37% da área total da bacia e recebeu o valor 15 de pontuação por se configurar como um obstáculo natural de contenção do escoamento superficial, composta por uma variedade de vegetação densa e rala, primária e secundária que ainda protege o solo das ações diretas da meteorização e da ação humana, esta classe é responsável pela predominância da infiltração de água no solo, reverberando em menos escoamento superficial.

A classe água recebeu 10 pontos e representa 2,37% da área total da bacia compreendendo a região da foz do Rio Paciência, por influência da constante amplitude marítima a está área possuem também um constante processo de escoamento, portanto o volume que chega ao exutório segue um processo natural, sem causar danos, exceto quando há um volume muito alto da vazão da bacia combinada a um estado de maré alta.

Tabela 6: Síntese da atribuição de pontos para uso e cobertura da terra.

CLASSE	PONTUAÇÃO
Área Urbana	95
Solo Exposto	65
Manguezal	50
Mata Ciliar	20
Vegetação Mista	15
Água	10

- ✓ Textura do Solo: Este atributo também possui uma influencia muito grande sobre o escoamento superficial, para ele as pontuações foram atribuídas considerando as características físicas de cada uma das classes, conforme descrito no item 4.2.4.3, sabendo que a influência sob o escoamento superficial aumenta tanto

quanto menor for a predominância do espectro de tamanho de partícula (Tabela 7).

As classes deste atributo são: argilosa, média argilosa, média siltosa, média arenosa, arenosa média e muito arenosa; e seus valores de pontuação foram 60, 50, 40, 30, 20 e 10 respectivamente.

Tabela 7: Síntese da atribuição de pontos para textura do solo.

CLASSE	PONTUAÇÃO
Argilosa	60
Média Argilosa	50
Média Siltosa	40
Média Arenosa	30
Arenosa Média	20
Muito Arenosa	10

- ✓ Geologia: Este atributo considerou as litologias das Formações Barreiras e Açuí (Tabela 8). A fácies sedimentar arenoargilosa pertencente à Formação Barreiras, tem como característica os siltitos maciços e material arenoso inconsolidado, podendo haver presença de afloramento de laterítas em alguns pontos; por ser constituída de material menos susceptível à infiltração e ocorrer em zonas mais declivosas, recebeu peso de 50 pontos. O depósito de pântanos e mangues pertence à Formação Açuí, tem como características os sedimentos pelíticos, do tipo argila e silte, originados de processos fluviomarinhos, é constantemente inundado pela amplitude da maré, portanto, é bem saturado e desta forma recebeu 35 pontos na influência do potencial de escoamento superficial. A facies sedimentar arenosa pertence à Formação Barreiras, tem como característica os arenitos e material arenoso inconsolidado, é uma litologia muito porosa e predominante na bacia, porém, devido ao grande adensamento urbano que incide diretamente sobre a densidade do solo, impermeabilizando as profundidades mais superficiais, esta classe perde um pouco da capacidade de infiltração de água, desta forma recebendo um peso de 25 pontos de influência no escoamento superficial. O depósito aluvionar pertence à formação Açuí, tem como

características a deposição de sedimentos detríticos resultantes dos processos dos rios atuais nos canais fluviais. Esses sedimentos são mais arenosos, porém excessivamente úmidos, foi atribuído 20 pontos devido a esta classe atingir rapidamente o seu ponto excedente de infiltração e por assumir uma declividade crescente desde o alto curso da bacia até o baixo curso. O depósito fluviomarinho pertence à Formação Açuí, é caracterizado por sedimentação das áreas mais baixas da bacia decorrentes da combinação de processos fluviais e marinhos, é periodicamente inundado pela maré alta e sua forma plana atua como um estagnador do fluxo de escoamento, ou seja, mesmo sendo zona relativamente úmida é propensa á infiltração de água no solo, por isto recebeu 15 pontos.

Tabela 8: Síntese da atribuição de pontos para Geologia.

CLASSE	PONTUAÇÃO
Fácies Arenoargilosa	50
Depósito de Pântanos e Mangues	35
Facies Arenosa	25
Depósito Aluvionar	20
Depósito Fluviomarinho	15

- ✓ Permeabilidade: Este atributo analisou a condutividade hidráulica do solo saturado a classificou em 3 potencialidades (Tabela 9) conforme a proposta de Reichardt (1990). Sabendo que os processos de infiltração de água no solo e escoamento superficial são inversamente proporcionais, a pontuação das classes desse atributo foram maiores quanto menor o seu potencial de infiltração. A classe de baixo potencial recebeu 40 pontos, a classe de médio potencial recebeu 30 pontos e classe de alto potencial recebeu 20 pontos.

Tabela 9: Síntese da atribuição de pontos para permeabilidade.

CLASSE	PONTUAÇÃO
Baixo Potencial	40
Médio Potencial	30
Alto Potencial	20

- ✓ Curvatura das Vertentes: Este atributo mostra o potencial exercido pela morfologia do terreno no escoamento superficial, conforme o item 4.2.5.7. Com base no mapeamento realizado foram estabelecidas 3 classes considerando o potencial de agrupamento das formas (Tabela 10). A classe de concentração do fluxo foi a que recebeu maior pontuação, 40 pontos. Ela tem por função drenar o fluxo de área maior e concentrá-lo em uma área menor do exutório, associado à ação da gravidade pode reverberar em um potencial de escoamento muito alto. A classe de fluxo unilateral recebeu uma pontuação média, 30 pontos, por manter um ângulo constante do seu eixo a velocidade do fluxo que parte do ponto “A” ao ponto “B” também se mantém constante. A classe de dispersão de fluxo recebeu a menor pontuação, 20 pontos, por apresentar uma curvatura do seu eixo mais saliente ela distribui o fluxo para várias direções, ou seja, reparte o fluxo que poderia potencializar ainda mais o escoamento superficial.

Tabela 10: Síntese da atribuição de pontos para curvatura das vertentes.

CLASSE	PONTUAÇÃO
Concentração	40
Unilateral	30
Dispersão	20

- ✓ Declividade: Este atributo é composto de 4 classes para a bacia que receberam pontuação maior quanto maior a sua percentagem de declividade (Tabela 11), conforme item 4.2.5.4, quanto maior a percentagem de declividade maior será também a ação da gravidade sobre o escoamento superficial. Assim sendo a classe forte ondulado recebeu 30 pontos, a ondulado 15 pontos, a suave ondulado 10 pontos e plano recebeu 5 pontos. A classe plano é a que predomina

na bacia, por isso este atributo, diferentemente do estudo realizado em Piracicaba, se comparado aos demais, é um dos que menos influencia o escoamento superficial.

Tabela 11: Síntese da atribuição de pontos para declividade.

CLASSE	PONTUAÇÃO
Forte Ondulado	30
Ondulado	15
Suave Ondulado	10
Plano	5

- ✓ Densidade de Drenagem: Este atributo foi o escolhido como sendo o que menos exerce influencia no escoamento superficial, pois seccionando a bacia em 3 cursos de análise a diferença entre eles foi mínima, ou seja, quase um padrão para toda a bacia em relação à densidade de drenagem (Tabela 12). Quanto maior for a densidade de canais em uma área, menor será o tempo em que a lâmina d'água das áreas drenadas levará para alcançar os tributários e o canal principal da bacia, logo, quanto mais canais de drenagem menos propensa a inundação estará a bacia e do contrário de igual modo. Dessa forma o escoamento superficial aumenta quanto maior for a densidade de canais em relação às áreas de densidade menor e mais propensas a inundação, portanto, foi atribuída maior pontuação para influência do escoamento superficial quanto maior a presença de canais de drenagem na área. O médio curso apresentou 1,91 km/km² e recebeu 30 pontos, o baixo curso apresentou 1,90 km/km² e recebeu 20 pontos e o alto curso apresentou 1,87 km/km² e recebeu 10 pontos.

Tabela 12: Síntese da atribuição de pontos para densidade de drenagem.

CLASSE	PONTUAÇÃO
1,91 km/km ²	30
1,90 km/km ²	20
1,87 km/km ²	10

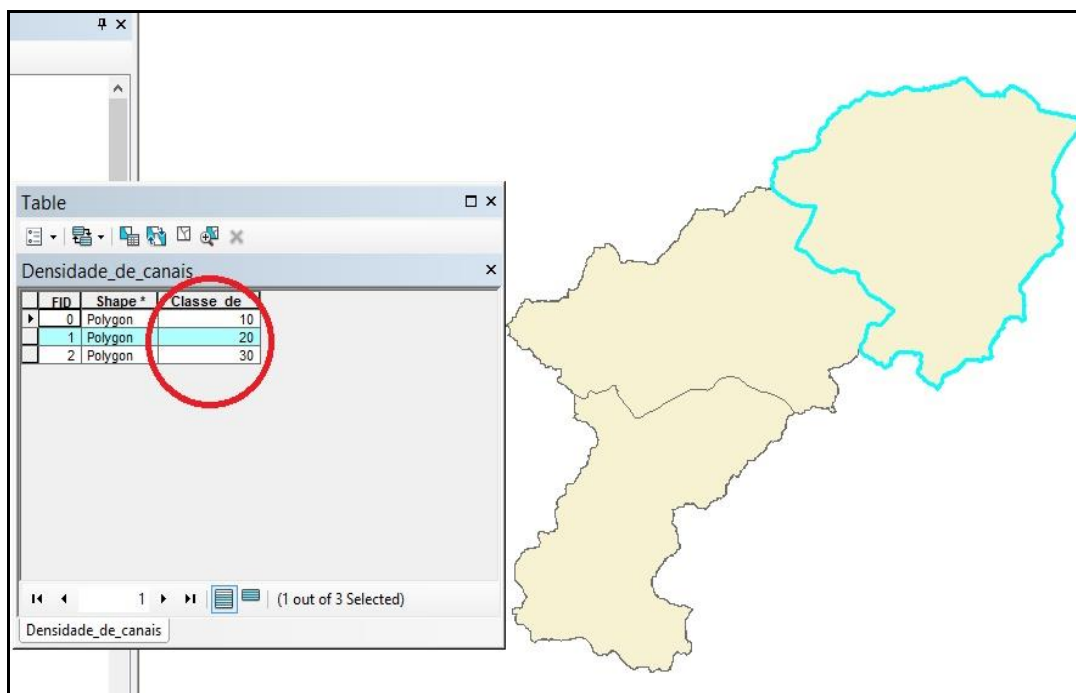
Finalizada a atribuição de pontos partimos para a elaboração da carta de escoamento superficial realizando a união das cartas de cada atributo em ambiente SIG. Primeiramente se fez necessário criar uma compatibilidade entre os arquivos, visto que uns estão em formato de *shapefile* e outros em formato *raster*. Optou-se por padronizá-los em formato *shapefile*, pois nesse formato é possível inserir, tirar, unir e mesclar informações por meio da tabela de atributos. Para este processo adotamos o seguinte procedimento no *ArcGis*:

ArcToolbox > *Conversion Tools* > *From Raster* > *Raster to Polygon* > *Input raster* (adicionar o arquivo raster desejado) > *Output polygon features* (escolher pasta e nome do arquivo) > *Ok*.

Este procedimento foi adotado para todos os arquivos em formato raster, todavia em alguns, como o de declividade, foi necessário realizar uma reclassificação de imagem e a partir da imagem reclassificada aplicou-se o procedimento descrito acima.

Com todos os arquivos em formato *shapefile* partimos para a inserção dos valores de pesos atribuídos para cada atributo na tabela de atributos correspondente. Com a função Editor desabilitada, clicou-se sobre o nome do arquivo desejado, com o botão direito do mouse, na guia *layers* da área de trabalho do *ArcGis* > *Open Attribute Table* > abrindo a tabela de atributos clicar no primeiro ícone do lado esquerdo na parte superior (*Table Options*) > *Add Field* > *Name* (digitar o nome da coluna, no caso classe) > *Type* (escolher Float por ser apenas para valores de numerais) > *Ok*. Após este procedimento ativou a edição do arquivo em *Editor* > *Start editor* > clicar no nome do respectivo arquivo > *Ok*, ativada a edição iniciou-se a digitação dos valores de peso atribuídos em cada célula das linhas correspondentes às respectivas classes (Figura 41).

Figura 41: Edição da tabela de atributos para inserção dos valores de classes.

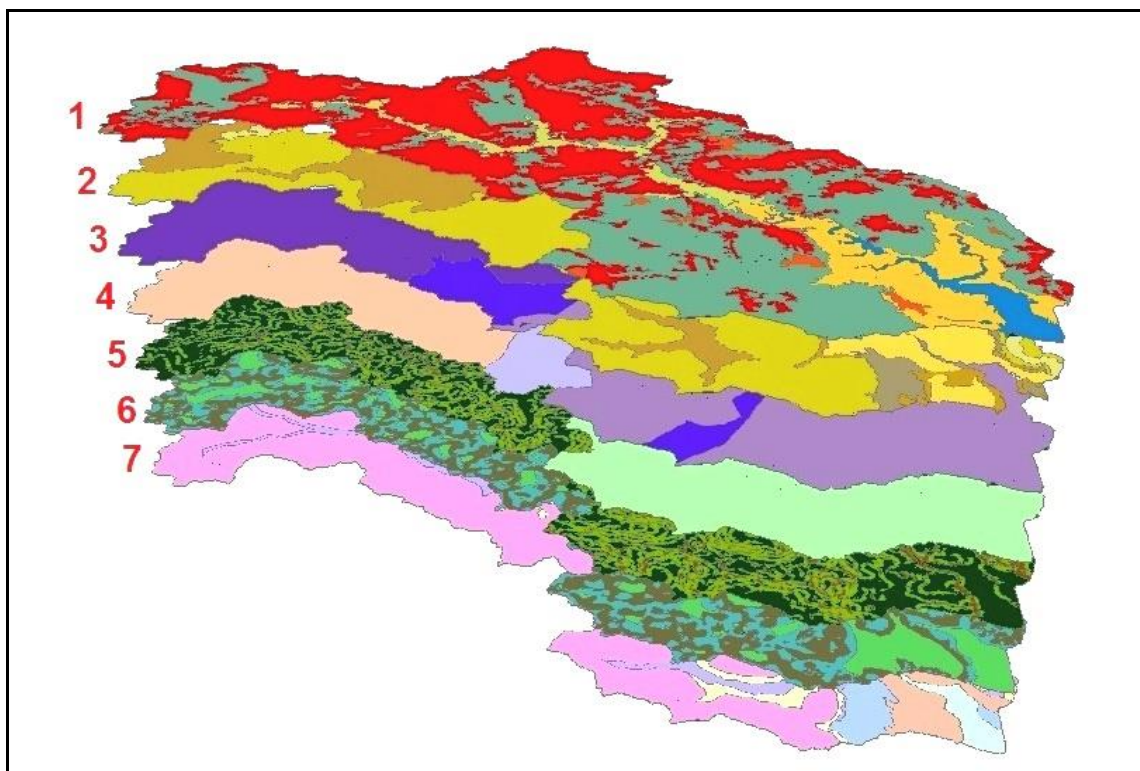


A edição da tabela pode seguir um formato livre, mas para fins de organização e inibição de informações desnecessárias excluímos, em todos os arquivos, as colunas de informações adicionais, deixando apenas a coluna de classes e as colunas base que o sistema não aceita a exclusão.

Depois de feito o procedimento de atribuição de valores em todas as variáveis, realizamos um procedimento conhecido como conflito de mapas. Este procedimento consiste na sobreposição de camadas, por meio de união, onde a área de intersecção entre elas fornece informações comuns a cada variável e suas classes, é o somatório das classes de influência no escoamento presentes em cada área interseccionada que determinou os intervalos e, posteriormente, as classes de escoamento superficial.

Como já mencionado, as camadas sobrepostas corresponderam aos atributos analisados na atribuição de pontos (Figura 42).

Figura 42: Camadas sobrepostas usadas no conflito de mapas.



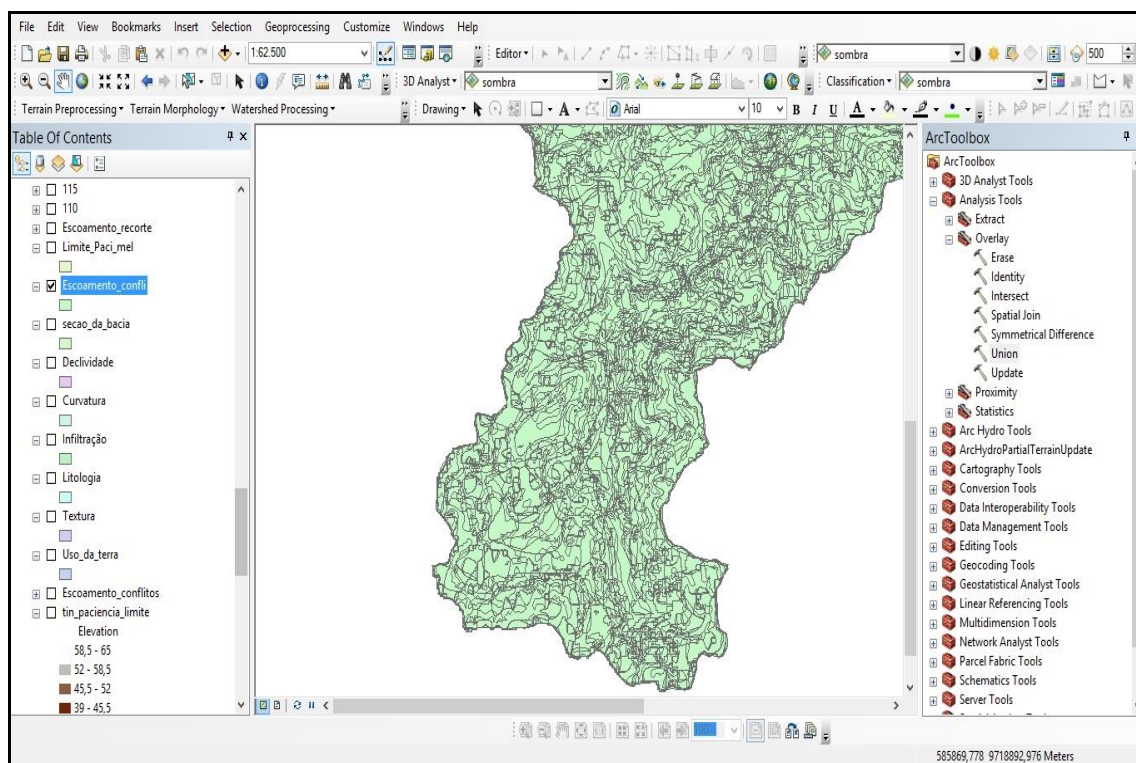
1 – Uso e cobertura da terra; 2 – Classes texturais; 3 – Permeabilidade; 4 - Densidade de drenagem; 5 – Declividade; 6 – Curvatura das vertentes; 7 – Geologia.

O cruzamento das camadas não obedeceu uma ordem de posicionamento dos *shapefiles*, porque no final o que interessou foram as informações de valores de classe em cada área interseccionada, portanto, a sua realização obedeceu o seguinte procedimento:

ArcToolbox > Analyst Tools > Overlay > Union > Input features (adicionar as 7 camadas referentes aos atributos analisados) > *Output features class* (escolher nome e pasta de destino do arquivo resultante do cruzamento) > *Ok*.

Após o processamento, o resultado final é um arquivo bem compartimentado (Figura 43) e dotado de muitas informações que devem ser, posteriormente, analisadas para refinamento.

Figura 43: Em exposição uma parte do shapefile de conflito resultante, observar a fragmentação da bacia em pequenas áreas.



Abrindo a tabela de atributos (Figura 44), do novo arquivo, é possível observar que as colunas de classes de valores de pesos para cada atributo estão presentes em cada uma das áreas compartimentadas, essas áreas são representadas por cada uma das linhas da tabela. Notar também que cada FID de camada cruzada há valores negativos, esses valores indicam erros de sobreposição, ou seja, que em algum ponto só houve a sobreposição de 5 camadas ao invés das 7, por exemplo.

Figura 44: Tabela de atributos do arquivo de conflito resultante, atentar para os erros em valores negativos.

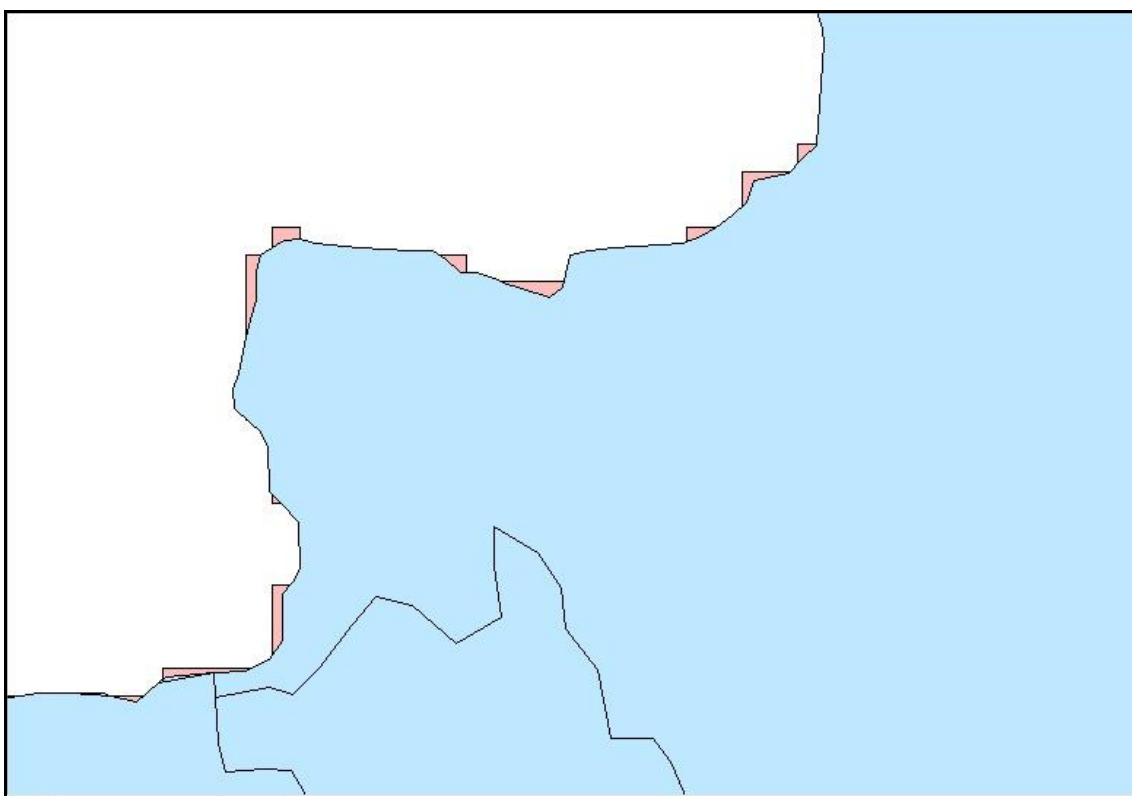
FID	Shape *	FID Uso da	Classe de	FID Litolo	classe de1	FID Infil	Classe d 1	FID Curvat	Classe d 2	FID Decliv	Classe d 3	FID secao	Classe d 4	FID Textur	Classe d 5
0	Polygon	0	95	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
1	Polygon	1	15	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
2	Polygon	2	65	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
3	Polygon	4	50	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
4	Polygon	5	10	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
5	Polygon	-1	0	1	25	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
6	Polygon	-1	0	2	35	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
7	Polygon	-1	0	5	50	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
8	Polygon	-1	0	-1	0	0	40	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
9	Polygon	-1	0	-1	0	1	30	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
10	Polygon	-1	0	-1	0	2	20	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
11	Polygon	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	0	5	-1	0	-1	0
12	Polygon	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	1	10	-1	0	-1	0
13	Polygon	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	2	15	-1	0	-1	0
14	Polygon	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	0	10	-1	0
15	Polygon	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	1	20	-1	0
16	Polygon	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	0	50
17	Polygon	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	2	10
18	Polygon	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	3	30
19	Polygon	0	95	1	25	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
20	Polygon	0	95	5	50	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
21	Polygon	0	95	-1	0	0	40	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
22	Polygon	0	95	-1	0	1	30	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
23	Polygon	0	95	-1	0	2	20	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
24	Polygon	0	95	-1	0	-1	0	-1	0	0	5	-1	0	-1	0
25	Polygon	0	95	-1	0	-1	0	-1	0	1	10	-1	0	-1	0
26	Polygon	0	95	-1	0	-1	0	-1	0	2	15	-1	0	-1	0
27	Polygon	0	95	-1	0	-1	0	-1	0	3	30	-1	0	-1	0
28	Polygon	0	95	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	0	10	-1	0
29	Polygon	0	95	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	2	10
30	Polygon	0	95	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	3	30
31	Polygon	1	15	1	25	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
32	Polygon	1	15	-1	0	0	40	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
33	Polygon	1	15	-1	0	1	30	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
34	Polygon	1	15	-1	0	2	20	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
35	Polygon	1	15	-1	0	-1	0	-1	0	0	5	-1	0	-1	0
36	Polygon	1	15	-1	0	-1	0	-1	0	1	10	-1	0	-1	0
37	Polygon	1	15	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	2	10
38	Polygon	1	15	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	3	30
39	Polygon	2	65	1	25	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
40	Polygon	2	65	-1	0	0	40	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
41	Polygon	2	65	-1	0	-1	0	-1	0	0	5	-1	0	-1	0
42	Polygon	4	50	2	35	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
43	Polygon	4	50	-1	0	2	20	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0

(0 out of 4807 Selected)

Escoamento_confli

Este erro ocorre devido à incompatibilidade de formas, quando uma camada é gerada a partir da matriz de *shapefile* as formas contidas nela, e aqui desta as bordas da bacia, permanecem suaves ou retas, como, por exemplo, a camada de textura de solo, mas quando a camada é gerada a partir de uma imagem raster ela assume suas características morfológicas de pixelização, como, exemplo a camada de uso e cobertura da terra que tem a borda toda quadriculada. A Figura 45 exemplifica essa questão.

Figura 45: Incompatibilidade na sobreposição, em azul a camada de textura de solo sobrepondo a camada de uso e cobertura da terra em cor-de-rosa.



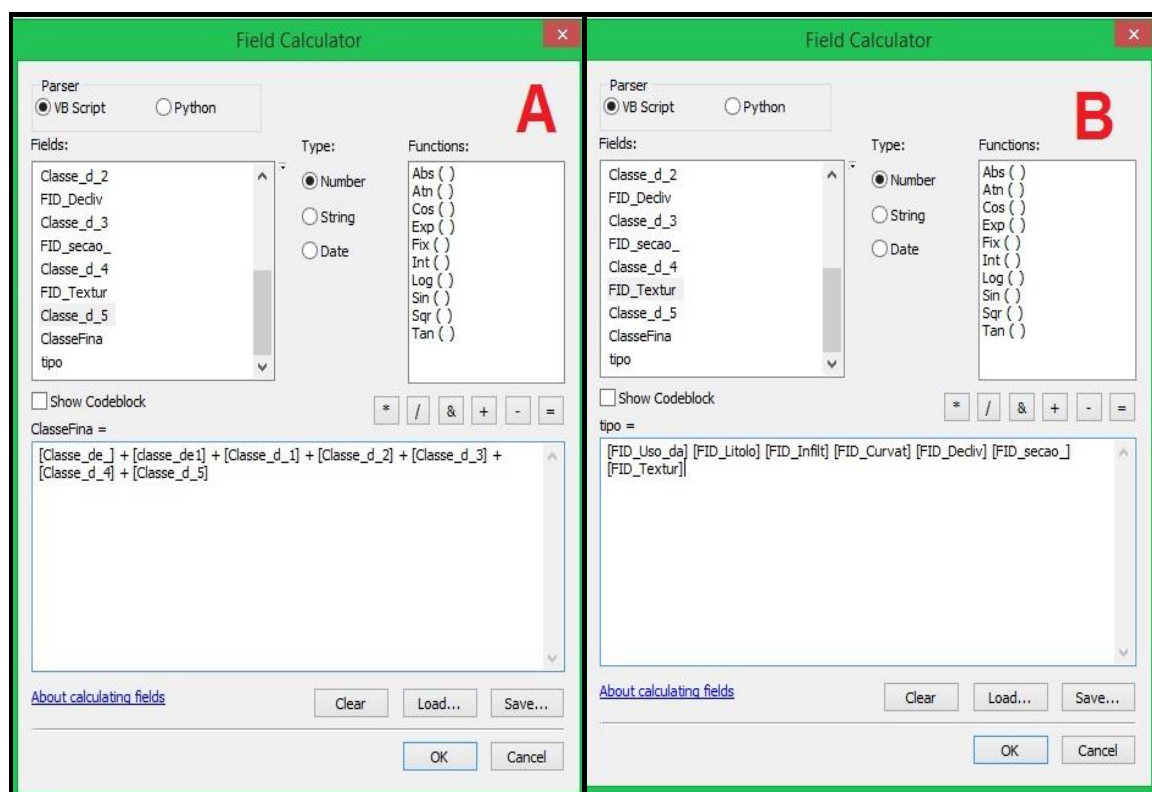
Portanto, os erros ocorrem quando essas camadas não se cruzam em um determinado ponto. O procedimento para a correção se iniciou com o recorte do arquivo de conflito, clicando em *ArcToolbox > Analyst Tools > Extract > Clip > Input features (escolher o arquivo de conflito) > Clip features (escolher o arquivo de delimitação da área da bacia) > Output features class (escolher o nome e a pasta de destino do novo arquivo) > Ok*.

Com o novo arquivo recortado iniciamos a análise da tabela de atributos. Abrindo a tabela de atributos, com a função *Editor* do ArcGis desativada, inserimos duas colunas, tipo *String*, que chamamos de “classe final” e “tipo”, a coluna classe final

corresponde ao somatório dos valores de todas as classes de atributos presentes na linha correspondente, por sua vez a coluna tipo corresponde não ao somatório, mas a presença do FID de cada classes de atributo na linha correspondente.

Para obtenção dos valores de classe final clicamos com o botão direito do mouse sobre o nome do título da coluna e, depois, na barra de opções clicamos em *Field Calculator* > Em *Fieds* clicar duas vezes em todos os nomes que contém a palavra classe (nome dado para atribuir os valões de peso em cada atributo), um por vez e exceto o referente à classe final, seguidos do sinal “+” da operação de adição > *Ok*, na coluna classe final apareceu automaticamente todos os valores somados. Para obtenção dos valores da coluna tipo foi realizado o mesmo procedimento adotado para obtenção dos valores de classe final, substituindo a seleção dos nomes que contém a palavra classe por FID sem a necessidade de clicar no sinal de adição. Os dois procedimentos estão expressos na Figura 46.

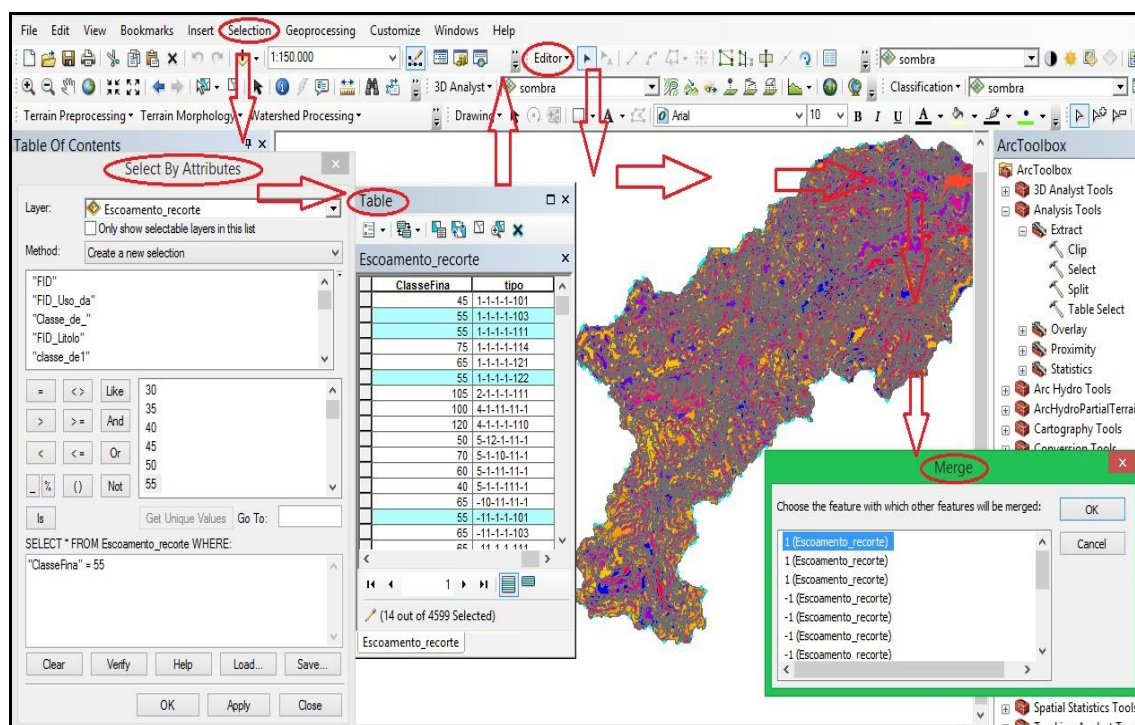
Figura 46: Cálculo de valores de classe final (A) e de tipo (B).



Começamos a análise das duas colunas ativando a função *Editor* do ArcGis, depois, na barra fixa ações da tela inicial do ambiente ArcGis, clicamos em *Selection* > *Selection By Attributes...* > *Layer* (escolhemos o arquivo de conflito recortado) > depois

clicamos duas vezes sobre o nome que representa a coluna classe final e no sinal “=” de igualdade > Get Unique Values (clicar nos valores, um por vez a cada finalização de análise) > Apply (todas as linhas com o valor de classe escolhido serão selecionadas automaticamente), depois, com a tabela de atributos aberta, analisamos a coluna tipo. As linhas que só apresentaram números positivos tiveram a seleção desativada com um Ctrl + um click sobre a linha, por sua vez, todas as linhas que apresentaram ao menos um número com valor negativo permaneceram selecionadas e foram mescladas (*Editor* > *Merge...* > *Ok*). (Figura 47)

Figura 47: Processo de análise e mescla das linhas da tabela de atributos.



Depois de realizada a fusão das linhas, com presença de valores negativos e de mesma classe, voltamos a realizar o mesmo procedimento, porém desta vez foi feito o inverso, mesclamos as linhas com valores positivos e de mesma classe. Todo este procedimento demandou muito tempo, visto que a tabela de atributos apresentou 4.598 variáveis de FID, e atenção do pesquisador.

Conforme destacamos, as áreas com valores negativos correspondem a erros, porém não podemos excluí-las, mesmo depois de agrupa-las em apenas um valor de classe, pois assim teríamos lacunas na área da bacia. Para solucionar esta deficiência partimos para uma nova análise da tabela de atributos, observando a disposição dessas

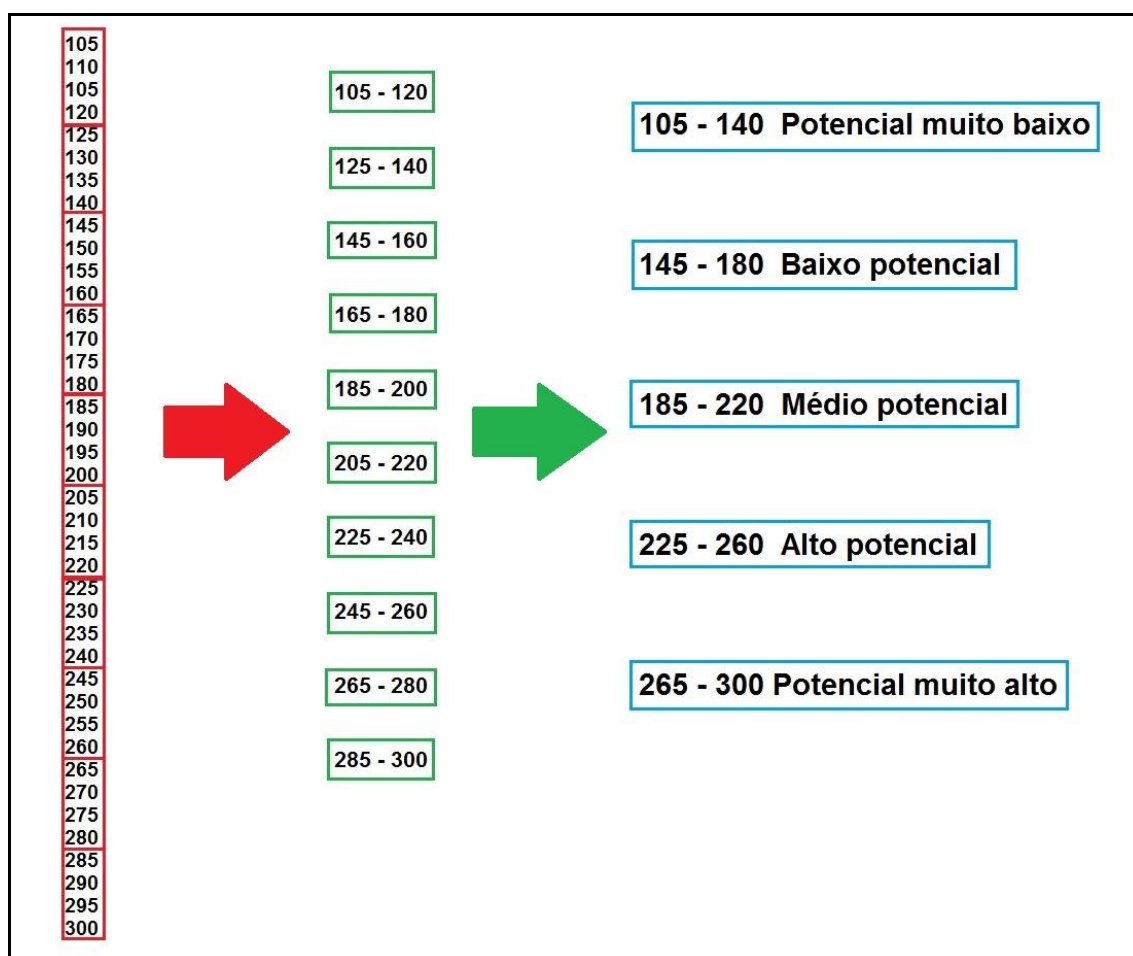
áreas com outras áreas válidas, depois fizemos a mescla destas áreas com os vizinhos mais próximos, visto que, conforme a Primeira Lei Geográfica de Tobler, coisas mais próximas tendem a ser mais parecidas que coisas mais distantes. Igualmente ao procedimento anterior, este também demanda muito tempo e atenção do pesquisador.

No final do procedimento obtivemos classes somente com valores positivos de FID, ou seja, todas as áreas eram válidas. A tabela de atributos mostrou valores válidos a partir de 105 pontos até 300 pontos, com intervalos de 5 pontos.

A próxima etapa consistiu na criação das classes de escoamento superficial e assim finalizando o quadro de pontuação (quadro 5), do item 7, que já havia sido organizado quanto à pontuação dos atributos individualmente.

Após cruzadas as cartas representativas dos atributos e realizadas as devidas correções, os valores válidos foram tabelados, o intervalo entre a pontuação mínima, de 105 pontos, e a máxima, de 300 pontos, foi igual a 195. Esse valor foi disposto em intervalos de 5 pontos resultando em 40 unidades, portanto, para estabelecer as classes de escoamento determinamos que estas seriam compartimentadas em 10, logo, as 40 unidades foram divididas pelo número 10 e no final obtivemos 10 classes de escoamento superficial com 15 pontos de intervalo entre elas (Figura 48). Vale destacar que as classes de escoamento superficial são resultado do conflito de mapas e não do somatório dos valores de atributos tais como dispostos na ordem apresentada no quadro 5, ou seja, considerou-se os valores dos atributos espacializados nos mapas sobrepostos e que podem se cruzar com qualquer valor presente no referido quadro, independentemente da ordem de grandeza adotada para pontuação.

Figura 48: Esquema de determinação das 10 classes de escoamento superficial e potencialidades.



A finalização da carta do potencial de escoamento superficial seguiu o mesmo princípio exposto na Figura 48 até a determinação dos potenciais, todavia, o procedimento de grupamento das pontuações até às classes de potenciais de escoamento na carta foi realizado pelo mesmo procedimento já adotado para realizar a fusão de áreas.

5 MEIO FÍSICO DA ILHA DO MARANHÃO

5.1 Geologia

A Ilha do Maranhão esta situada sobre as bases da Bacia Costeira de São Luís, esta bacia é essencialmente coberta por sedimentos cretáceos do tipo *rift* fissural.

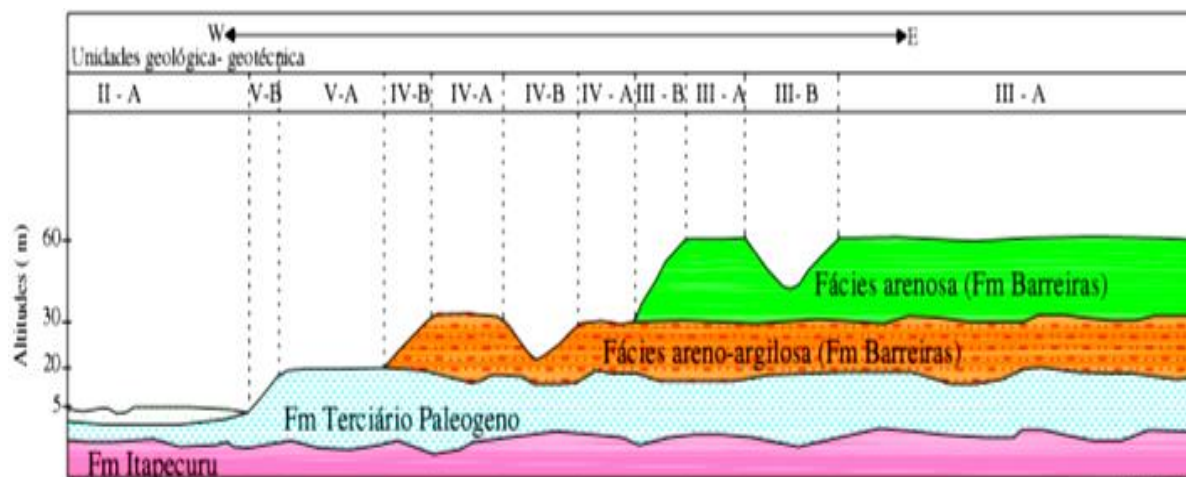
Limita-se ao sul pelo Arco Ferrer Urbano Santos, ao norte por falhamentos com rejeitos de 2.000 a 4.000 m, a leste pelo Alto de Rosário e a oeste pelo Arco Tocantins. Sua parte continental tem uma área aproximadamente 33.000 km². Presume-se que cerca de 4.500 m de sedimentos foram acumulados, dos quais 2.500 m são do Mesozóico (Cretáceo) e Cenozóico (RODRIGUES et al., 1994).

A Bacia Costeira de São Luís possui estrutura alongada seguindo a direção de noroeste a sudoeste com processos tectônicos ativos em regime de falhas do período Cretáceo até recentemente (ROSSETI, 2008) e foi formada a partir de rebaixamento de falhamentos em degraus (PETRI E FÚLFARO, 1983).

A deposição Pré-Cretácea da Bacia Costeira de São Luís tem uma relação direta com os depósitos da bacia intracratônica do Parnaíba, isto é evidenciado na continuidade física que ocorreu durante o Paleozóico quando a ação tectônica gerou a abertura da margem atlântica na região equatorial do Brasil originando várias bacias do tipo *rift* (CARVALHO, 2000). Carvalho (op. cit.) destaca ainda que essa ação soergueu o embasamento Pré-Cambriano no interior do continente E a consequência foi a quebra da forma continua o que causou a divisão de regiões sedimentares em pequenas partes.

A litoestratigrafia da bacia é composta de sedimentos e rochas sedimentares da Formação Itapecuru, Formação Terciário-Paleógeno, Formação Barreiras, e pela Formação Açuí (RODRIGUES et al., 1994), como demonstra a Figura 49 e Figura 50.

Figura 49: Modelo da coluna estratigráfica da Baía Costeira de São Luís.



Fonte: Pereira (2006).

Figura 50: Descrição da coluna estratigráfica da Bacia Costeira de São Luís

ERA/ PERÍODO			Unidades estratigráficas	Litologia	Potencial Mineral
CENOZÓICO	Quaternário	Pleistoceno	FORMAÇÃO AÇUÍ	Areia fina a média, madura a submatura, com estratificação cruzada. Argila arenosa, maciça bioturbada	Areia Areia Argila
		Meso-Mioceno	FORMAÇÃO BARREIRAS	Areia fina a média, com concentrações ferruginosas, imatura, intercalações argilosas cauliniticas.	Argila Laterita Água Subterrânea
	Terciário	Mioceno	TERCIÁRIO PALEOGENO	Areia fina a silte, com bolas de argilito, submatura, conglomerados, estratificação ondulada e cruzada.	Areia Argila Água Subterrânea
MESOZÓICO	Cretáceo	Superior	Membro Alcântara	Calcilutitos, silte e areia muito fina, com argila, texturalmente imaturo, micáceo, estratificação plano-paralela	Calcário Argila
			Membro Psamítico	Arenito fino a médio, quartzo com feldspato, caulinizado, mica, nódulos ferruginizados, estratificação plano-paralela e cruzada.	Água subterrânea

Fonte: Rodrigues et al. (1994).

- *Formação Itapecuru*

A Formação Itapecuru é formada por rochas de idade cretácica e caracteriza-se por arenitos finos e argilosos, avermelhados com manchas esbranquiçadas homogêneas, com estratificação plano-paralela e cruzada (Figura 51 e Figura 52). Foi subdividida em Membro Inferior Psamítico e Membro Superior Alcântara, conforme Rodrigues et al. (1994).

Figura 51: Fragmento da coluna estratigráfica da formação Itapecuru, destaque para as manchas esbranquiçadas.



Fonte: Pereira (2006).

Figura 52: Detalhes de estratificação cruzada na Formação Itapecuru.



Fonte: Pereira (2006).

O Membro Inferior Psamítico é composto por um conjunto de sedimentos representados por arenitos, siltitos e folhelhos. Tais sedimentos englobam os arenitos avermelhados e esbranquiçados, finos a médios, caulínicos, com estratificações cruzadas (RODRIGUES et al., 1994).

O Membro Superior Alcântara é formado por siltitos e folhelhos vermelhos, coesos, de estratificação plano-paralela, arranjados em camadas decimétricas e tabulares de grande continuidade lateral, que intercalam alguns bancos tabulares a lenticulares de calcário creme esbranquiçado (RODRIGUES et al., 1994).

O contato entre ambos os Membros é marcado pela discordância angular entre a sequência arenosa e o pacote pelítico-carbonático, sendo que o Membro Psamítico sobrepõe-se aos sedimentos do Mesozóico, Paleozóico e rochas cristalinas (PEREIRA, 2006).

Acerca de sua ocorrência na região que envolve a área estudada, Pereira (2006) destaca que a Formação Itapecuru é muito restrita e geralmente aflora nos paredões de falésias do Município de Alcântara, apresentando espessura de 20 m, em São Luís aflora nas falésias da Praia do Boqueirão e da Praia da Guia, próximo ao Porto do Itaqui, na Praia de São Francisco e nas planícies fluviomarinhas.

- *Formação Terciário Paleogeno*

Foram considerados, informalmente, para caracterizar esta Formação os sedimentos do Terciário Antigo que se encontram sobrepostos ao Membro Alcântara da Formação Itapecuru e sotapostos à Formação Barreiras, que em geral formam os siltitos e argilitos de zonas de coloração diferentes, de tons róseo-avermelhados e esbranquiçados contendo inintercalações de arenitos finos e médios, também matizados em suas cores, predominando tons esbranquiçados e róseos (RODRIGUES et al., 1996).

Segundo Pereira (2006) e Rodrigues et al.(1994) na Ilha do Maranhão estes sedimentos afloram nas porções norte e oeste, na área Itaqui-Bcanga e nas falésias com espessuras de 15 a 20 m, também ocorrem entre as Baías de São Marcos e Cumã.

- *Formação Barreiras*

Segundo Rodrigues et al. (1994) a Formação Barreiras é caracterizada essencialmente por siltitos maciços, de cores amarelada a ocre, seus sedimentos são areno-argilosos e ocasionalmente apresentam conglomeráticos de cor róseo-avermelhada, ferruginizados de consistência não a pouco consolidado.

Nesta unidade estão inclusas também os depósitos inconsolidados argilosos com areia disseminada com cores que vão do amarelo ao avermelhado e concreções ferruginosas em nódulos dispostos sem ordem sobrepondo as linhas de pedra ou *stone lines* (Figura 53 e Figura 54)

Figura 53: Fácies arenosa da formação Barreiras.



Figura 54: Extração de laterita na Fácies arenoargilosa da Formação Barreiras.



Fonte: Pereira (2006).

A Formação Barreiras pode ser dividida em 3 unidades de fácies quanto os sedimentos: unidade conglomerática, unidade arenosa e unidade pelítica. Todas elas são afetadas por processos de laterização e são típicas de ambientes continentais.

A unidade conglomerática constitui as *stone lines*, caracterizada pelo conglomerados de canga laterítica ou petroplintitos de cor marrom escuro ou preta, contendo seixos e matações de arenitos médios a grossos de composição quartzosa, de moderado a mal selecionados, porosos, com grãos totalmente envoltos por película de óxido de ferro (RODRIGUES et al., 1994). Ocorre em 3 níveis relacionados a topografia, o primeiro marca a superfície pré-Barreiras, o segundo no pacote areno-argiloso amarelado e o terceiro na superfície de mesas e tabuleiros.

A unidade arenosa sobrepõe-se aos sedimentos do Terciário Paleogeno e possui ligações próximas com as unidades conglomerática e pelítica. Pode ser subdividida em litofácies arenito argiloso e arenito de preenchimento de canais. Os arenitos argilosos são constituídos por arenitos fino a médios, de coloração que vai do avermelhado ao amarelo ocre, contendo grânulos e pequenos seixos de quartzo ou concreções ferruginosas dispersos, friável, malselecionado e com matriz argilosa. Já os arenitos de preenchimento de canais são constituídos de arenitos esbranquiçados, quartzosos, médios, em parte finos, com grânulos de quartzo dispersos, muito mal selecionados, com estratificação cruzada acanalada, moderadamente consistentes e compactos (RODRIGUES et al., 1996).

A unidade pelítica é, segundo Rodrigues et al.(op. cit.), composta por 3 litofácies: siltitos argilosos ocre, argilas avermelhadas e argilas esbranquiçadas caulínicas. Os siltitos argilosos ocre são formados por silte argiloso e arenito muito fino, com grânulos de quartzo e filmes de argila. As argilas avermelhadas são formadas por argilas homogêneas, em partes intercaladas na litofácies arenito argiloso. As argilas esbranquiçadas caulínicas são formadas por argilas caulínicas, em partes com concreções ferruginosas.

A Formação Barreiras aflora, predominantemente na Ilha do Maranhão, segundo Pereira (2006), nas falésias, colinas, encostas e topos dos tabuleiros e sua espessura não excede 30 m sobrepondo-se às Formações Itapecuru e Terciário Paleogeno.

- *Formação Açuí*

A Formação Açuí é de idade pleistocênica tardia e holocênica, abrange os depósitos pleistocênicos e argilas pouco adensadas.

Segundo Rodrigues et al.(1994) esta Formação é característica de ambientes variáveis, constituída por areias de praia, dunas móveis, sedimentos arenosos inconsolidados e argilosos não-adensados que se concentram preenchendo as zonas topograficamente mais baixas.

Sua distribuição se dá em meios fluvial e marinho litorâneo, apresentando uma maior ocorrência na zona costeira, evidenciada pelos manguezais, depósitos aluvionares e planícies de inundação.

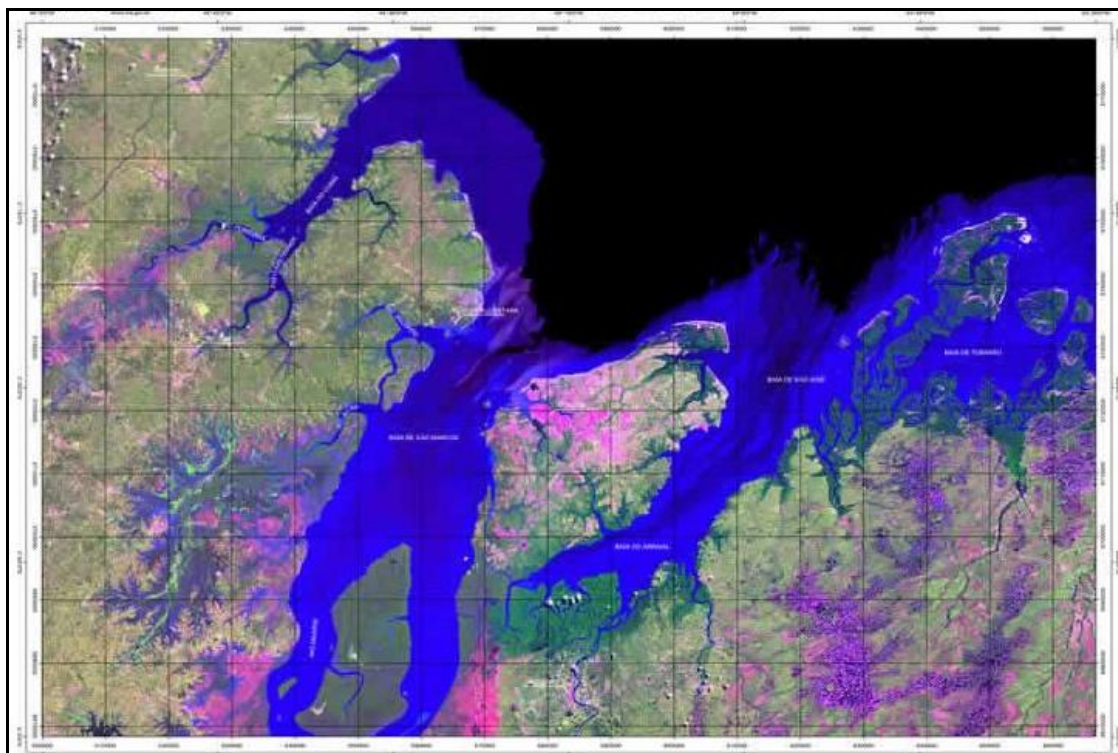
Segundo Pereira (2006) os sedimentos da Formação Açuí recobrem todas as demais unidades estratigráficas identificadas na Bacia de São Luís. Na Bacia Hidrográfica do Rio Paciência são observadas nas margens dos canais fluviais e na foz da referida bacia.

5.2 Geomorfologia

A Geomorfologia da Ilha Maranhão apresenta singularidades marcadas pela dinâmica do ambiente marinho em que esta inserida associada a eventos geológicos e climáticos que no passado foram responsáveis gradualmente por mudanças drásticas em sua configuração bem como de suas paisagens.

Segundo Ab'Saber (2004) entre a Baía de Guajará-Mirim, no Pará, e a Baía de São José, no Maranhão, se estende um dos setores mais singular do litoral brasileiro. Trata-se de uma costa de rias parcialmente mascarada pelo surgimento das planícies de maré (Figura 55).

Figura 55: Litoral do Golfão Maranhense com rias penetrando as planícies onde antes eram antigos vales.



Fonte: http://www.zee.ma.gov.br/html/mostra_fotos.php?img=105&pag=2

Essa singularidade se dá em relação às outras faixas do litoral tropical atlântico brasileiro que tem por característica pontos mortos de movimentação das águas costeiras. No Golfão Maranhense, que abrange as Baías de São Marcos e São José, os manguezais crescem perpendicularmente à linha de costa em forma de largos e irregulares pontais e também por um domínio de planícies de maré e fluviomarinha.

O litoral do Golfão Maranhense é, portanto, marcado por antigos vales afogados, ou seja, rias, conforme afirma Ab'Saber (2004).

Somente numa costa de rias, estabelecida em condições tropicais e numa área de forte sedimentação marinha e fluviomarinha, poderia haver lugar para o estabelecimento de tal tipo de litoral tão rasamente indentado, sucedendo-se uma costa bem mais alta dotada inicialmente de vales fluviais de paredes bem marcadas na borda e flancos dos tabuleiros que entravam em contato direto com o mar. (AB'SABER, 2004, p. 68-69)

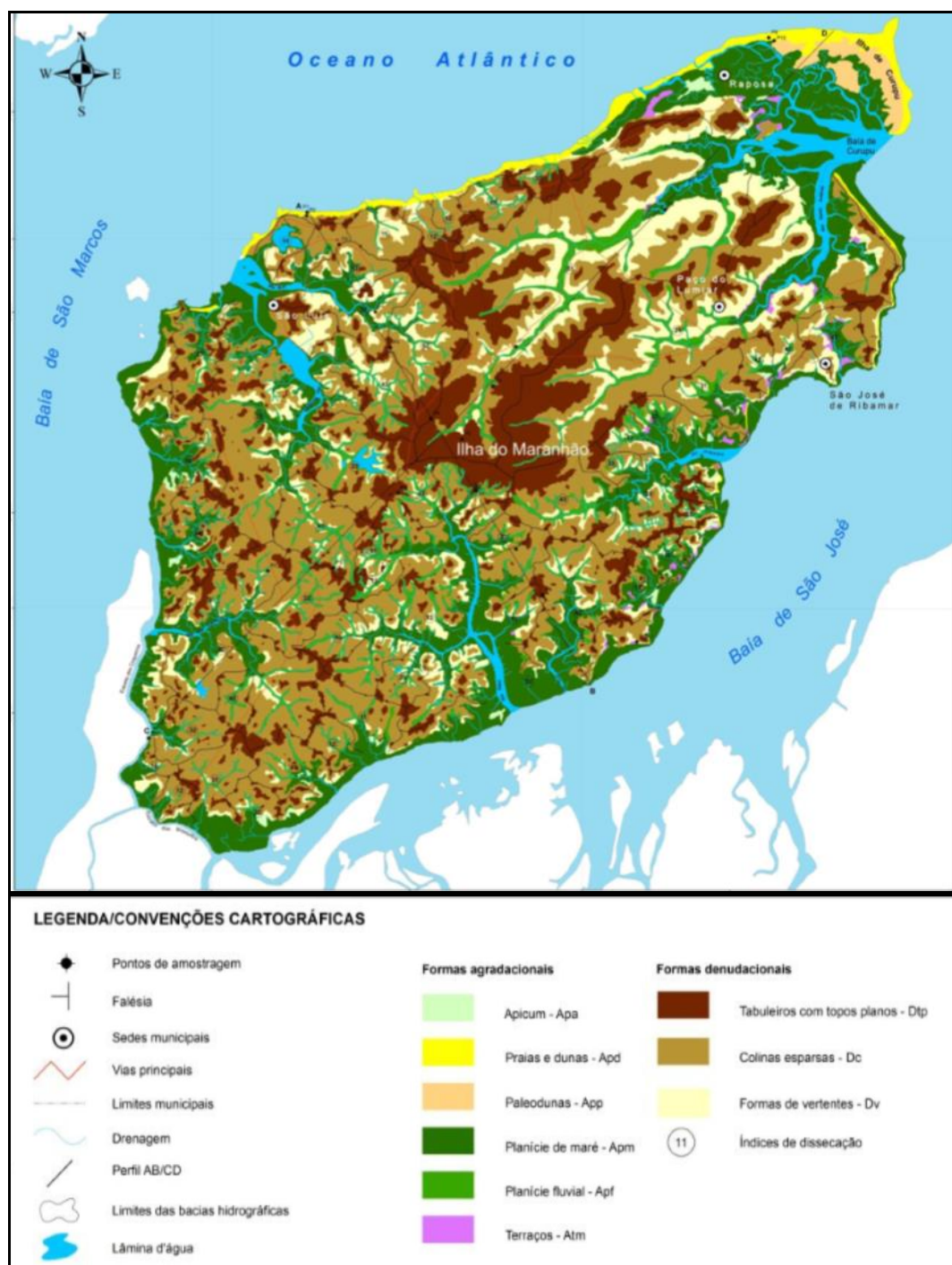
No período em que o nível do mar era mais baixo, regressão marinha, e o clima da região mais frio e seco, os rios eram conseqüentemente menos volumosos e mais

extensos e entalhados em relação ao nível de base que se situava há muitos metros abaixo do atual. Todavia, o cenário da região se transformou quando nível do mar começou a subir na transgressão flandriana, o clima da região ficou mais quente e húmido e logo os níveis de pluviosidade aumentaram, tais condições implicaram em uma expansão florestal e também do volume dos rios criando condições para o afogamento dos vales baixos que são os paleocanais do Golfão Maranhense. Acerca desse contexto Ab'Saber (2004) destaca que os paleocanais são muito profundos e expressam um alto potencial vocacional para construção de portos.

A origem da Ilha da Maranhão está ligada à origem do Golfão Maranhense. No processo de afogamento dos vales antigos os rios Pindaré, Mearim e Grajaú passaram a formar uma única desembocadura no que hoje se conhece como Baía de São Marcos e os rios Itapecuru e Munim passaram a desaguar no que hoje se conhece como Baía de São José. Ab'Saber (1960), com base nos estudos de terraços marinhos e fluviais, propôs que na região houve um modesto soerguimento associado à ingressão marinha do pleistoceno e causou uma sobreposição das redes de drenagem, que associadas à grande amplitude de maré e forças das correntes de marés primitivas desencadeou um processo erosivo no antigo espigão terciário que se projetava do continente em direção ao Golfão Maranhense, reverberando assim no isolamento da Ilha do Maranhão.

Segundo Silva (2012) são identificadas diversas morfologias na Ilha do Maranhão, essas formas estão ligadas ao tipo de costa já mencionada e a fatores agradacionais e denudacionais. As formas de relevo agradacionais são planícies de maré, apicum, praias arenosas e dunas, paleodunas, terraços marinho e planícies fluviais. Já as formas de relevo denudacionais correspondem ao conjunto de tabuleiros com topos planos, colinas esparsas e vertentes. Sendo esta última unidade de formas que predominam na Ilha (Figura 56: Mapa Geomorfológico da Ilha do Maranhão.).

Figura 56: Mapa Geomorfológico da Ilha do Maranhão.



Fonte: Silva (2012), com adaptações.

5.3 Hidrografia

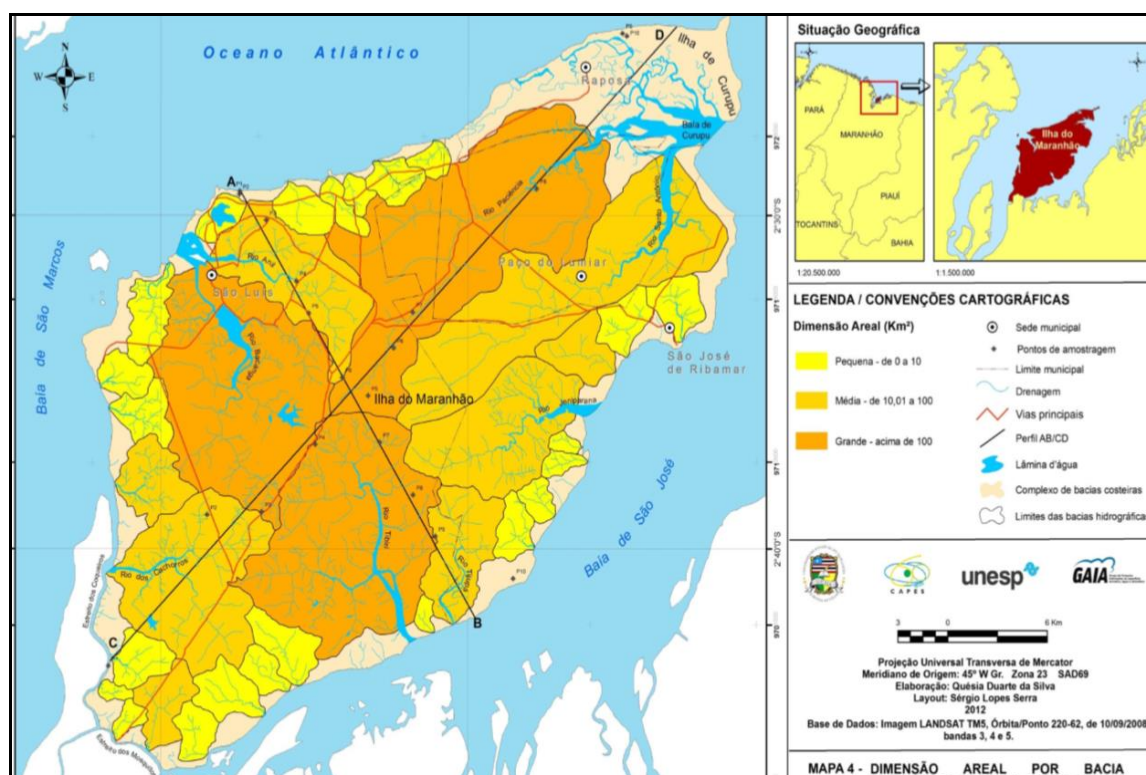
A hidrografia da Ilha do Maranhão é influenciada por um complexo do meio físico (geologia, relevo, agentes oceanográficos e clima) e pela ação humana, que juntos

convergem para alterações na dinâmica dos cursos d'água, sendo um exemplo da combinação dessas forças o Rio Anil no que tange o seu quadro ambiental.

Segundo Silva (2012) toda a margem periférica da Ilha é recortada por várias pequenas reentrâncias, rios e igarapés que recebem diretamente a intrusão da maré diariamente em decorrência da alta variação.

A Ilha do Maranhão possui 34 bacias hidrográficas (Figura 57), as quais foram classificadas por Silva (2012) em classes de pequena, média e grandes, considerando o seu tamanho.

Figura 57: Dimensão das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão.



Fonte: Silva (2012).

As áreas no mapa com coloração amarela correspondem às bacias pequenas, as de coloração laranja correspondem às bacias médias e as de coloração laranja forte às bacias grandes. Totalizando, 23 bacias são pequenas, 8 são médias e 3 são grandes. As 3 maiores em ordem crescente de grande são Bacanga, Tibiri e Paciência.

5.4 Clima

O clima local é essencial ao entendimento de toda e qualquer dinâmica natural que se esteja investigando, principalmente ao abordar a temática de infiltração de água no solo e escoamento superficial. No entanto, os elementos climáticos não são delimitados de acordo com as fronteiras políticas determinadas socialmente, por isso, faz-se necessário uma análise e a caracterização da dinâmica regional climática antes do aprofundamento específico sobre o clima de São Luís.

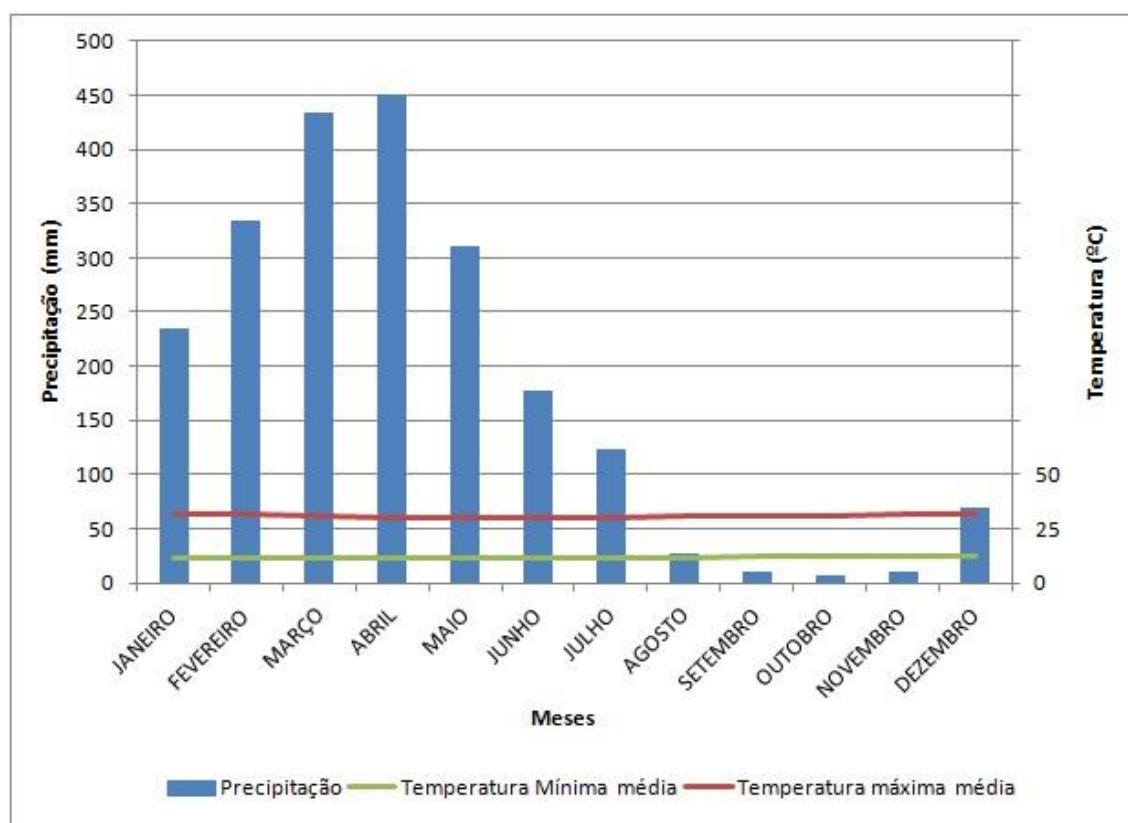
Segundo Feitosa (1996) a maioria dos estudos climáticos referentes ao Estado do Maranhão são inseridos em uma abordagem mais ampla, seja a partir da tomada do Brasil como um todo ou com destaque às regiões Norte e Nordeste, contudo todos evidenciam a influência dos ventos alísios de nordeste e da atuação convergente das massas de ar Equatorial Atlântica e Equatorial Continental que se deslocam constantemente entre norte e sul e geram uma relativa instabilidade sazonal. Da convergência entre as duas massas de ar supracitadas, forma-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), responsável pela mudança do equador térmico e para a região do Maranhão é o principal agente da variabilidade pluviométrica.

Nimer e Brandão (1989) ao serem citados por Araújo (2014) explicam que a ZCIT é uma depressão barométrica posicionada no Hemisfério Norte, próximo ao paralelo 5°N, que ao penetrar o Maranhão no sentido noroeste-sudeste influencia diretamente no regime pluviométrico, principalmente no outono, quando ocorrem as chuvas mais intensas e contínuas, sendo muitas vezes, diárias.

Neste sentido, pode-se adentrar, especificamente, o clima da Ilha do Maranhão. De acordo com Pereira (2006) ao citar Strahler (1960), a Ilha do Maranhão está inserida na área de transição climática entre o semiárido nordestino e o tropical úmido amazônico, sendo considerado como um clima tropical chuvoso (janeiro a junho), com estação seca de inverno (julho a dezembro), tipo Aw, conforme a classificação de Köppen. No tocante a temperatura, a variabilidade é muito pequena durante todo o ano, proporcionando temperatura média que varia entre 27 °C e 29 °C, sendo outubro o mês mais quente, historicamente. Nos últimos anos vem sendo notado um pequeno aumento decorrente do desmatamento, processado em função da agricultura itinerante e pastagens plantadas (MUNIZ e BRITO, 2007).

Através dos dados históricos de precipitação e temperaturas médias (máximas e mínimas) obtidos junto ao site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foi possível gerar um climograma com os elementos climáticos da Estação de São Luís para o período de 1971 a 2012 (Figura 58).

Figura 58: Climograma – São Luís/MA (1971 – 2012).



Fonte: Dados da Estação São Luís obtidos junto ao INMET

Essa representação gráfica afirma o exposto acima, o caráter tropical do clima do estado do Maranhão, uma vez que região de São Luís apresentou regularidade climática, principalmente no que se refere às temperaturas, sem valores máximos e mínimos exagerados, sendo uniformemente distribuídas ao longo do ano. Somente os dados pluviométricos apresentaram maiores irregularidades quanto à distribuição anual, porém seguiram o padrão sazonal.

Desta série histórica abril foi o mês que apresentou maiores índices pluviométricos (em média 450 mm) e outubro revelou-se como o mês mais seco (6,5mm). No tocante as temperaturas, mesmo estas tendo variações muito pequenas,

ainda pode-se notar maiores valores em dezembro (máxima média de 31,7°C) e menores em julho (30,1°C de máxima média).

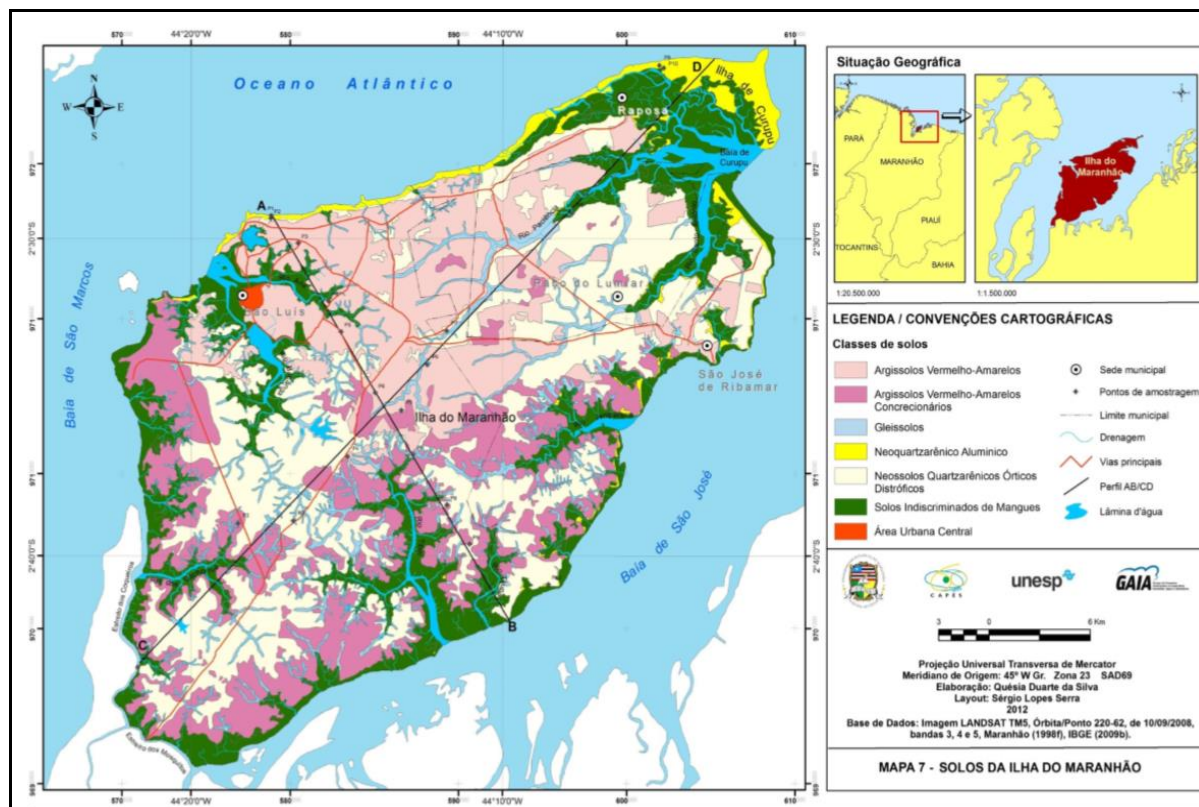
Neste sentido, observa-se a relação direta entre as temperaturas e as chuvas em São Luís, visto que as temperaturas mais elevadas ocorrem durante os meses mais secos, principalmente na primavera, devido a maior influência da massa Equatorial continental, já a massa Equatorial Atlântica fica posicionada mais ao norte, ou seja, as maiores temperaturas são decorrentes da baixa pluviosidade. Já os meses mais amenos (março a junho) estão relacionados com o período chuvoso, quando a massa Equatorial Atlântica desloca-se mais para o sul, formando a ZCIT, fato que contribui para o aumento da nebulosidade e para os maiores índices pluviométricos, diminuindo assim, a insolação e amenizando as temperaturas (ARAÚJO, 2014).

5.5 Solos

Os solos são resultados da combinação dinâmica de fatores físicos, químicos e biológicos, que atuam diretamente na decomposição das rochas em regime de tempo ditado pelas condições climáticas e característica das rochas matriz, portanto a diversidade de tipos de solos é uma herança, tanto da rocha matriz quanto do tipo de clima atuante em cada região. Regiões equatoriais e tropicais possuem solos mais desenvolvidos e espessos que regiões subtropicais e polares.

Com base nos dados do mapa de solos da Ilha do Maranhão elaborado por Maranhão (1998f) e também com base em trabalhos de campo, Silva (2012) compilou um mapa de solos (Figura 59) na escala de 1:300. 000, nele foram representadas 6 classes de solos: Argissolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos Concrecionários, Gleissolos, Neoquartzarenico Alumínico, Neossolos Quartzarênicos Órticos e Solos Indiscriminados de Mangues.

Figura 59: Mapa das classes de solo da Ilha do Maranhão conforme Maranhão (1998f).



Fonte: Silva (2012).

As referidas classes de solos podem ser agrupadas em 4 ordens: Argissolos, Neossolos, Gleissolos e Solos Indiscriminados de Mangues.

EMBRAPA (2006) define como Argissolos os solos formados por material mineral com argila de atividade baixa ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico e horizonte B textural imediatamente abaixo de horizonte A ou E, podendo apresentar horizonte plintico (quando não está acima e nem coincide com o horizonte B textural) e horizonte glei (quando não está acima e nem coincide com o horizonte B textural). Possuem profundidade variável, classificados como forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas e em alguns raros casos com coloração brunada ou acinzentada.

Por Neossolos EMBRAPA (2006) os solos formados por material mineral, ou material orgânico com espessura inferior a 20 cm, não correndo presença de horizonte B diagnóstico. A apresenta ainda ausência de horizonte glei até 150 cm de profundidade, com exceção de solos com textura muito arenosa e arenosa-média; ausência de horizonte vértico abaixo do horizonte A; ausência de horizonte plíntico dentro de 40 cm,

ou dentro de 150 cm da superfície se imediatamente abaixo de horizontes A, ou E, ou precedido de horizontes de coloração pálida, matizada ou com mosqueados em grande quantidade; ausência de horizonte A chermozêmico com caráter carbonático, ou conjugado a horizonte C cálcico ou com caráter carbonático. Incluídos nesta classe estão também solos com horizonte A ou hístico, com menos de 20 cm de espessura, seguidos de camada ou camadas com 90% ou mais de fragmentos de rocha ou do material de origem.

Os Gleissolos são definidos por EMBRAPA (2006) como sendo solos formados por material mineral, com horizonte glei dentro dos primeiros 150 cm da superfície, logo abaixo do horizonte A ou E, ou do horizonte H (hístico) com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos, atendendo os requisitos de ausência de qualquer tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei; ausência de horizonte vértico, plântico ou B textural; ausência de horizonte plântico dentro de 200 cm partindo da superfície do solo.

Os Solos Indiscriminados de Mangues estão relacionados com os sedimentos da Formação Açuí, sua ocorrência se dá nas zonas de topografia baixa e plana sob a influência da maré e na foz dos rios que desaguam no mar. Segundo Lepsch et al. (1983) e Maranhão (1998f) são solos halomórficos com presença de matéria orgânica, desenvolvidos a partir de sedimentos marinhos e fluviais.

6 LEVANTAMENTO DOS ATRIBUTOS DE ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O zoneamento do escoamento superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência na escala de 1:25.000 considerou o levantamento e análise de alguns atributos, a saber: Geologia, aspectos pedológicos (textura e permeabilidade), densidade de drenagem, declividade, curvatura das vertentes e uso e cobertura do solo, foram agrupadas em classes e atribuídos valores.

6.1 Descrição dos atributos de Declividade

A carta de declividade (Figura 60) foi elaborada a partir da imagem raster SRTM com resolução espacial de 30 metros em ambiente de SIG.

Este atributo identifica as condições de declividade do terreno e condições para mensurar o comprimento das encostas que tanto sofrem quanto atuam no processo de modelagem do relevo no balanço morfogenético, Tricart (1957) diz que este processo pode ser entendido a partir de dois componentes, o primeiro é o perpendicular onde a infiltração de água no solo supera o escoamento superficial gerando pedogênese, o segundo é o paralelo onde o escoamento superficial supera a infiltração gerando morfogênese.

Os resultados mostraram uma bacia hidrográfica com pouca variação de declividade, ou seja, mais susceptível a processos pedogenéticos que morfogenéticos, com aspecto de uma rampa suavemente inclinada em direção á foz do Rio Paciência, destoando assim do padrão acidentado e declivoso da Ilha do Maranhão.

Conforme a classificação da EMBRAPA (2013) o domínio das classes de declividade (Gráfico 1) na bacia foram de plano (0-3%), suave ondulado (3-8%), ondulado (8-20%) e forte ondulado (20-40%). Sendo que as áreas que mais apresentaram a classe forte ondulado correspondem às encostas íngremes da margem esquerda da foz do Rio Paciência, zonas de extração de areia e lateríta, onde há uma forte intervenção humana decorrente de atividades de mineração e também em zonas de alta dinâmica fluviomarinha. Destaca-se que dentro do cálculo de percentagem os valores desta classe foram muito pequenos e não suficientes para ultrapassar 1%.

Gráfico 1: Percentagem do domínio das classes de declividade na Bacia do Paciência.

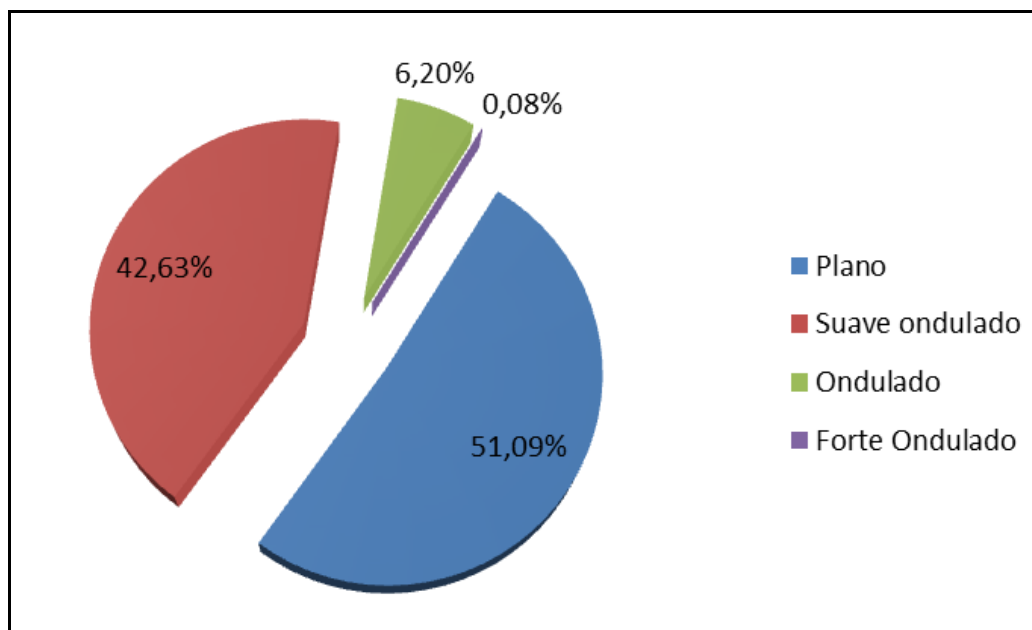
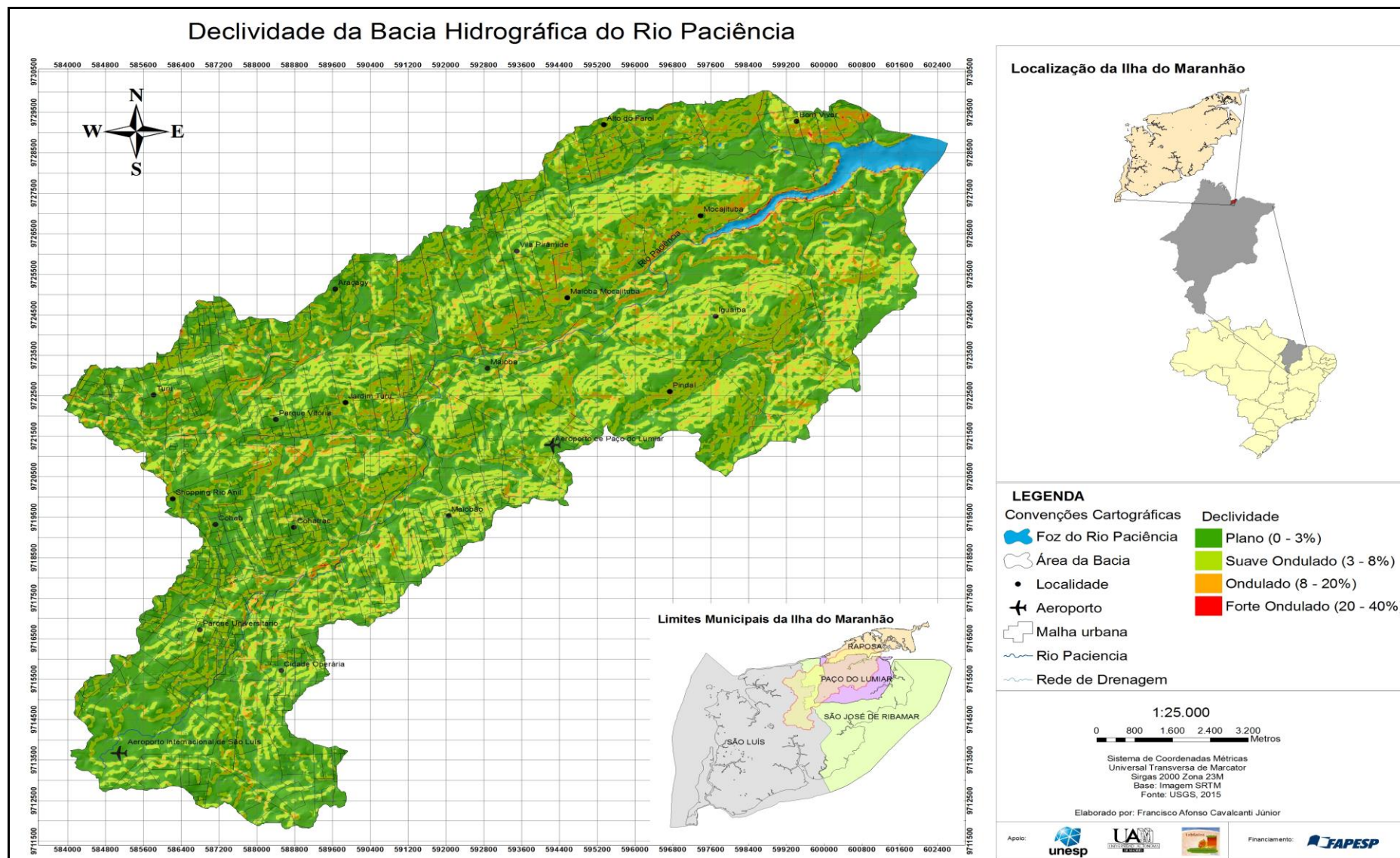


Figura 60: Carta de Declividade



A bacia hidrográfica apresenta uma predominância de declividade entre 0 e 3%, principalmente nas altas e baixas cotas altimétricas, ou seja, plana, EMBRAPA (2013) define esta classe de declividade como sendo de superfícies pouco declivosas, porém indefinidas ou horizontais, isso mostra uma tendência de saturação do solo antes que ocorra o escoamento superficial em um evento de forte precipitação ou mesmo um escoamento mais lento e sem grandes impactos considerando a vegetação.

A predominância de um terreno mais plano indica que as encostas podem possuir um comprimento maior, o que reduz os efeitos da gravidade na potencialização do deflúvio. Por esta razão o atributo declividade não se configura como o mais importante dentro da proposta de mapeamento geotécnico do escoamento superficial.

6.2 A carta geológica e seus atributos

A compartimentação dos aspectos geológicos para a bacia do Rio Paciência foi elaborada considerando os estudos já mencionados nos procedimentos metodológicos, todavia, o modelo geológico de Pereira (2006) para a bacia do Rio Bacanga, na Ilha do Maranhão, tem sua viabilidade de aplicação, em sua totalidade na bacia estudada, comprometida.

Apesar desse modelo ter sido compilado com base nos trabalhos de Rodrigues et al. (1994), ao ser aplicado em campo não foi possível observar características em perfis exposto que identificassem a Formação Itapecuru, mesmo nas bases das falésias.

A não ocorrência do afloramento dessa formação pode estar relacionada com um processo de intensa dissecação do relevo, provocado por movimento epirogênico positivo, e preenchimento das áreas com cotas altimetrias mais baixas por sedimentos resultantes de movimentos eustáticos. Essas premissas se baseiam nos descritos de Ab'Saber (1960) para explicar a separação entre a Ilha do Maranhão, bem como a planície de colmatagem de Perízes, e o continente e na observação do domínio de planícies que diminui suavemente em direção à foz da bacia.

A premissa da dissecação e agradação do relevo, associada a movimentos eustáticos, ganha mais sustentação aos observarmos os terraços fluviais e litorâneos em ambas as margens na foz da bacia, conforme Suguio (1998) essas unidades geomorfológicas dão indícios de eventos eustáticos e/ou tectônicos que podem modificar o relevo e aprofundar o canal de drenagem. Outra evidencia agradação do

relevo são as pequenas conchas encontradas nos perfis dos terraços na região do município de Raposa.

Estes processos podem ter recoberto a Formação Itapecuru com uma espessa capa de sedimentos carregados e depositados em decorrência da baixa declividade. Acerca disso Morgan (1986) *Apud* Guerra (2001) salienta que em encostas muito íngremes, a erosão pode diminuir devido ao decréscimo de material disponível (p. 163), logo podemos inferir que as encostas da bacia hidrográfica estudada um processo intenso de aggradação de sedimentos devido às suas baixas declividades.

O mapeamento geológico da bacia (Figura 61) tratou-se de um procedimento minucioso que buscou uma representação gráfica o mais próximo possível da realidade, por isso com base no descrito anteriormente foram identificadas a ocorrência das formações Barreira e Aquí e propostas cinco classes de unidades de fácies para a bacia, a saber: depósito fluviomarinho, depósito de pântanos e mangues, depósito aluvionar, fácies arenoargilosa e fácies arenosa.

A unidade de fácies sedimentar arenosa (Figura 62) está contida na Formação Barreiras e é caracterizada pelos arenitos e material arenoso inconsolidado na superfície, com cores variando do ocre ao amarelo e altitude variando de 65 a 25 metros. É a unidade predominante na bacia.

Figura 61: Carta geológica da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência

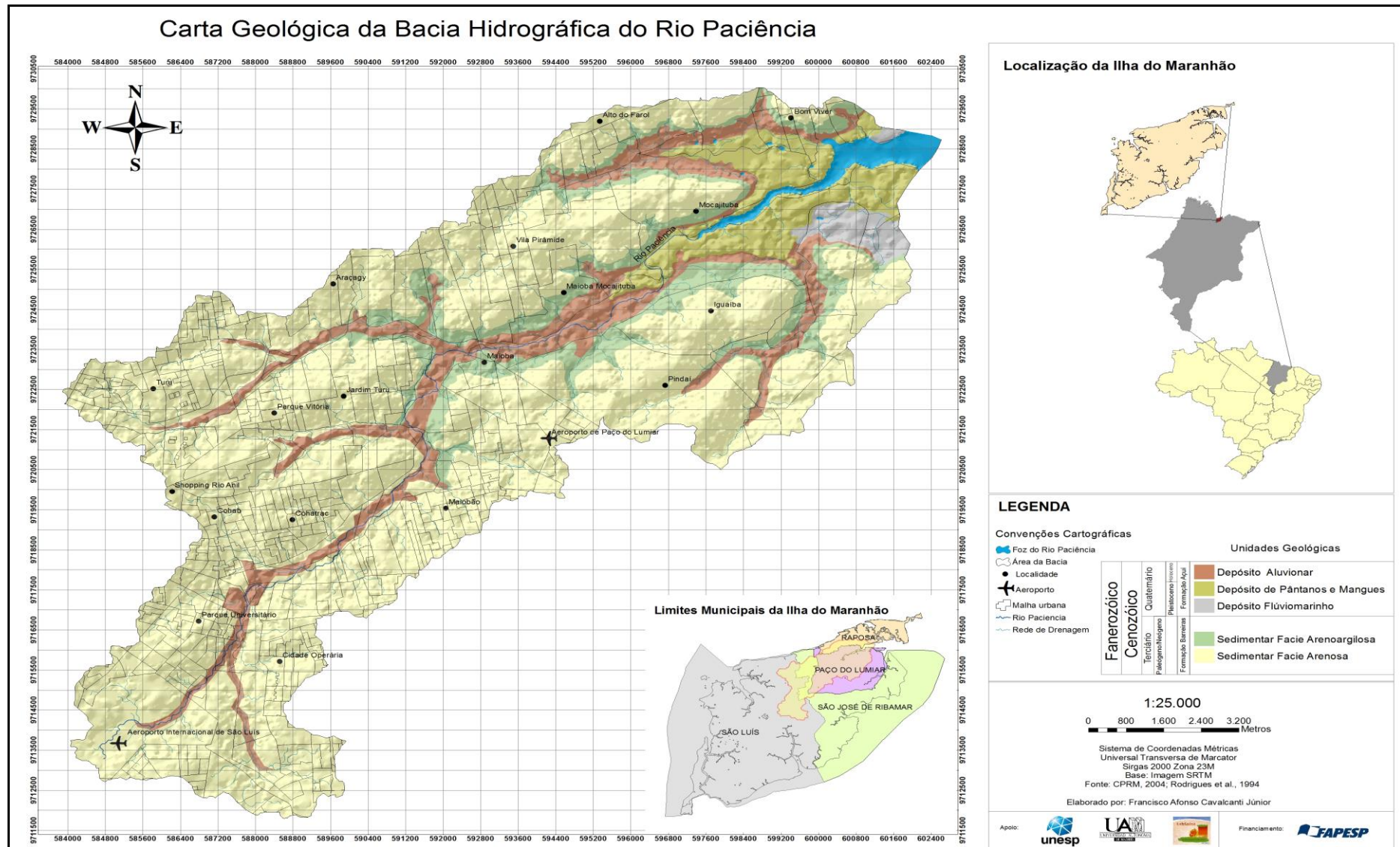
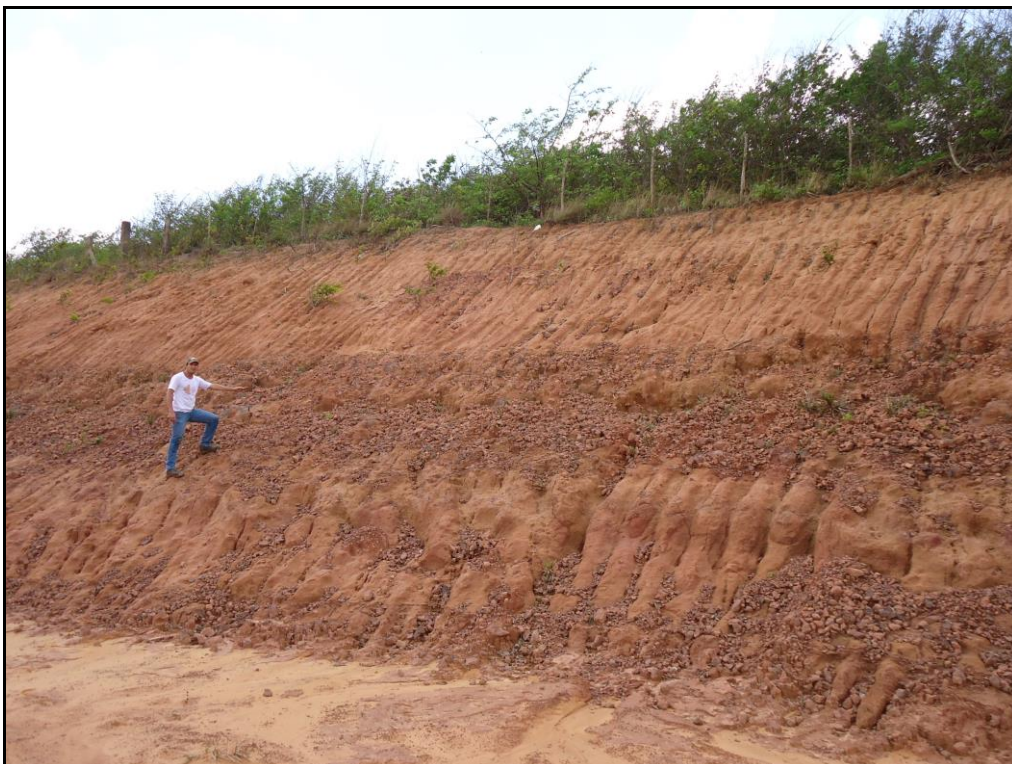


Figura 62: Fácies arenosa no topo das colinas.



A unidade de fácies sedimentar arenoargilosa (Figura 63) está contida na Formação Barreiras e é caracterizada pelos siltitos maciços e material arenoso inconsolidado, com cores que variam do amarelo ao alaranjado e topografia variando de 25 a 15 metros, em algumas áreas pode haver afloramento de linhas de rochas ou *stone lines* caracterizadas pela presença de laterítas.

Figura 63: Fácies arenoargilosa das encostas.



A unidade de depósito fluviomarinho (Figura 64) está contida na Formação Açuí e é caracterizada pela sedimentação das áreas mais baixas da bacia em decorrência da combinação de processos fluviais e marinhos, está susceptível a inundações periódicas pela maré alta, solo predominantemente muito arenoso e topografia variando de 10 a 5 metros.

Figura 64: Unidade de depósito fluviomarinho.



A unidade de depósito de pântanos e mangues (Figura 65) está contida na Formação Açuí e é caracterizada por sedimentos pelíticos, do tipo argila e silte, originados de processos fluviomarinhos e são recobertos por vegetação de mangue, está constantemente susceptível a inundação causada pela amplitude de maré, possui topografia variando de 5 a 0 metros.

Figura 65: Unidade de depósito de pântanos e mangues.



A unidade de depósito aluvionar (Figura 66) está contida na Formação Açuí e é caracterizada pela deposição de sedimentos detríticos resultantes dos processos dos rios atuais nos canais fluviais; não possui uma topografia em específico, mas ocorre nos canais fluviais ao longo de toda a bacia.

Figura 66: Unidade de depósito aluvionar.



6.3 Descrição do espectro de tamanho de partículas do solo

Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA (2013) entende-se por solo todo o conjunto de corpos naturais, contendo em sua composição elementos sólidos, líquidos e gasosos, com dinamismo e dispostos tridimensionalmente, sendo formados por materiais orgânicos e minerais que recobrem grande parte da superfície terrestre continental, contendo também matéria viva e podendo ser passível de ações antrópicas.

Neste ponto queremos salientar que apesar do trabalho fazer menção a solos em nenhum momento se fez classificação de solos, em decorrência de não ser este o objetivo da pesquisa, mas fizemos classificação de textura e mensuramos a densidade do solo.

Destacamos também que o levantamento do item “espessura do solo”, como parte da técnica para o zoneamento do escoamento superficial, foi inviável e como sua influência neste processo é pequena optou-se por desconsiderá-lo.

6.3.1 Textura e Profundidade

Para esta classe foram coletadas amostras de solos em 3 profundidades (20 cm, 40 cm e 60 cm). Em laboratório foram determinados os parâmetros granulométricos para cada amostra, totalizaram 108, com 954 determinações, os resultados possibilitaram a classificação textural, conforme EMBRAPA (2013) e a partir daí a compilação das cartas de classes texturais para 20 cm, 40 cm e 60 cm de profundidade (Figura 67, Figura 68, Figura 69).

A classificação foi realizada com base no 5º nível categórico seguindo a orientação para o 5º e 6º níveis, que é o de atender a funções pragmáticas. As características diferenciais e propriedades que afetam o uso e o manejo do solo para fins diversos devem ser priorizadas para a classificação nesses dois níveis categóricos (EMBRAPA, 2013, p. 284).

Para a carta de classes texturais de 20 cm de profundidade os resultados mostraram que o grupamento predominante é o de textura arenosa. Este grupamento é caracterizado por apresentar classes texturais arenosa e muito arenosa, pois apresenta um teor de areia maior que 700g/ kg¹ em relação à argila e silte.

Por sua vez na carta de classes texturais de 40 cm de profundidade os resultados mostraram que o grupamento predominante é o de textura média. Este grupamento é caracterizado por apresentar classes texturais média-argilosa, média-arenosa e média-siltosa, este grupamento ainda é identificado por conter material com menos de 350g/ kg¹ de argila e mais de 150g/ kg¹ de areia. Estão excluídas deste critério as classes arenosa e muito arenosa.

Na carta de classes texturais de 60 cm de profundidade os resultados mostraram que a classificação de grupamento é a de textura média. Todavia, destaca-se que houve uma predominância da classe textural média-argilosa e um significativo aumento do teor de argila nas demais classes.

Figura 67: Carta de classes texturais para 20 cm de profundidade da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.

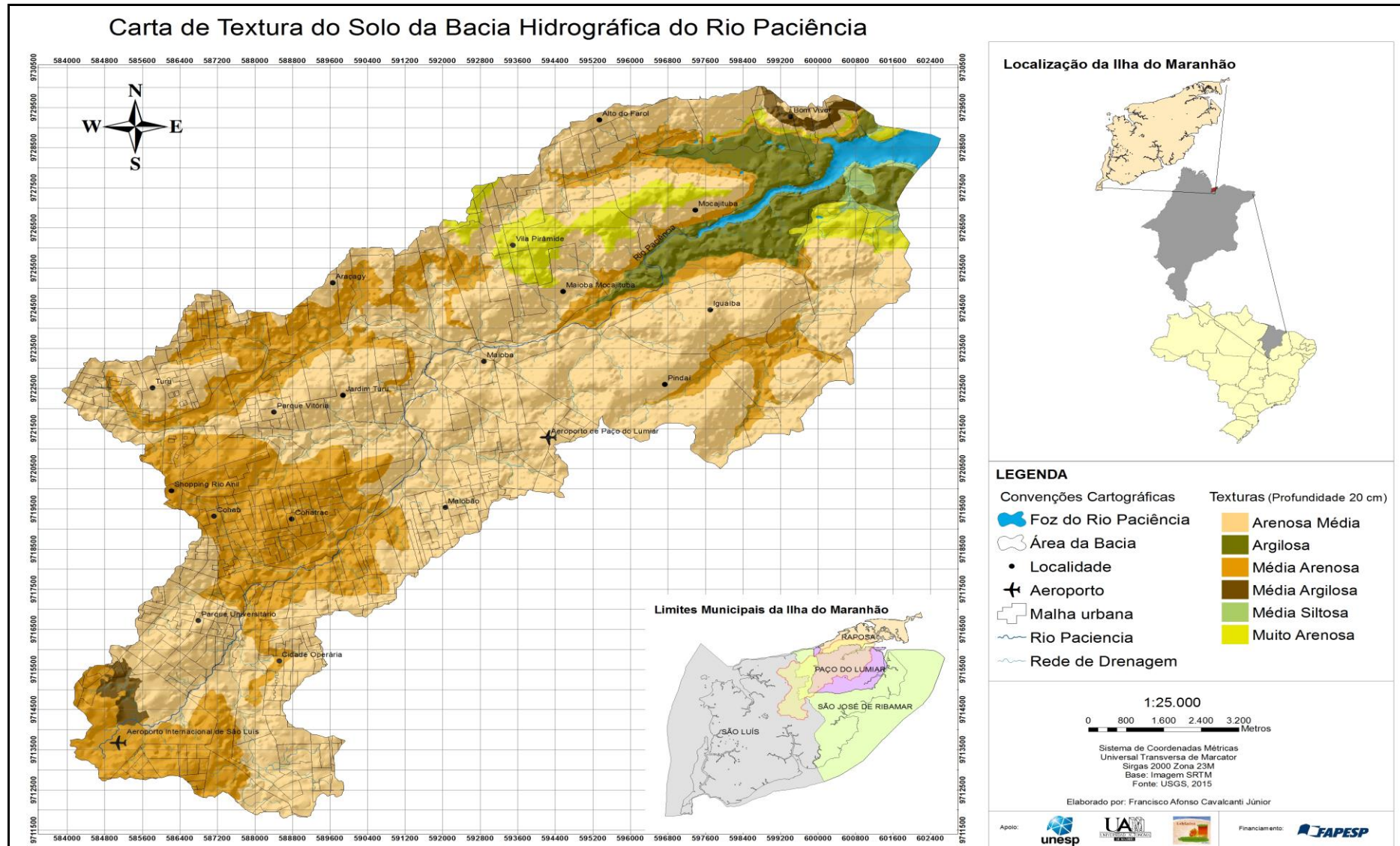


Figura 68: Carta de classes texturais para 40 cm de profundidade da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.

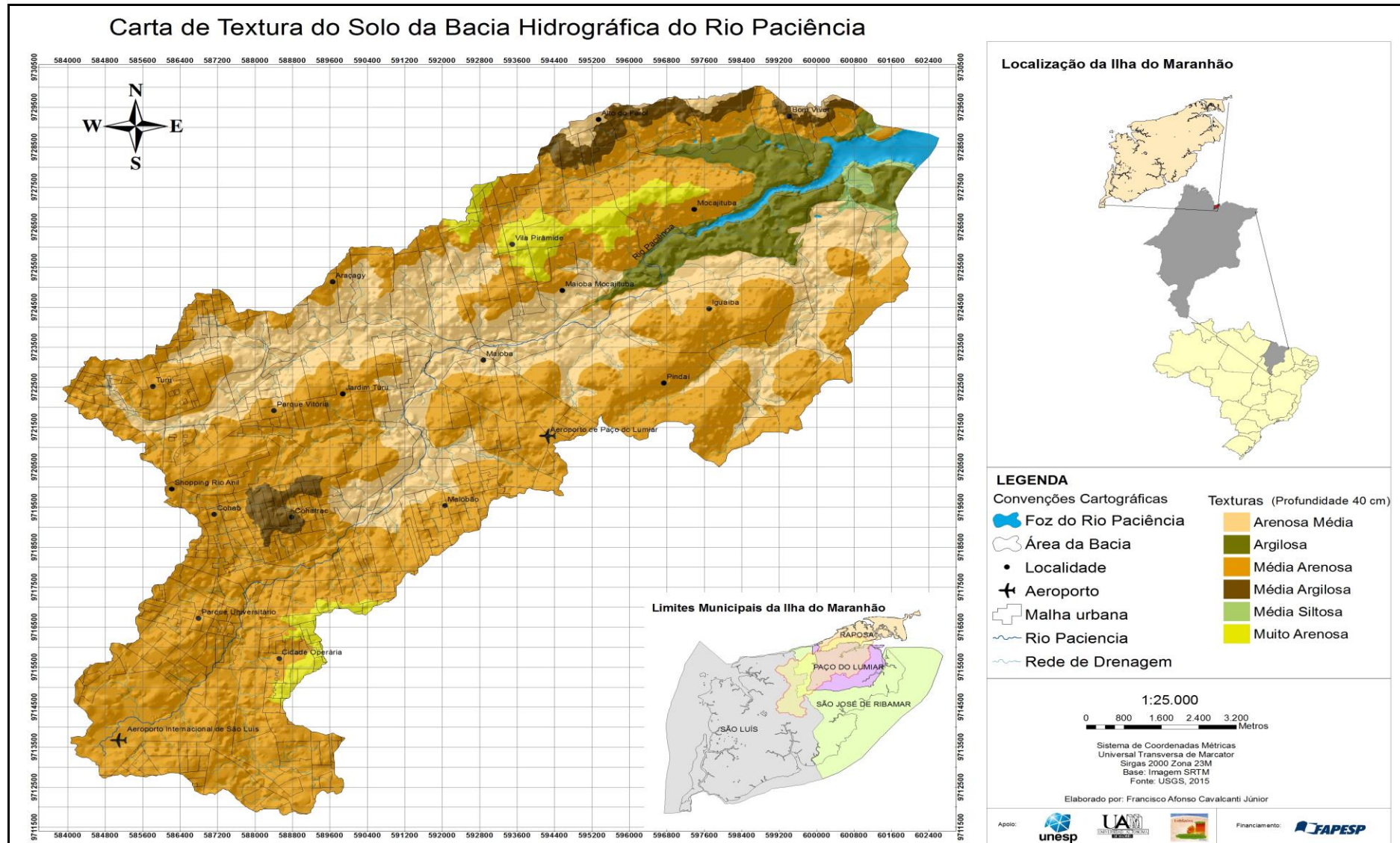
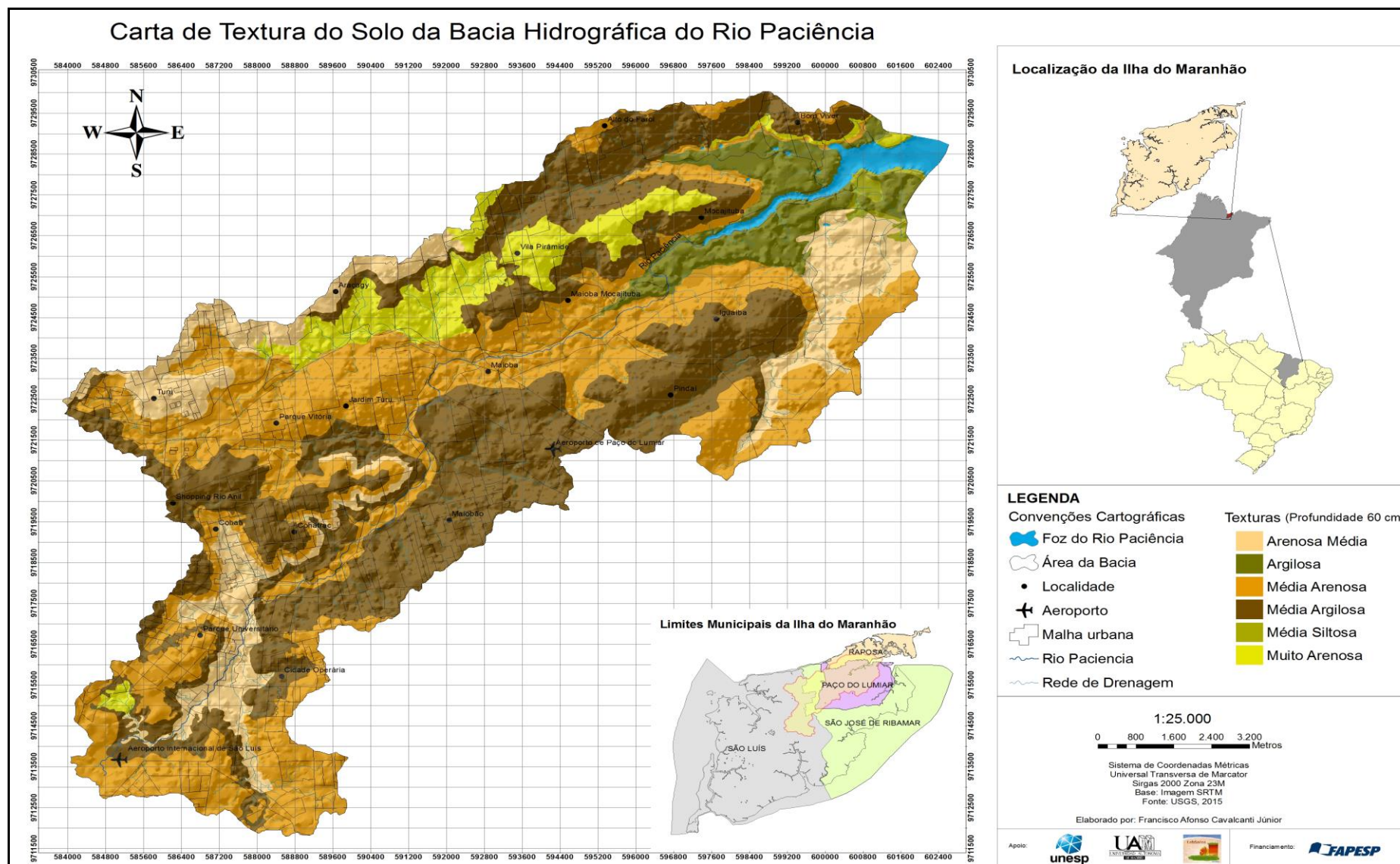


Figura 69: Carta de classes texturais para 60 cm de profundidade da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.



De modo geral pode-se afirmar que o perfil da bacia do Rio Paciência é de solos com um alto teor de areia (Figura 70), que se evidencia nas classes de subgrupoamento textural.

Figura 70: Sedimentos arenosos de um perfil da bacia.



Quanto ao subgrupoamento textural foram identificadas, em todas as cartas, características que permitiram subgrupá-las em 6 classes texturais de solo, a saber: muito arenosa, arenosa-média, média-arenosa, média-argilosa, média-siltosa e argilosa.

A classe textural muito arenosa corresponde à classe areia que era adotada pelas edições anteriores do SiBCS da EMBRAPA, tem como característica apresentar um teor de areia superior a 850g de areia por kg.

A classe textural arenosa-média corresponde à classe areia franca nas edições anteriores do SiBCS, é caracterizada por apresentar um teor de areia superior a 700g/ kg e inferior a 850g/ kg.

A classe textural média-arenosa corresponde à classe francoarenosa nas edições anteriores do SiBCS e é caracterizada por apresentar mais de 520g/kg na fração areia.

A classe textural média-argilosa corresponde à classe franco-argiloarenosa nas edições anteriores do SiBCS, sendo caracterizada por apresentar um teor de argila de até 350g/ kg e um teor de areia de até 460g/kg.

A classe textural média-siltosa é caracterizada por apresentar uma composição granulométrica com menos de 350g/ kg de argila e mais de 150g/ kg de areia. Estão excluídos deste critério os subgrupamentos anteriormente citados.

A classe textural argilosa é caracterizada por sua composição granulométrica com teor de argila entre 350g/kg e 600g/ kg.

Todo o levantamento textural da bacia ainda possibilitou outro tipo de classificação considerando o seu potencial de drenagem. Segundo EMBRAPA (2013) as classes de drenagem estão relacionadas com o potencial de quantidade e rapidez com que ocorre a infiltração e o escoamento da água recebida pelo solo, afetando assim as suas condições hídricas.

Por tanto, o solo da bacia para a profundidade de 20 cm pode ser classificado como excessivamente drenado por estar classificado no grupamento textural arenoso. Nesta classe de drenagem a água é removida do solo com rapidez, pois o mesmo possui um elevado grau de porosidade e muito permeável, sendo a textura arenosa comum a solos desta classe.

Foram classificados como fortemente drenado os solos da bacia com 40 cm de profundidade por estarem classificados no grupamento textural médio. Nesta classe de drenagem a água é removida do perfil com rapidez, pois o mesmo possui um grau alto de porosidade e muito permeável, sendo as texturas média e arenosa comuns a solos desta classe.

Para os solos de 60 cm de profundidade a classe de drenagem determinada foi a de acentuadamente drenado por estarem classificados do grupamento médio, mas apresentarem teor de material argiloso em maior quantidade e mais distribuído na área da bacia que os solos de 40 cm de profundidade. Nesta classe de drenagem a água é removida rapidamente do perfil e o solos são normalmente de textura média ou argilosa, mas sempre com muita porosidade e bem permeáveis.

A sobreposição das 3 cartas de profundidade mostra que na medida em que a profundidade do solo se acentua a porosidade diminui tornando a infiltração um processo mais lento, porém o alto teor de areia ainda retarda e/ou diminui o processo de escoamento superficial.

6.3.2 Permeabilidade

A permeabilidade do solo é uma informação complementar aos dados de textura já levantados e fornece um panorama da vulnerabilidade dos lençóis freáticos subsuperficiais e consequentemente do escoamento superficial da bacia.

Para este parâmetro foram considerados ensaios de infiltração de água no solo para 33 pontos, porém uma grande área, correspondente às planícies fluvio marinhas da bacia do Rio Paciência, encontrar-se sem a presença de informação de dados, isto ocorreu devido às características peculiares de instabilidade dos sedimentos fluvio marinhos.

Por se tratar de um ensaio de infiltração em camada superficial as informações da carta do potencial de infiltração estão correlacionadas com as informações da carta de classes texturais para 20 cm de profundidade.

Os resultados mostram uma bacia bem compartimentada, conforme os parâmetros de Reichardt (1990), quanto a sua susceptibilidade à infiltração (Figura 71).

O alto curso da bacia apresenta um terreno com baixo potencial à infiltração, é aí que também se encontra o maior adensamento urbano da bacia e um solo altamente alterado pela ação humana, estes aspectos reverberam diretamente na capacidade de condutividade hidráulica do solo evidenciado pelas maiores taxas de densidade absoluta do solo registrados para a bacia com média de $2,2628 \text{ g/cm}^3$.

O médio curso da bacia apresenta um terreno com potenciais de infiltração alto e baixo, porém a predominância é de médio. Seguindo a lógica do adensamento populacional está área, se comparada com o alto curso, apresenta um padrão médio de uso da terra, todavia este padrão ainda contribui para compactação do solo que mostrou um taxa de densidade absoluta com média de $2,1691 \text{ g/cm}^3$.

O baixo curso da bacia por sua vez apresenta como resultado um terreno com alto potencial à infiltração de água no solo, esta área é menos urbanizada que as demais e apresenta características bem rurais do ponto de vista do uso e cobertura da terra e dos

costumes da população. Os resultados de densidade absoluta do solo para a área foi de uma média de 2,0250 g/cm³.

Quando comparados, considerando as áreas de ocorrência das especificidades, as cartas do potencial de infiltração de água no solo e a carta de classes texturais para 20cm de profundidade estabelecem uma correlação onde as áreas de maior concentração de solos com teor de areia foram as que apresentaram as maiores taxas de infiltração e consequentemente as com menos teor de areia maiores taxas.

Por inferência podemos afirmar que o mapeamento considera os solos mais arenosos como susceptíveis à infiltração de água no solo, logo menos susceptíveis ao escoamento superficial. Dessa forma invertendo os valores de potencialidade do mapa temos uma bacia hidrográfica com um alto potencial ao escoamento superficial no alto curso, médio potencial de escoamento superficial no médio curso e baixo potencial de escoamento superficial no baixo curso.

Os ensaios também mostraram que um período aproximadamente entre 1 hora e 1 hora e meia é o suficiente para que a infiltração se estabilize e consequentemente percole o perfil por força gravitacional conforme os gráficos Gráfico 2, Gráfico 3, Gráfico 4 para o topo a encosta e base das colinas.

Gráfico 2: Tempo de estabilização da infiltração para o topo das colinas.

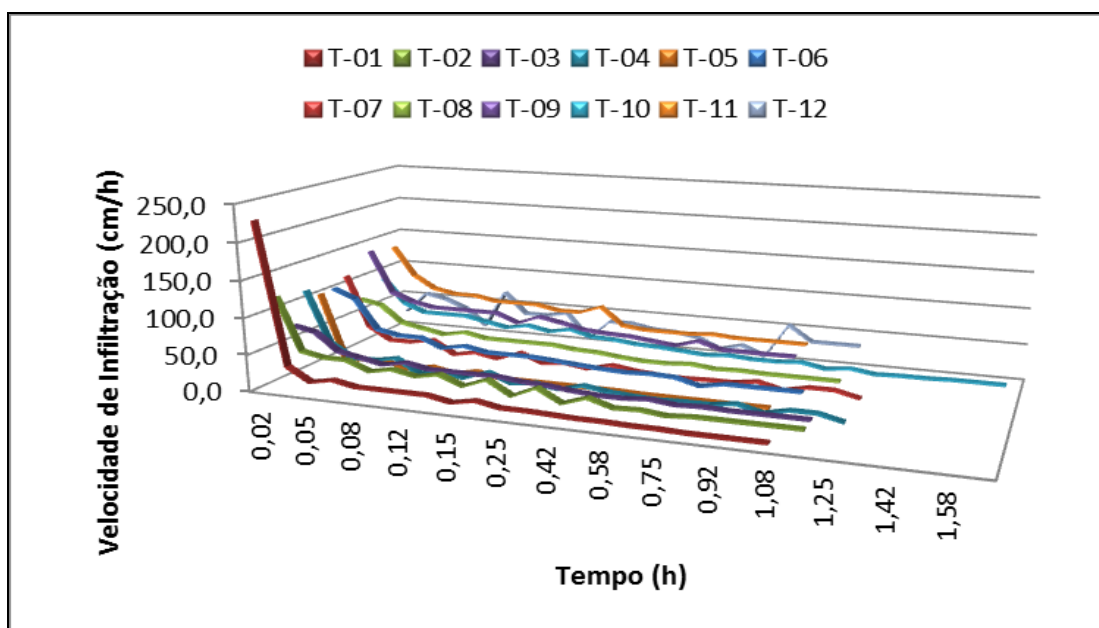


Figura 71: Carta de susceptibilidade a infiltração da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.

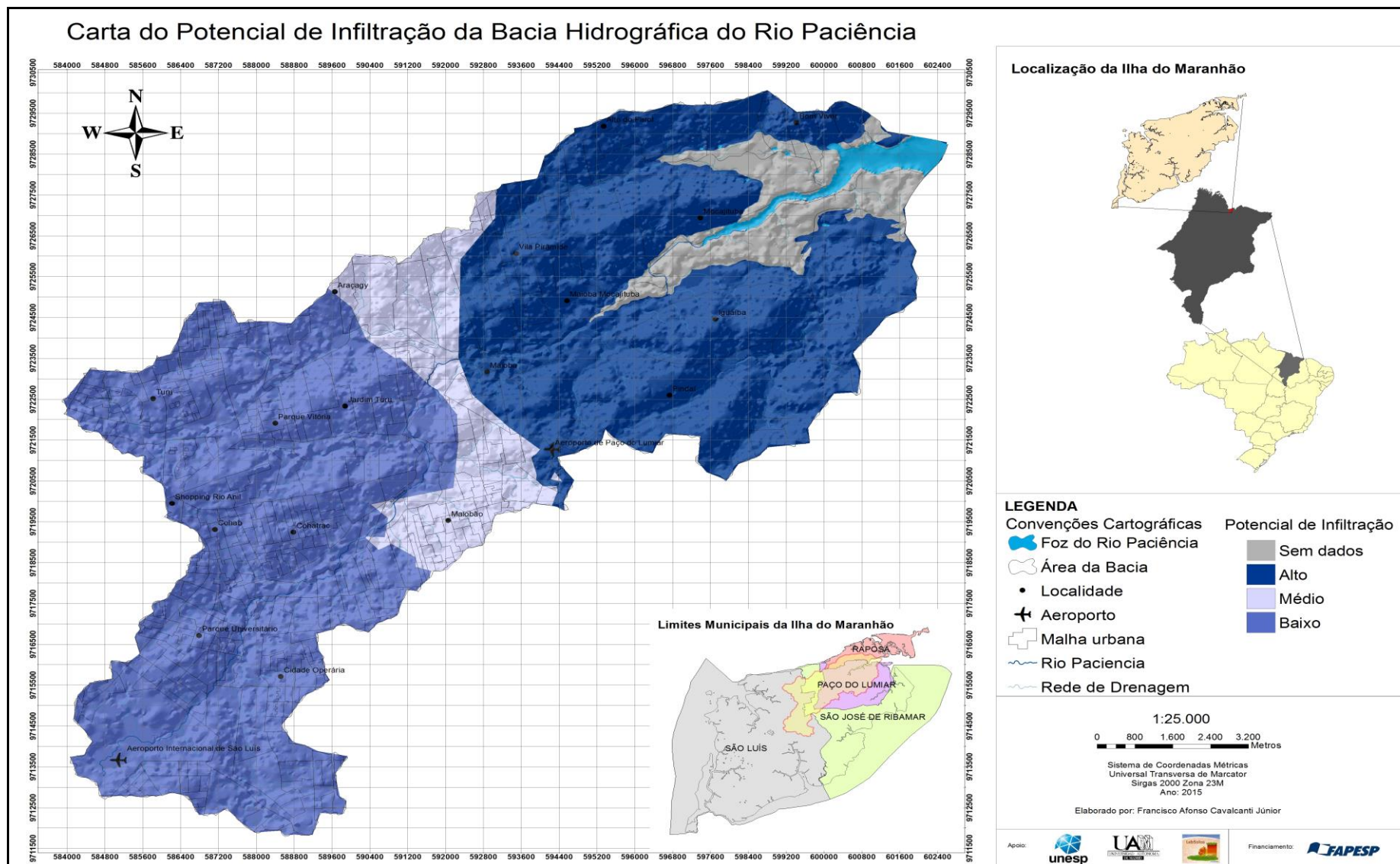


Gráfico 3: Tempo de estabilização da infiltração para a encosta das colinas.

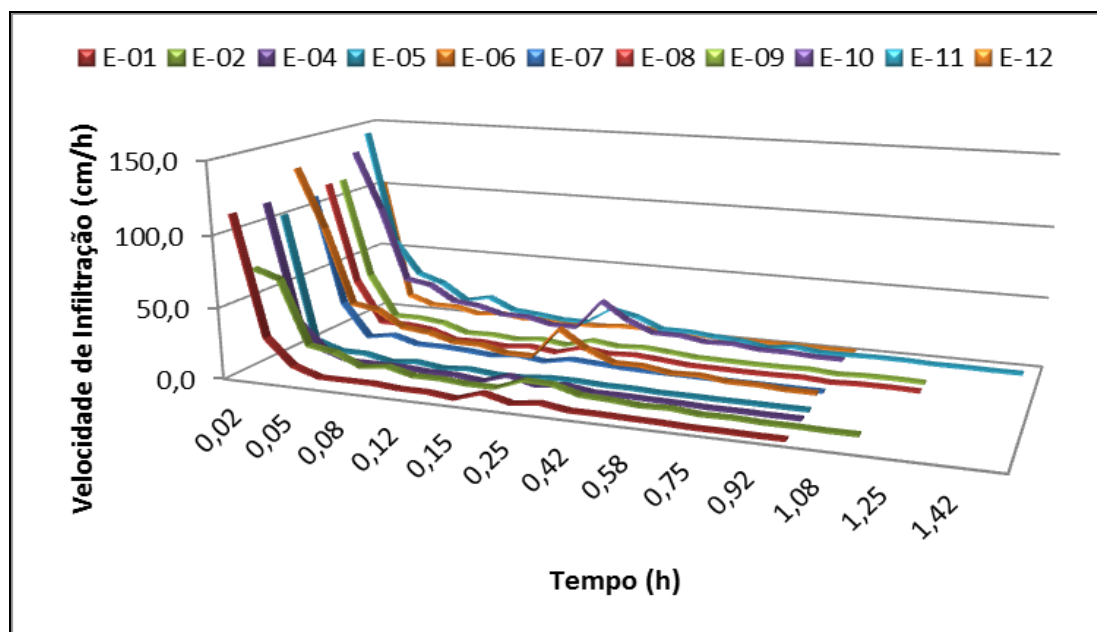
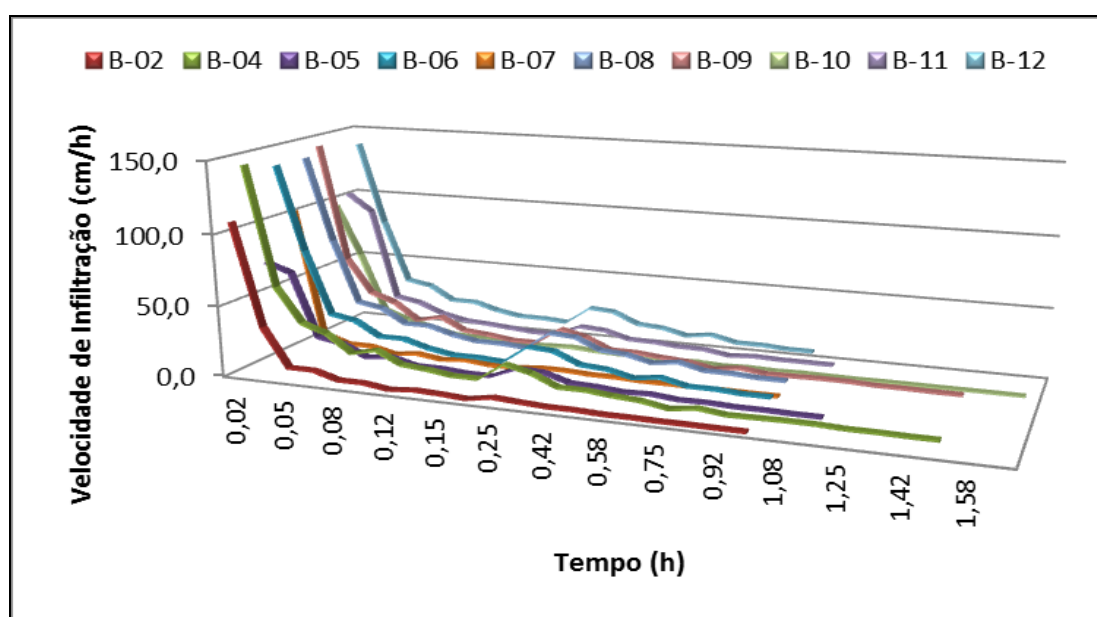


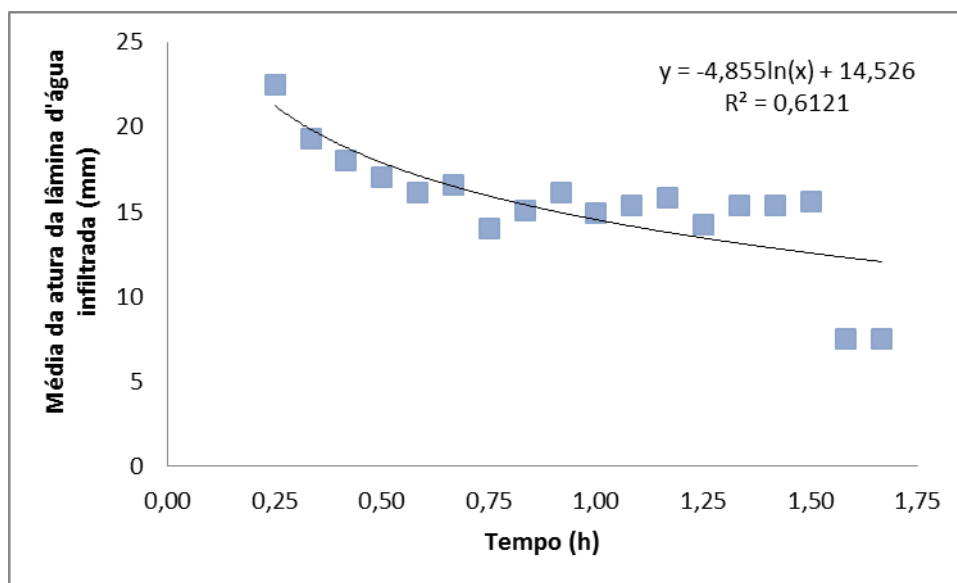
Gráfico 4: Tempo de estabilização da infiltração para a base das colinas.



As medições foram realizadas nos 10 minutos iniciais com intervalo de 1 minuto e após o 10º minuto com intervalos de 5 minutos até a estabilização da infiltração. Para padronizar a leitura da unidade de medida o tempo de minutos foi convertido para horas.

Conforme os valores de estabilização foi possível realizar a análise da média da altura da lâmina d'água infiltrada (Gráfico 5).

Gráfico 5: Média da lâmina d'água infiltrada.



O gráfico apresenta uma bacia com solo capaz de receber uma média de 22,5 mm de água, em condições normais e que atinge o ponto de estabilização recebendo 7,5 mm dentro do tempo analisado. Esta representação trata-se de uma média e cada ponto de ensaio de infiltração, individualmente, apresenta valores de estabilidade com volume e tempo diferentes considerando as particularidades do solo, bem como de sua forma de apropriação. Há áreas da bacia que podem receber até 54 mm no início da chuva e se estabilizando com 30 mm no final, devido à característica mais arenosa do solo, sem apresentar uma tendência alta ao escoamento, em contra partida há áreas que podem receber até 5 mm de precipitação no início do evento e se estabilizando com 3 mm, devido à característica mais argilosa do solo.

Todavia, apesar da generalização dos valores de média estes dados são válidos para fins de se obter um panorama da bacia diante de um evento chuvoso e como forma de compreender a susceptibilidade do terreno à infiltração de água.

Considerando isoladamente este atributo de análise, dentro zoneamento, é possível afirmar que, de modo geral, um evento chuvoso com mais de 22,5 mm (> 22,5 mm) de precipitação, distribuída em 1h40min de duração, ultrapassa a capacidade de infiltração do solo e favorece o escoamento superficial na bacia, de outro modo, um evento chuvoso de até 22,5 mm que ocorre de uma única vez em um espaço de tempo inferior ao analisado também poderá reverberar no escoamento superficial. Isto ocorre devido à disponibilização de um volume de chuva muito grande em um curto espaço de

tempo, onde mesmo o solo não tendo atingido a sua capacidade de saturação desencadeia um processo de escoamento, ou seja, há mais disponibilidade de água do que ele consegue absorver dentro de um determinado tempo.

A correlação da permeabilidade do solo com a pluviosidade é um ponto relativo, visto que depende de fatores como intensidade da chuva, duração do evento e características da área de análise.

6.4 Aspectos hidrográficos

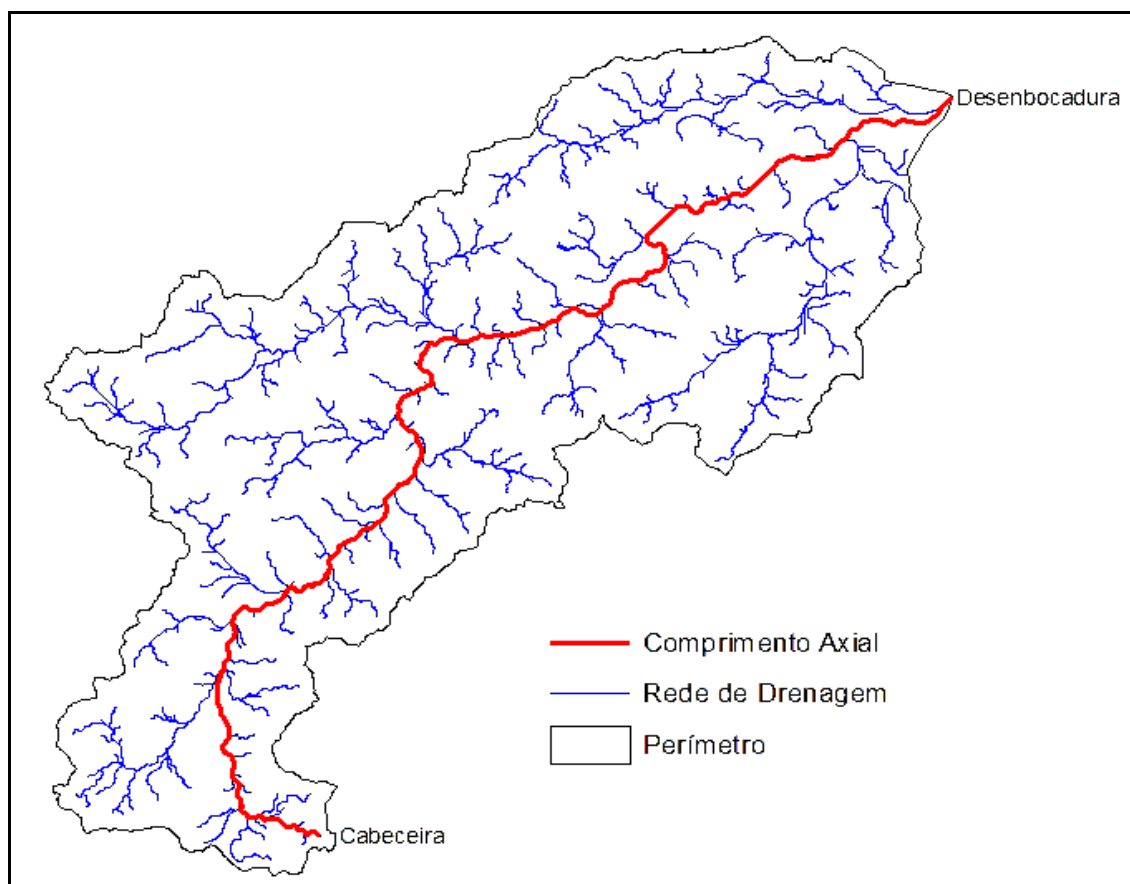
6.4.1 Morfometria

A análise morfométrica da bacia reuniu alguns parâmetros importantes e que devem ser considerados no estudo conjunto de seus potenciais para o escoamento superficial.

A bacia do Rio Paciência apresenta uma rede de drenagem de 5ª ordem, conforme Strahler (1952). É extensa e bem ramificada sendo classificada como do tipo treliça, segundo Christofolletti (1980) este padrão de drenagem é caracterizado por rios principais e consequentes correndo paralelamente e recebendo tributários subsequentes que correm em direção transversal. Sua drenagem fluvial é do tipo exorréica, pois se dirige para o mar.

De acordo com os índices morfométricos a bacia (Figura 72) apresentou uma área de 150 km², perímetro de 82 km e comprimento axial foi de 30,72km, esses dados permitiram o cálculo dos índices de coeficiente de compactidade e fator de forma.

Figura 72: Representação gráfica dos índices morfométricos.



Entender formato em orientação plana de uma bacia é importante para mensurar os impactos que o escoamento superficial pode causar em um determinado tempo de precipitação, ou seja, saber o tempo que água precipitada leva para alcançar o exutório desde o terço superior das colinas da bacia.

Os cálculos mostraram uma bacia com coeficiente de compacidade igual a 1,8, segundo Villela e Mattos (1975) quanto maior for o valor deste coeficiente maior será a irregularidade da bacia tomando como base um padrão de formato circular que tem valor de 1,0. Este resultado demonstra que a bacia do Rio Paciência é pouco propensa a inundações.

O valor do índice de fator de forma foi de 0,15, o que reafirma a baixa predisposição da bacia para enchentes. Este índice associa a forma da bacia a uma figura alongada que se distancia da forma circular, com valor fixo de 1,0, que é tomada como parâmetro conforme a proposta de Villela e Mattos (1975).

As bacias estreitas e alongadas possuem uma capacidade de fluxo de vazão bem melhor que as de formato próximo ao circular visto que, a probabilidade de um evento

de forte precipitação cobrir toda a sua área ao mesmo tempo é menor e que a alta densidade de afluentes em toda a extensão do rio principal faz com que o fluxo de água recebido não o atinja ao mesmo tempo estabelecendo uma razão de deflúvio superior à precipitação.

Considerando que as enchentes são processos naturais onde o volume de água, em eventos extremos, atinge níveis que normalmente não atinge, os parâmetros morfométricos conseguem, neste sentido, oferecer uma boa resposta. Todavia, há particularidades dentro da bacia que não são consideradas nos cálculos e que podem exercer forte influência na predisposição a alagamentos, que por sua vez ocorrem como consequência da ação humana, e destacamos aqui as diferentes formas de ocupação da paisagem.

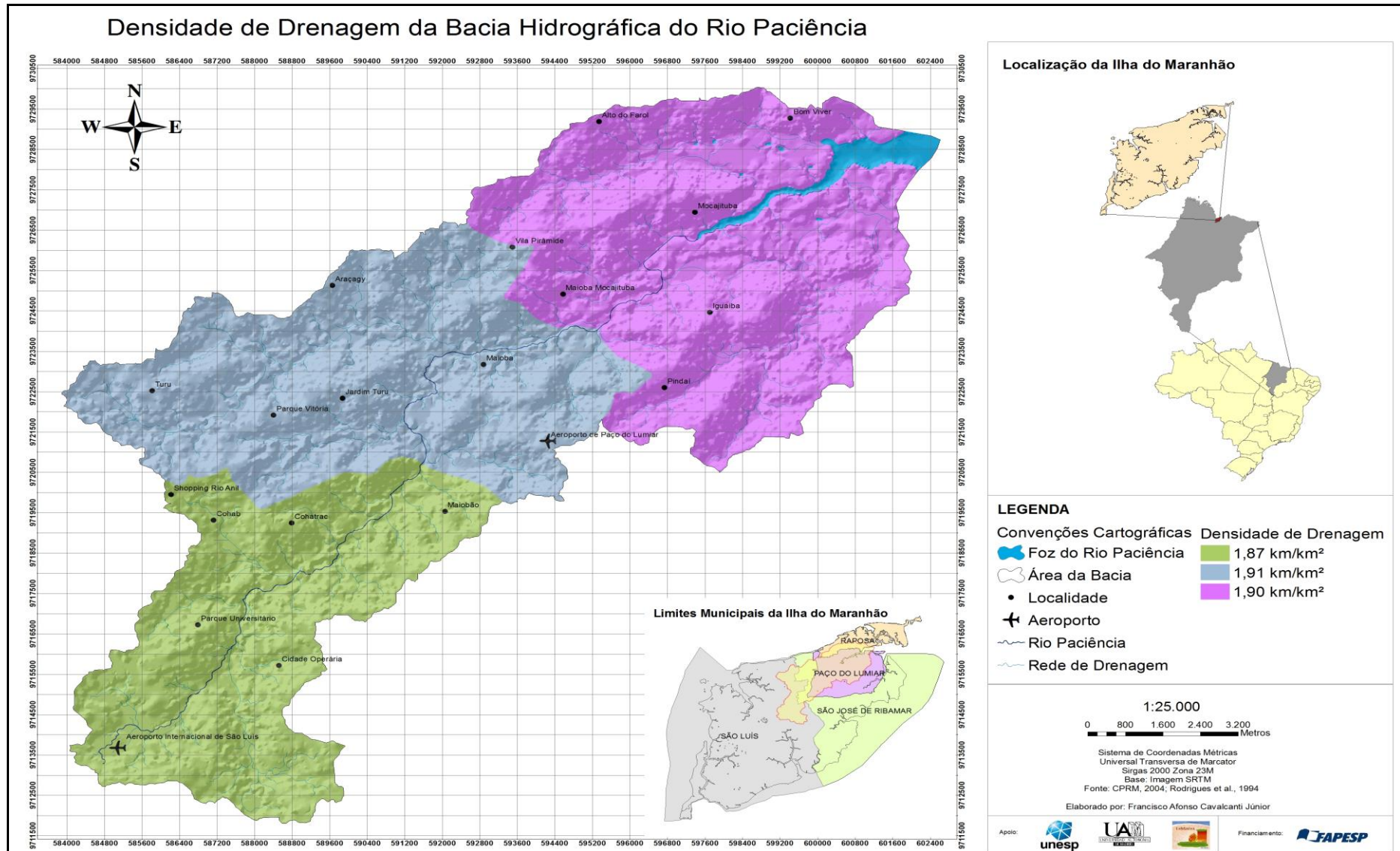
6.4.2 Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem é obtida pela relação soma do comprimento total dos segmentos dividida pela área, este índice fornece um indicativo da eficiência da drenagem. Este atributo foi estabelecido com base na hierarquia de canais de Strahler (1952), optou-se secção da bacia em cursos (alto, médio e baixo) para fins de análise.

Portanto, a Bacia do Rio Paciência apresenta um rio principal com 30,45 km de extensão e uma densidade de drenagem de 5,68 km/km², conforme Villela e Mattos (1975) este índice a classifica como uma bacia excepcionalmente bem drenada.

Quando seccionada a bacia apresenta, no alto curso, densidade de drenagem de 1,87 km/km² e 108 segmentos de drenagem, o médio curso 1,91 km/km² e 119 segmentos, baixo curso com 1,90 km/km² e 150 segmentos (Figura 73). Quanto maior for o valor de densidade de canais em uma área, menor será o tempo em que a lâmina d'água das áreas drenadas levará para alcançar os tributários e o canal principal da bacia, com isso a probabilidade de enchente diminui e o fluxo de escoamento superficial aumenta.

Figura 73: Carta de densidade de canais por secção da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.



6.5 Caracterização do Relevo

6.5.1 Mapeamento Geomorfológico

O relevo da Ilha do Maranhão está intrinsicamente ligado ao processo de formação do Golfão Maranhense que segundo Ab'Saber (1960, p. 5) [...] constitui uma espécie de ampliação das costas de rias existentes na faixa terciária do nordeste do Maranhão. Estas rias, ao longo de milhões de anos, passaram por processo de colmatagem evidenciada na planície alagadiça da baixada de Perizes.

A estrutura morfológica de Perizes dá indícios de que no passado, onde hoje está esta extensa faixa de terra, foi um grande golfão interior, no qual, ainda segundo Ab'Saber (1960), atrás da Ilha do Maranhão formou-se um grande golfão interior que forçou os grandes cursos d'água a desaguiarem em pontos a muitos quilômetros de distância para o interior da linha de costa que anteriormente existia. Portanto, a planície fluviomarina de Perizes representa hoje o contorno geográfico interno do antigo golfão interior.

Os pequenos outeiros da baixada de Perizes, que se assemelham às colinas de topos convexos, são estruturas testemunhas e que no passado constituíam as ilhotas do golfão pleistocênico. Ainda segundo Ab'Saber outro indício da existência de um golfão maior que o atual são os mesmos pacotes de sedimentos terciários encontrados na Ilha do Maranhão e nas áreas mais ao interior do continente depois da baixada de Perizes.

Ab'Saber (1960) sistematiza os diversos acontecimentos que deram origem à Ilha do Maranhão e a baixada de Perizes após a formação e soerguimento da Formação Barreiras. Os fatos estão seriados apresentando os seguintes acontecimentos:

1. Soerguimento epirogênico da faixa sedimentar da Formação Barreiras, deixando a linha de costa, que já estava há muitos quilômetros adentro, ainda mais longe. A consequência desse soerguimento foi uma superposição hidrográfica extensiva para a região. Nesse mesmo período muitos cursos d'água do nordeste do Pará e noroeste do Maranhão se estenderam conseqüente e subparalelamente até a nova linha de costa;
2. Após a superimposição do encaixamento da drenagem sobre a Formação Barreiras, houve a formação de uma superfície intermediária suavemente ondulada nas elevações topográficas das formações terciárias. No ápice do

aplainamento do nível intermediário e sob condições climáticas pretéritas formaram-se os horizontes de cangas lateríticas, muito características de 25 a 30 metros nas colinas de nível médio da Ilha do Maranhão e nas colinas (nos níveis de 30, 40 e 50 metros) do baixo planalto colinoso situado após a baixada de Perizes, por meio de processos iluviais. Isso leva a crer que este horizonte laterítico na região é antiga, pelo menos à fase eustática que deu origem ao golfão e às grandes rias;

3. A partir do nível recapeamento do relevo anteriormente descrito houve uma retomada generalizada da erosão fluvial por novas forças epirogênicas. Essa retomada repentina da erosão fluvial causou o aprofundamento dos principais vales a um nível ainda mais baixo que o da atual baixada de Perizes. Este processo de erosão e rejuvenescimento do fluvial resultou também na separação entre a zona terciária da Ilha do Maranhão e às colinas terciárias da parte continental, onde hoje se encontra Perizes de Cima, dessa forma desfazendo o antigo espigão costeiro.
4. Devido a um intemperismo diferenciado, em decorrência das particularidades de cada tipo de rocha ou de porções das rochas, e a questões de padrões de rede de drenagem e de um colo que se situava entre o Chapadão da Ilha do Maranhão e a região de Perizes, o antigo espigão costeiro possuía uma topografia mamelonar acidentada contrastando com a topografia mais suavizada dos altos espigões terciários que o rodeavam pelo sul e pelo norte;
5. A certa altura do quaternário antigo, os antigos estuários de São Marcos (coletor das águas do Mearim, Pindaré e Grajaú) e São José (coletor das águas do Itapecuru e do Munim), sofreram um extraordinário afogamento eustático, passando a construir largas “rias”, e, dando origem pela primeira vez às atuais baías de São Marcos e São José. Ao mesmo tempo, as águas que ingressaram pela embocadura desses dois cursos antigos, envolveram o espigão terciário de São Luís, pela sua porção anterior, dando origem pela primeira vez à Ilha do Maranhão. Nesse tempo houve ainda um afogamento de quase todas as embocaduras dos riachos principais da ilha recém-formada, como também foram criadas “rias” no fundo do golfão de Perizes, passando os rios Mearim, Pindaré e Grajaú a desaguar diretamente no golfão interior, a dezenas de

quilômetros da baía de São Marcos, e o Itapecuru e o Munim a alguns quilômetros no interior da antiga baía de São José;

6. Baseado nos estudos dos baixos terraços marinhos e fluviais da Ilha do Maranhão e arredores é possível supor que houve ligeiro soerguimento costeiro, posterior à grande ingressão marinha do pleistoceno antigo. A grande amplitude das marés na região, e a presumível força inicial das primitivas correntes de marés na embocadura das baías regionais, dificultou a deposição de sedimentos e o aluviamento durante o pleistoceno recente, muito ao contrário do que vem acontecendo no holoceno. Daí a ausência de baixos terraços de construção marinha, similares aos que se observam em muitos outros pontos da costa brasileira;
7. Após esse soerguimento modesto, que pode ser observado pela posição dos seixos marinhos dos terraços de Guarapiranga, povoado situado no sul-sudeste da Ilha do Maranhão, deve ter se processado uma nova ingressão marinha responsável por uma redefinição dos contornos internos do mesmo. Tal pressuposição é retirada de observações feitas em áreas contíguas que, com certeza, sofreram interferências eustáticas idênticas. Nota-se que entre a fase do soerguimento final e a penetração derradeira das águas no interior do golfão, é possível que a ilha tenha ficado, por vezes soldada ao continente. Entretanto, é quase impossível saber alguma coisa de mais precioso e detalhado sobre as diversas geografias que se sucederam na região de Perizes desde a primeira grande ingressão marinha até a segunda, mais modesta e rasa;
8. Foi somente após a última ingressão moderada das águas atlânticas que se iniciou a fase final de assoreamento flúviomarinho do interior do golfão, que é a responsável mais direta pelas feições geográficas atuais da região.

O relevo da bacia, como já mencionado anteriormente no item geologia, apresenta um padrão que se distingue das formas encontradas para toda a Ilha do Maranhão e isto pode estar ligado à geologia e a processos dinâmicos da natureza.

Nas margens dos rios Bacanga e Anil é possível visualizar um pouco desta dinâmica, como o assoreamento natural, que contribuiu para a morfologia atual da Bacia do Rio Paciência, que possuía uma morfologia diferente e que foi se modificando em

decorrência de movimentos epirogênicos positivos e sujeita a clima e movimentos eustáticos pretéritos.

O procedimento de classificação geomorfológica adotado foi o de taxonomia do relevo propostos por Ross (1992). Nele são propostas 6 níveis de táxons, todavia para este trabalho foi realizada a classificação até o 5º nível, sendo o último discutido separadamente, em um subcapítulo, em virtude do seu detalhamento.

- a) 1º táxon Unidades Morfoestruturais:** Corresponde às extensas formas com padrão influenciado por processos geológicos que estruturam a superfície terrestre.

Para esta nível taxonômico foi considerada as unidades morfoestruturais Bacia Sedimentar de São Luís e Depósitos Cenozoicos, nos quais a bacia hidrográfica de estudo está inserida, que segundo Rodrigues *et al.* (1994) ocupam uma área de aproximadamente 33.000 km² com uma estimativa de 450 m de espessura de sedimentos acumulados.

- b) 2º táxon Unidades Morfoesculturais:** Representa formas menores, porém significativas dentro da morfoescultura como resultado da intervenção climática em escala de tempo geológico.

Portanto, foram classificadas neste táxon duas grandes unidades dentro da bacia, os tabuleiros costeiros dissecados da Formação Barreiras e o grupo das planícies da Formação Açuí.

Ambas são formas esculpidas no relevo ao longo de milhões de anos, os tabuleiros dissecados dominam a paisagem da bacia com formas semi-arredondados e próximos ao mar cortam o relevo em forma de falésias na margem esquerda do Rio Paciência. O grupo das planícies esta ligado aos depósitos cenozoicos e formadas tanto por planícies fluviais quanto por fluviomarinhas.

- c) 3º táxon Padrões de Formas Semelhantes ou Unidades Morfológicas:**

Contidas na morfoescultura estas unidades estão ligadas a um padrão de fisionomia topográfica; tais como extensas planícies, tabuleiros, cadeia de colinas.

No mapeamento geomorfológico elaborado para a Bacia do Rio Paciência este nível de táxon corresponde as seguintes unidades:

- ✓ Depósito Fluviomarinho: Esta unidade corresponde aos depósitos de sedimentos arenosos finos na foz da bacia e que se encontram mais expostos às dinâmicas marinhas, são terrenos estáveis, com vegetação pouco expressiva e que periodicamente estão sujeito á inundação total ou parcial;
- ✓ Depósito de Pântanos Salinos: Esta unidade reuniu um vasto terreno instável constituído por uma mescla de depósitos arenosos, argilosos e siltosos de origem fluvial e marinha que constantemente são inundados pelas águas do mar;
- ✓ Depósito Fluvial: Esta unidade é o resultado dos depósitos de sedimentos nos leitos, nas margens e nas planícies de inundação por um sistema fluvial;
- ✓ Tabuleiros Costeiros: Corresponde às unidades da paisagem que foram trabalhadas nos sedimentos terciários da Formação Barreiras, por processos de degradação e agradação do relevo tabuliforme típico da costa dessa região. Formas constituídas por sedimentos arenosos e argilosos.

d) 4º táxon Tipos de Formas do Relevo: São as compartimentações individuais das unidades morfológicas do relevo, como, por exemplo, colinas e planícies com formas específicas quanto ao processo e origem por agradação ou denudação.

Para o mapeamento na escala de 1:25.000 foram identificadas 9 unidades geomorfológicas:

- ✓ Planície arenosa de maré: Está relacionada com o ecossistema de restinga e que conforme Teixeira *et al.* (2009) é constituída por sedimentos arenosos úmidos, pois sofre constantemente a influência marinha, e é muito comum no extremo norte da Ilha do Maranhão, está ainda inserida dentro de uma unidade de classificação que Feitosa e Trovão (2006) chamam de Planície Litorânea.

Na Bacia do Rio Paciência esta unidade geomorfológica (Figura 74) foi identificada em dois pontos da foz, um na margem esquerda e outro na margem direita, em cotas altimétrica variando de 0 a 5 metros.

Figura 74: Ocorrência de planície arenosa de maré na Bacia do Rio Paciência.



Na margem esquerda foi identificada em um pequeno trecho da desembocadura no município de Raposa, já o ponto da margem direita fica na comunidade de Iguaíba, município de Paço do Lumiar.

Nas áreas de domínio dessa planície a economia e a vida da comunidade gira em torno de atividades primárias ligadas ao mar, como a pesca e o extrativismo e beneficiamento do sarnambi, um fruto do mar muito comum na região.

Devido ao alto teor de areia no solo e intrusão salina das águas do mar, as comunidades também enfrentam problemas de salinização dos poços d'água visto que o sistema de saneamento básico não os alcança.

- ✓ Planície de Colmatagem: Identificada apenas uma ocorrência considerável na comunidade de Iguaíba no município de Paço do Lumiar

(Figura 75). Esta unidade recebeu este nome por apresentar características físicas iguais às encontradas na região de Campo de Perizes que é descrita por Ab'Saber (1960) como uma planície de colmatagem. É modelada pelo fluxo indireto de maré e pode muitas vezes ser chamado pelo ecossistema de apicum, conforme as descrições de Feitosa e Trovão (2006) pode ser inserida na macro classificação de Planície Litorânea. Teixeira *et al.*(2009) em seu trabalho de mapeamento dos ambientes costeiros do Maranhão atribui às zonas de ocorrência de colmatagem o nome de planície de supramaré para designar a unidade geomorfológica.

Figura 75: Ocorrência de planície de colmatagem na Bacia do Rio Paciência.



Na bacia esta unidade corre entre as planícies arenosa e lamosa e terraços fluvioaluviais, geralmente em cotas altimétrica que variam de 5 a 10 metros e bem plana. A alta salinidade do solo desfavorece o crescimento de vegetação e quando há são pequenos arbustos dispersos.

- ✓ Planície Lamosa: É uma unidade constituída por sedimentos muito finos com altas concentrações de argila e silte em coloração escura, seu terreno é muito instável, em decorrência das constantes macromarés que a inundam, e visível no período de baixamar nas zonas de maior influencia das correntes de água e sem cobertura significativa de vegetação (Figura 76). Teixeira *et al.* (2009) diz que esta unidade ´bordeja os ecossistemas de manguezais.

Figura 76: Ocorrência de planície lamosa na Bacia do Rio Paciência.



Os sedimentos desta unidade são de origem fluvial e marinha e devido às fortes correntes e dinâmica das águas ela esta em constante degradação e aggradação, corre principalmente nas cotas de 0 a 5 metros de altitude na foz do Rio Paciência na altura dos municípios de Raposa e Paço do Lumiar.

- ✓ Planície de Maré: Esta unidade se assemelha a planície lamosa por ser constituída de sedimentos muito finos com altas concentrações de argila e silte em coloração escura, mas que, neste trabalho, em virtude do detalhamento, foi diferenciada por apresentar cobertura vegetal com predominância das espécies *Rhizophora* e *Avicenni* (TEIXEIRA *et al.*, 2009). Está sujeita às constantes inundações das macromarés, mas sua superfície lamosa é menos inconsistente que a da planície lamosa em decorrência da presença de vegetação e fixação de raízes aéreas que atenuam a força da dinâmica das águas e favorecem a permanência e consolidação dos sedimentos por mais tempo *in situ* (Figura 77).

Figura 77: Ocorrência de planície de maré na Bacia do Rio Paciência.



Não foi encontrada nas literaturas uma denominação muito clara para esta unidade geomorfológica, dentro um mapeamento detalhado, por vezes ela é confundida com o ecossistema de manguezal, com a vegetação comumente chamada de mangue ou mesmo com depósitos

holocênicos de origem fluvial e marinha, por isso propomos a denominação de planície de maré para o estudo nesta escala de trabalho. Na bacia do Rio Paciência ela ocorre desde a foz até as proximidades do bairro Maioba do Macajituba em cotas altimétrica que vão de 5 a 10 metros.

É uma planície suavemente rugosa e economicamente importante para as comunidades do município de Paço do Lumiar e Raposa que estão inseridas dentro da bacia, pois além da construção de pequenos portos para atracar embarcações de pescadores é do ecossistema de manguezais que muitas famílias retiram o seu sustento como catadores de caranguejos e outros crustáceos.

- ✓ Planície Submersível: Receberam esta denominação as planícies que margeiam alguns grandes cursos d'água da bacia na confluência dos rios com a maré (Figura 78), e esta é sua principal característica. São zonas que periodicamente são inundadas com águas salobras em decorrência da elevação do nível do mar na maré cheia ou pelo aumento da vazão dos rios em eventos de forte precipitação.

Figura 78: Em destaque, no perímetro em vermelho, a planície submersível do Rio Paciência.



Fonte: Google Maps, 2015. Com adaptações.

Ocorre em cotas de 5 a 15 metros de altitude da parte central em direção a nordeste da bacia, com vegetação mais densa próximo ao curso d'água e mais rasa nas áreas de campo.

- ✓ Planície Fluvial: A planície aluvial (Figura 79) difere da planície submersível, neste trabalho, por estar mais sujeita a influencia fluvial. Segundo Suguio (1998) é composta por sedimentos mais finos que os do canal fluvial, são depositados durante as enchentes quando as águas do canal principal transbordam.

Figura 79: Ocorrência de planície aluvial na altura da comunidade da Maioba, Paço do Lumiar.



Esta planície forma largos terraços em alguns trechos dos rios da bacia, geralmente, na área de estudo, são mais consolidados, porém de sedimentos recentes depositados por processos mecânicos e físicos dos rios.

Ocorre nas cotas de 15 a 40 metros de altitude, a partir das cabeceiras de drenagem e seguem margeando os canais fluviais até próximos às comunidades Maioba e Iguaíba e margeando a planície submersível nos trechos da comunidade Maioba do Mocajituba e no município de Raposa voltado para a foz do rio Paciência.

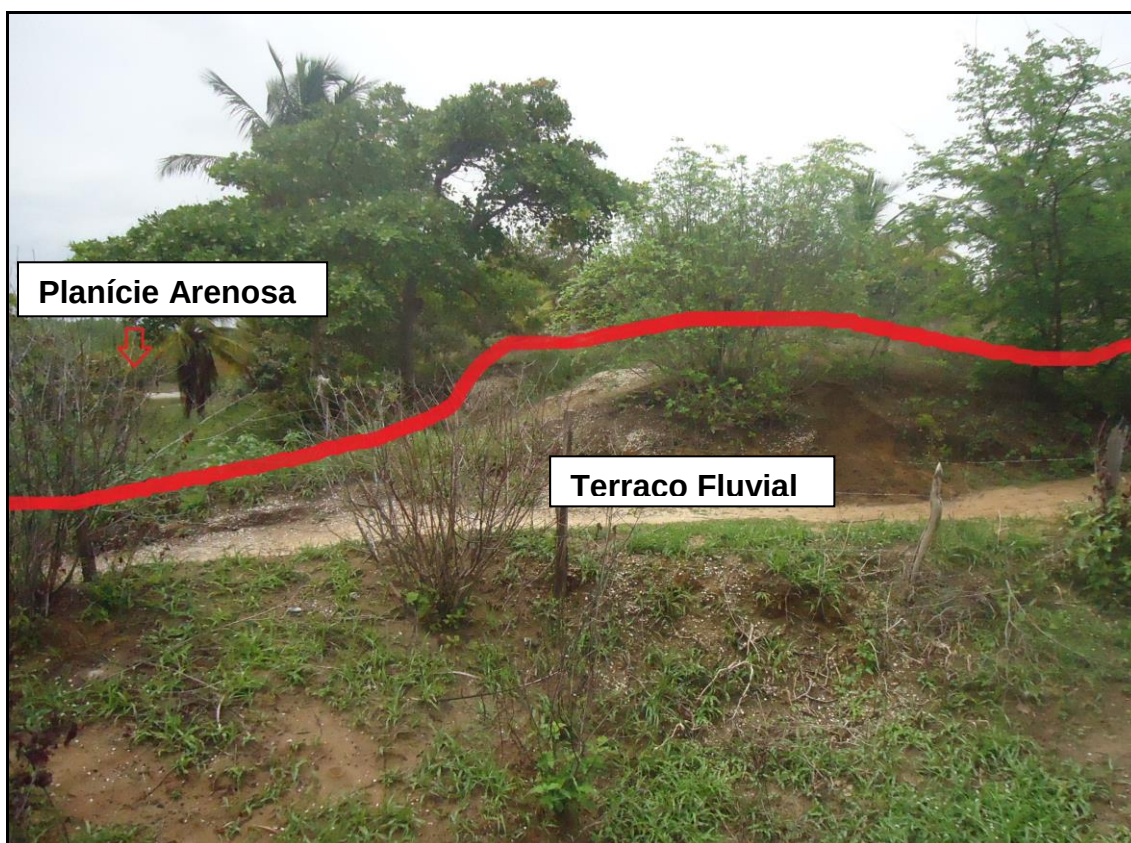
É plana, com suave descontinuidade na direção ao curso d'água e baixa em relação ao nível de tal curso.

Devido ao fato de somente ser atingida em sua totalidade em eventos de enchentes, nele cresce uma vegetação baixa, porém densa.

- ✓ Terraços Fluviais: Os terraços fluviais (Figura 80) foram identificados no médio e no baixo curso da bacia, nas duas margens, a partir do ponto onde o canal do rio principal da bacia começa a se alargar. Segundo

Suguio (1998) este tipo terraço é relativamente plano e suavemente inclinado, ocorre nas duas margens do rio como evidencia da retomada de processos erosivos que aprofundam o leito do rio, é um importante registro da evolução geomorfológica.

Figura 80: Terraço fluvial na margem esquerda na foz do rio Paciência, município de Raposa.



Esta unidade geomorfológica apresentou características que também a enquadraria na forma de terraços litorâneos, pois também apresenta forte influência marinha e registros de matérias em seu perfil (Figura 81), como conchas de sarnambi, que evidenciam fases de transgressão e regressão do nível eustático na área.

Figura 81: Conchas de sarnambi no terraço fluvial.



Todavia optou-se pela denominação de terraço fluvial devido a sua ocorrência se dar dentro do canal do rio Paciência e pelo fato das características anteriormente mencionadas não se darem em todas as zonas de ocorrência, mas principalmente próximo à foz.

- ✓ Colinas de Topos Convexos: Segundo Guerra (1993) as colinas são designações utilizadas por geomorfólogos para indicar pequenas elevações no terreno com declividades suaves e altitudes que não ultrapassam 50 metros. Suas formas são complexas e muito parecidas com montanhas, diferindo apenas por estarem isoladas umas das outras e apresentarem baixas altitudes. As colinas constituem uma forma muito derivada de relevo, todavia a maioria resulta de formas de erosão. As colinas da Ilha do Maranhão têm origem na dissecação do antigo tabuleiro costeiro de Perizes (Ab'Saber, 2004), na Bacia do Rio Paciência estas colinas são ainda mais suaves em virtude dos processos

já mencionados de retomada da erosão do canal principal da bacia. Todavia para fins taxonômicos do relevo, na escala de mapeamento deste trabalho, denominamos como topo de colinas de topos convexos (Figura 82) as unidades geomorfológicas de topos não planos com extensão até o limite estabelecido para as encostas em cada área.

Figura 82: Topo de colina convexa próximas à foz da bacia no município de Raposa.



As colinas de topos convexos do Paciência têm aspecto mamelonar, porém não possuem assimetria ou tamanhos relativamente parecidos em todas as direções, todas elas seguem um padrão de distribuição alongado convergindo com a direção do fluxo do canal principal da bacia.

É sobre esta unidade geomorfológica que ocorre a principal forma de apropriação da terra na bacia, a ocupação urbana, que se intensificou na última década com a ascensão econômica do país.

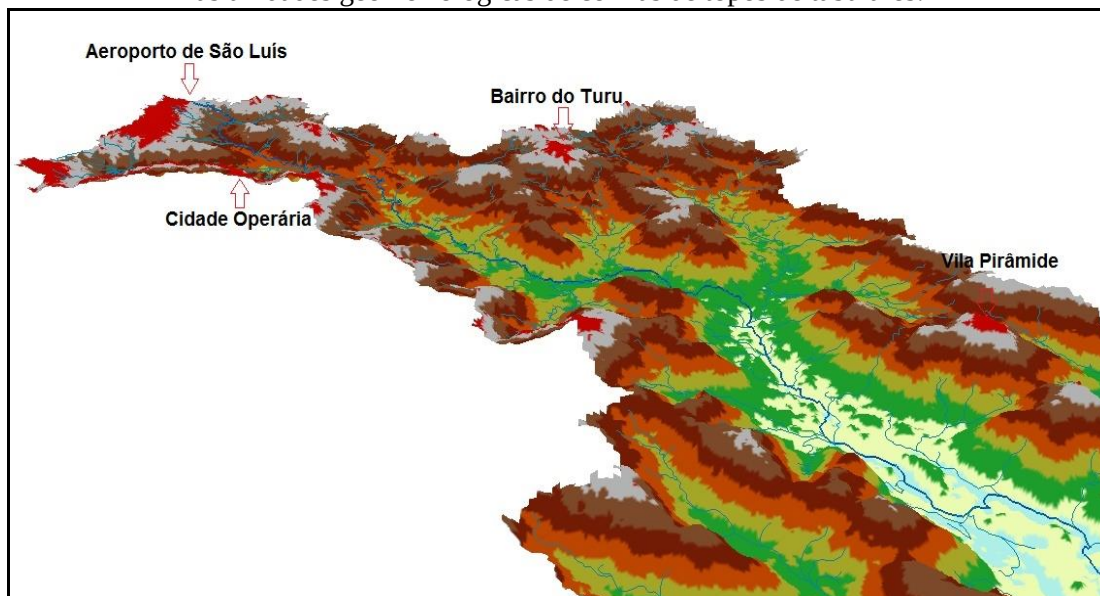
- ✓ Colinas com topos tabulares: Os tabuleiros são formas topográficas que, segundo Guerra (1993), se assemelham a planaltos e apresentam superfície plana, sedimentar e de baixa altitude, geralmente com seus limites abruptos e muito comuns na costa do nordeste brasileiro.

Ab'Saber (1960) destaca que a Ilha da Maranhão é um fragmento resultado da separação do continente por um processo erosivo no tabuleiro costeiro terciário que se situava no mesmo tracejado onde hoje se encontra a BR 135 no Campo de Perizes.

A unidade litoestratigráfica predominante na Ilha do Maranhão é a Formação Barreiras que, de acordo com DNPM (1984) *Apud* Rodrigues *et al.* (1994), é caracterizada por compor um relevo de terços superiores tabulares e colinas semi-arredondadas cortadas geralmente por falésias junto ao mar.

Destoando do restante da Ilha, a Bacia do Rio Paciência apresenta um relevo com acentuado dissecamento, portanto, na área foram encontradas poucas unidades geomorfológicas de topo de tabuleiro (Figura 83).

Figura 83: Perspectiva em 3 dimensões da Bacia do Rio Paciência destaque em vermelho para as unidades geomorfológicas de colinas de topos de tabulares.



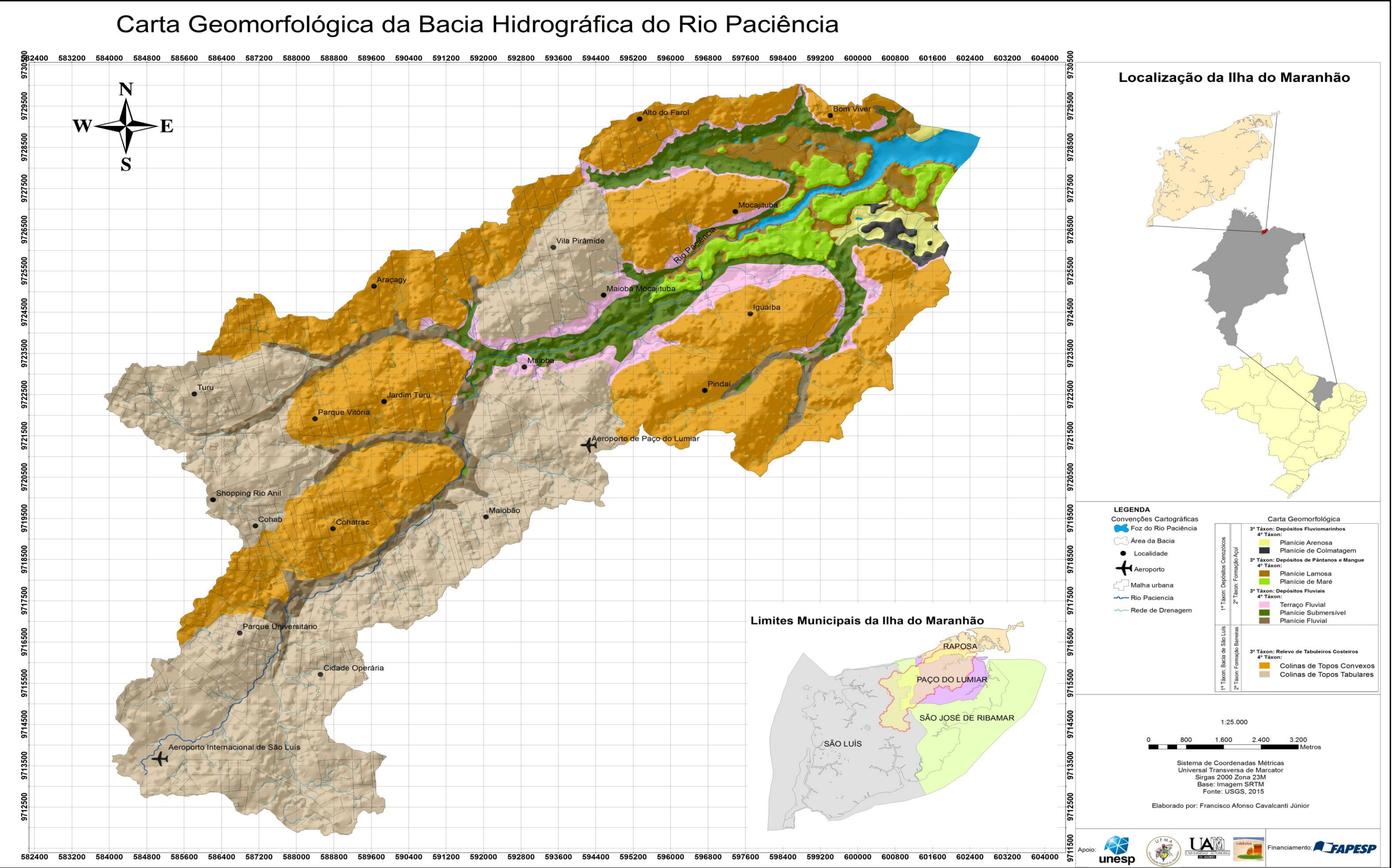
Foram considerados topos de tabuleiros as feições relativamente planas no topo das colinas terciárias com cotas altimétrica que variam de 52 a 66 metros. Ocorrem na bacia de forma bem dispersa e se concentram principalmente no alto curso próximo ao Aeroporto Internacional Marechal Cunha Machado, em São Luís. Segundo Pereira (2006) estas feições são muito importantes para a manutenção dos recursos hídricos

subterrâneos, e consequentemente superficiais, uma vez que são caracterizados como área de recarga de aquífero.

Com exceção da Vila Pirâmide, em Paço do Lumiar, esta unidade geomorfológica é extremamente ocupada pela urbanização na bacia, além de ambientalmente ser importante para os recursos hídricos autóctones da Ilha também dispõe de características naturais em potencial para a instalação de empreendimentos imobiliários, tais como a altitude e superfície relativamente plana.

Portanto, a taxonomia do relevo, até o 4º táxon, resultou no mapeamento geomorfológico, na escala de 1:25.000, dos potenciais paisagísticos da bacia conforme exposto na Figura 84 Este resultado pode fornecer subsídios para compreender os fatores atuantes nas transformações da paisagem na bacia bem como oferecer apontamentos para o uso e gestão da terra que podem ser complementados considerando o 5º táxon.

Figura 84: Carta geomorfológica da bacia do Rio Paciência.



6.5.2 Curvatura das vertentes e sua influência no escoamento superficial – 5º Táxon

O estudo das formas do relevo não está limitado à classificação taxonômica sistematizada no mapeamento geomorfológico até o 4º táxon, que por si só já é uma base para entender melhor o quadro ambiental e urbano da bacia, mas também se estende ao estudo das formas das vertentes do 5º táxon.

5º táxon Tipos de Vertentes: Segundo Ross (1992) representa os tipos de vertentes contidas em cada uma das formas do relevo. Ainda segundo o autor são formas de idade e gênese muito recentes e podem ser representadas pelas formas côncava, convexa, retilínea, plana, aguçada e abrupta.

Christofoletti (1980) estabelece um conceito amplo para as vertentes, a qual designa como superfície inclinada não horizontal. Ainda diz que tais vertentes podem ser submarinas ou subaéreas. As subaéreas são subdivididas em vertentes endogenéticas, quando formadas a partir de processos originadas no interior da Terra (orogenia, epirogênese, vulcanismo), e vertentes exogenéticas, quando formadas a partir de processos originados na superfície terrestre (meteorização, movimentos de massa, ablação, transporte, deposição) que tem como tendência levar a paisagem a um determinado nível de base, sendo o mais baixo o nível do mar.

A interação dos processos endógenos e exógenos se desdobra nos processos de gradação ou degradação, quando há morfogênese pela erosão e rebaixamento do relevo, e agradação, quando há a acumulação e processos de pedogênese. Nesse sentido, ainda segundo Christofoletti (1980), as vertentes se constituem em uma grande categoria de formas a qual a Geomorfologia tem como objeto de estudo.

Assim sendo a caracterização das curvaturas das vertentes da Bacia do Rio Paciência estão pautadas na definição mais precisa para vertente proposta por Jan Dylik (1968) *Apud* Christofoletti (1980), que a considera [...] uma forma tridimensional que foi modelada pelos processos de denudação atuantes no presente e no passado, e representando a conexão dinâmica entre o terço superior das colinas e o fundo do vale (p. 26). Esta definição considera os desdobramentos dos processos endógenos e exógenos anteriormente mencionados e materializados no limite inferior na vertente, que antecede os leitos dos rios; no limite superior do terço superior da vertente; no limite interno, que pode ser a encosta ou superfície de ataque da meteorização, e nos processos de escoamento superficial.

Florenzano (2008), em seus estudos de análise do relevo, destaca a interpretação tridimensional da curvatura das vertentes a partir de duas variáveis, a curvatura vertical e a curvatura horizontal. Portanto a curvatura das vertentes se constitui do cruzamento dessas duas variáveis.

Portanto, seguindo a sistematização de análise de Florenzano (2008) a análise geral das curvaturas para a Bacia do Rio Paciência foi compartimentada na análise da curvatura vertical e horizontal.

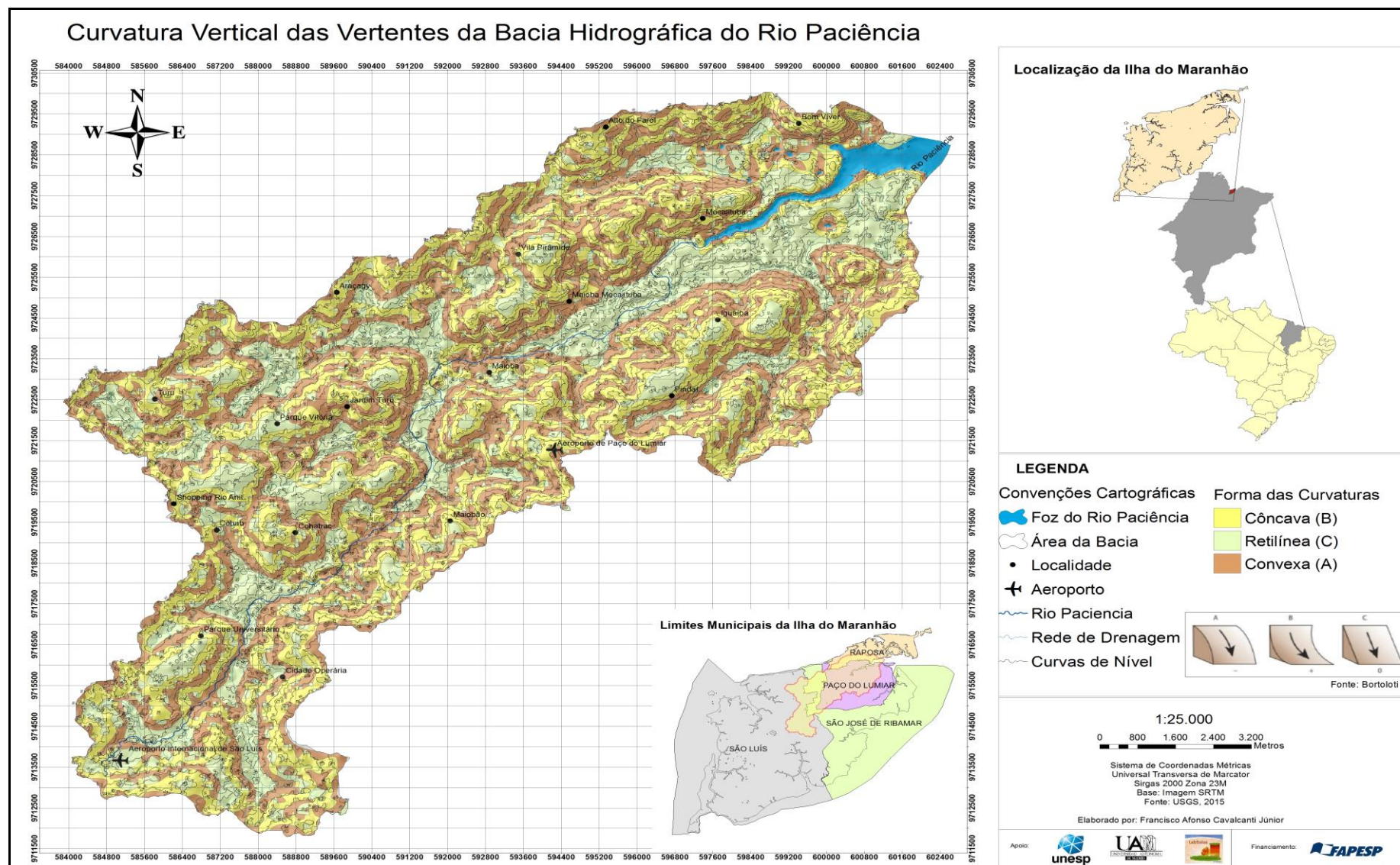
- ✓ Curvatura Vertical: Esta compartimentação faz menção às formas côncavas, convexas e retilíneas presentes no perfil da vertente. Segundo Florenzano (2008) ela está relacionada aos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, causados pela gravidade. A identificação deste compartimento é feita pela observação da variação de declividade em direção ao desnível da vertente.

Na Bacia do Rio Paciência esta variável (Figura 85) se mostrou anormal se comparada ao perfil típico de vertente considerada por Derruau (1965), que é de uma vertente com topo convexo e um segmento retilíneo no meio separando o topo da parte inferior constituída por uma concavidade.

As feições de topo apresentaram curvaturas do tipo planar, igualmente também os níveis de base. A explicação se deve a fato, já mencionado da Ilha do Maranhão ter feito parte de um antigo espigão de tabuleiro costeiro terciário, que tem como característica os topos aplainados, portanto os topos da atual Bacia do Rio Paciência são testemunhos desse antigo cenário. Na medida em que se aproxima da foz as vertentes são mais dissecadas e o domínio das formas convexas predomina nas colinas.

Na seção côncava há uma maior tendência a processos erosivos devido à curvatura negativa potencializar os efeitos da gravidade, naturais de declividade mais acentuada, nos eventos de escoamento superficial. A curvatura negativa também acelera o deslocamento do fluxo de água que atinge esta seção fazendo com que a infiltração de água no solo ocorra de forma desproporcional no perfil, ou seja, gradualmente da cota mais alta até o nível de base, portanto, tem-se uma tendência ao escoamento superficial inversamente proporcional à infiltração.

Figura 85: Carta de curvatura vertical da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.



Na seção convexa a superfície mais exposta ao ataque direto da precipitação é a parte central do topo e a partir daí, devido à curvatura positiva, o fluxo de escoamento se dissipa mais suavemente, se comparado à seção côncava. A declividade mais suave no topo mantém a lâmina d'água na superfície por mais tempo e conseqüentemente favorecendo a infiltração de água no solo, por outro lado na medida em que essa declividade se acentua o fluxo de água permanece em menos tempo em contato com o solo e, portanto, a infiltração é menor. Logo, o escoamento é maior na borda e menor no topo.

Na seção retilínea toda a superfície está exposta de igual modo à precipitação pluvial, o tempo de contato da lâmina d'água com a superfície é igual em todo o perfil, devido à curvatura neutra, favorecendo uma infiltração de água no solo homogênea e, conseqüentemente, um escoamento superficial constante na direção do fluxo do ponto “A” ou ponto “B”;

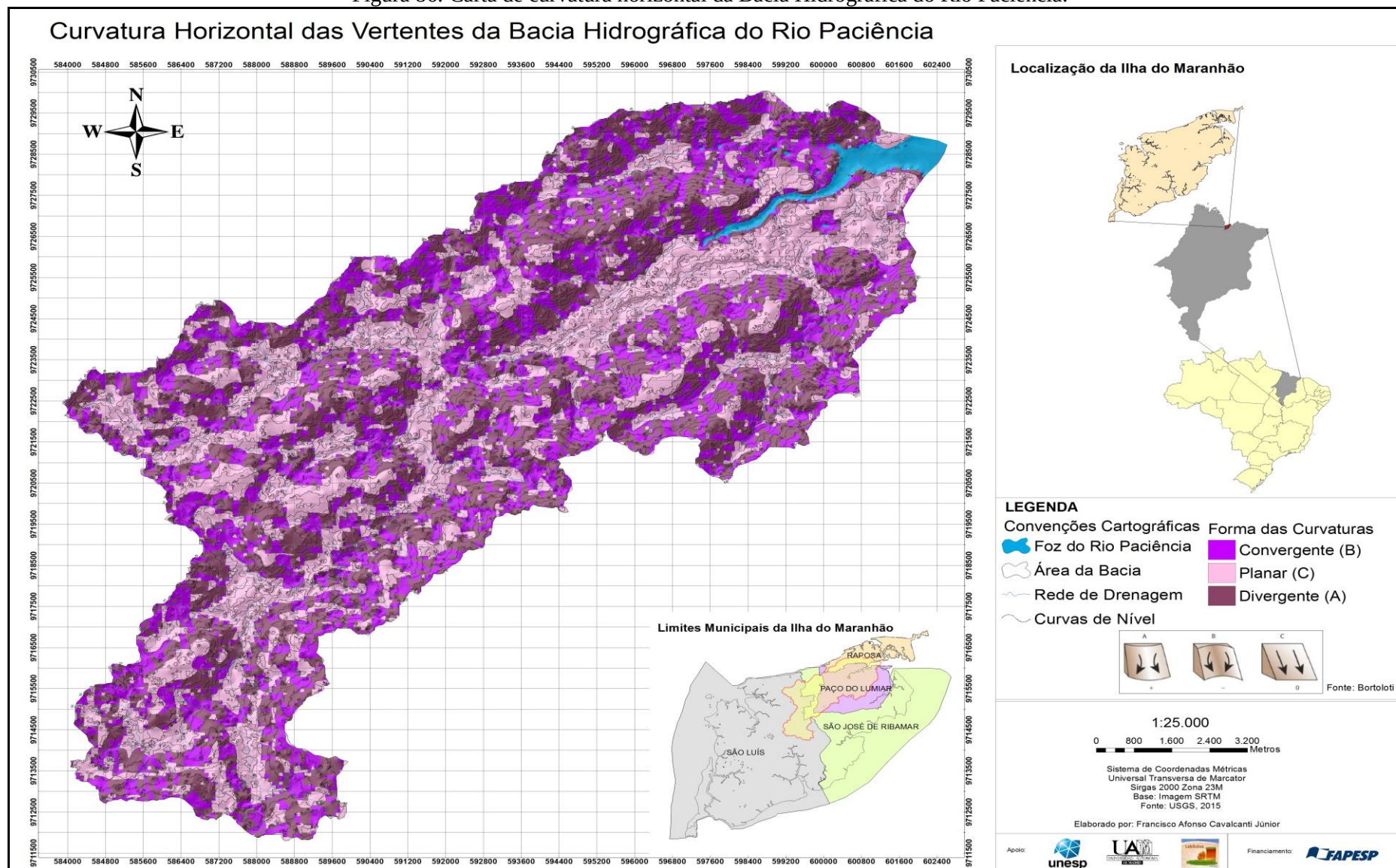
- ✓ Curvatura Horizontal: Esta compartimentação refere-se às formas convergentes, divergentes e planas da curvatura das vertentes no plano horizontal. Conforme Florenzano (2008) refere-se à intensidade dos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, causados pela gravidade.

A identificação deste compartimento é feita pela observação das direções adjacentes (laterais), à curvatura vertical, de declividade. Em seções onde as linhas de curvas de nível apresentam-se paralelas umas a outras diz-se que possuem curvatura horizontal nula, em contrapartida quando essas linhas possuem direções convergentes ou divergentes diz-se que possuem curvatura horizontal não-nula convergente ou divergente indicada por sinal positivo ou negativo de curvatura.

Na Bacia do Rio Paciência esta variável (Figura 86) se mostrou em conformidade com os levantamentos geológicos e geomorfológicos. As áreas de terço superior das colinas apresentaram forma de curvatura planar coincidindo com a caracterização das colinas com topos tabulares terciários, todavia, nas colinas mais dissecadas do baixo curso os terços superiores apresentaram forma de curvatura do tipo divergente. Os níveis de base das vertentes seguiram o padrão de forma de curvatura do tipo planar orientados pelas planícies.

Na seção curvatura do tipo convergente o fluxo do escoamento superficial é drenado a partir de vários pontos para um ponto único, como um efeito de funil. O fluxo concentrado nesse ponto possui um potencial de escoamento muito alto devido a curvatura negativa.

Figura 86: Carta de curvatura horizontal da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.



Na seção curvatura do tipo divergente o fluxo do escoamento superficial é drenado para direções opostas a partir de um referencia central, o efeito causado é o de dispersão. O efeito da declividade neste tipo de curvatura é mais suave no terço superior das colinas e vai aumentando gradativamente em direção ao nível de base, apresentando assim um baixo potencial ao escoamento superficial devido à curvatura positiva.

Na seção curvatura do tipo planar o fluxo do escoamento superficial é drenado para uma única direção a partir do ponto inicial. Como a curvatura é neutra o fluxo d'água se desloca com efeito de prancha e a lâmina d'água toca o solo de forma homogênea, dessa forma a infiltração, e conseqüentemente o escoamento superficial, ocorre de forma constante neste seguimento da vertente.

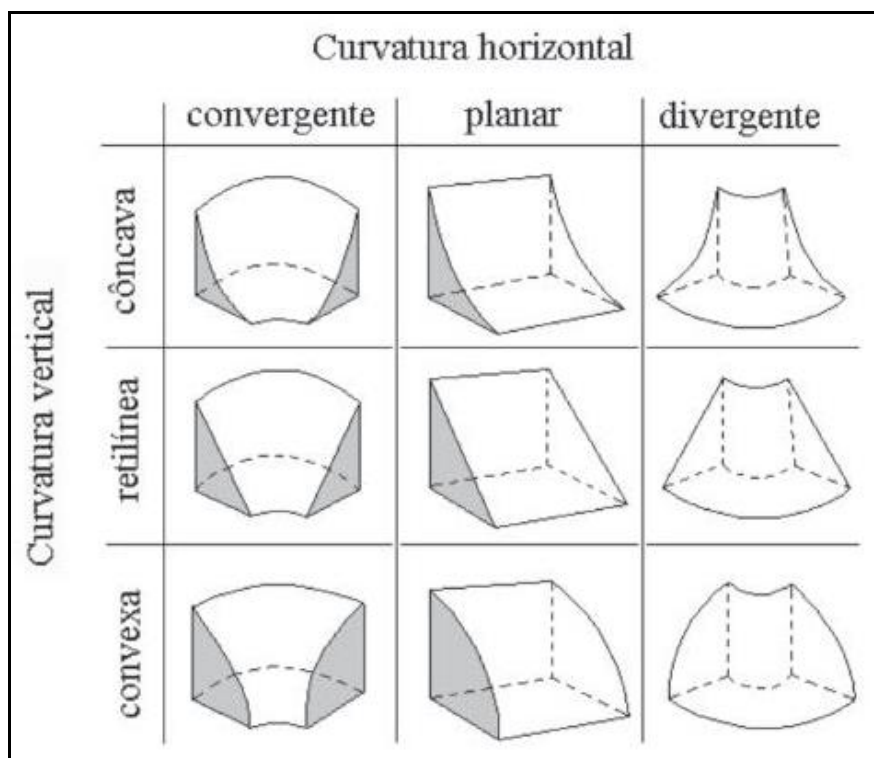
Associada as características geológicas dos topos das colinas e tabuleiros da bacia, que é de fácies arenosa, a curvatura planar cumpre um papel fundamental no regime hidrogeológico, atuando como uma superfície de captação hídrica mais conhecida como área de recarga de aquífero.

As três formas de curvatura presentes nos planos vertical e horizontal da Bacia do Rio Paciência indicaram função semelhante a seus correspondentes em cada plano, estando assim em conformidade com o que descrevem as obras especializadas no assunto.

A curvatura final das vertentes, ou caracterização das formas do relevo, é o resultado da combinação das curvaturas vertical e horizontal, [...] as quais se associam propriedades hidrológicas e de transporte de sólidos, diretamente, e pedológicas, ecológicas, além de uma série de outros aspectos, indiretamente (FLORENZANO, 2008, p. 90).

A combinação de tais curvaturas fornecem nove outras formas de curvaturas das vertentes (Figura 87) que caracterizam o relevo quanto ao seu potencial. A identificação dessas formas é de alta complexidade tanto manualmente quanto de forma remota por meio SIG devido ao relevo apresenta irregularidades mesmo em superfícies consideradas, de forma geral, planas. Essas irregularidades, por vezes impedem uma projeção continua das formas em um perfil que normalmente é representada com quebra de seções.

Figura 87: Combinações das curvaturas vertical e horizontal para caracterização do relevo.

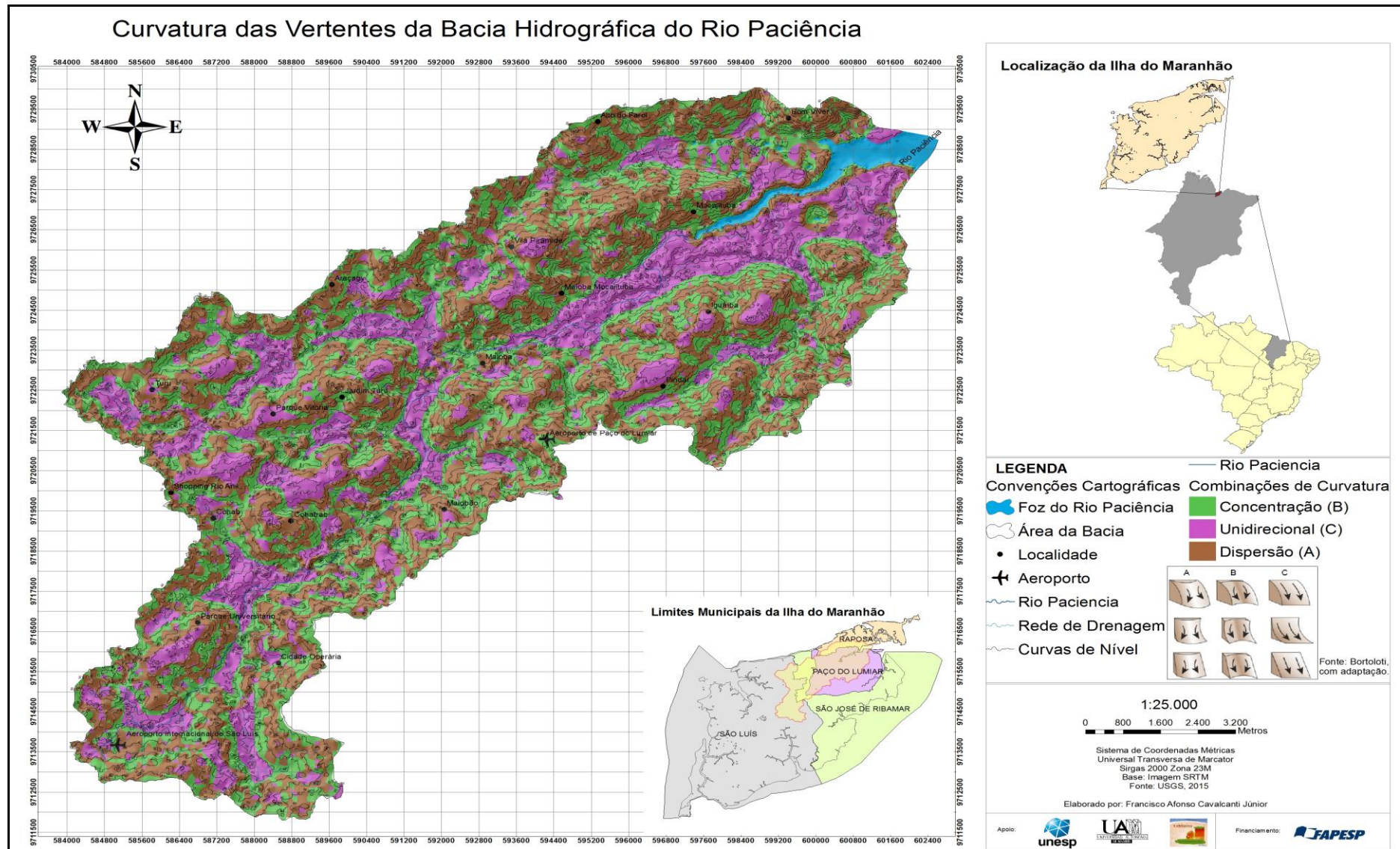


Fonte: Adaptado de Dikau (1990) *Apud* Florenzano (2008).

Em virtude da complexidade de representar as nove formas por meio de ambiente SIG, optou-se na carta final de curvatura das vertentes da Bacia do Rio Paciência (Figura 88) por representa-las em grandes grupos considerando as suas potencialidades.

- ✓ Potencial de concentração: representa as combinações morfológicas côncavo-convergente, retilíneo-convergente e convexo-convergente. Como já sugere o seu nome, o potencial de concentração tem por aptidão concentrar o fluxo de água de uma área maior de captação para um único ponto e direção com curvatura horizontal negativa e considerando os tipos de curvatura vertical positiva, neutra ou negativa. Em geral, na bacia, foi identificado nas cabeceiras de drenagem, em algumas feições marginais de topo e ao longo das vertentes, apresenta um alto potencial para o escoamento superficial;
- ✓ Potencial unidirecional: representa as combinações morfológicas côncavo-planar, retilíneo-planar, convexo-planar. O potencial unidirecional apresenta curvatura horizontal nula devido a linhas de curvas de nível superior e inferior, a

Figura 88: Carta de curvatura da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.



que se toma como referência, se disporem de forma paralela. Todavia a curvatura no sentido vertical pode variar de forma positiva, nula ou negativa. Nele o escoamento superficial apresenta um potencial médio devido ao fluxo contínuo de lâmina d'água que se desloca com efeito de prancha da área de captação “A” até a área inferior “B”. Na Bacia do Rio Paciência sua ocorrência foi observada na orientação dos canais de drenagem margeados pelas planícies e nas feições de topos aplainados;

- ✓ Potencial de dispersão: representa as combinações morfológicas côncavo-divergente, retilíneo-divergente e convexo-divergente. O potencial de dispersão possui curvatura vertical positiva combinada com as variações positiva, nula e negativa da curvatura horizontal, essas características redirecionam o fluxo do escoamento superficial do eixo central para a borda das vertentes. O seu potencial para o escoamento superficial é considerado baixo devido a um menor escoamento no terço superior da colina, com maior infiltração, e um maior escoamento, com menor infiltração, na parte inferior da vertente, em decorrência da declividade que acentua gradativamente do topo até o nível de base. Na Bacia do Rio Paciência ocorre no topo das colinas mamelonares no baixo curso e margeando todas as colinas da bacia.

A análise do escoamento superficial, a partir da curvatura das vertentes, considera apenas o grau de declividade e curvatura, aspectos importantes como presença de vegetação, solo exposto, área urbana e rupturas na geomorfologia como construções de estradas não são contempladas, por isso faz-se necessário um zoneamento com levantamento de outros atributos que cruzadas fornecem uma representação do fenômeno estudado o mais próximo possível da realidade.

6.6 Uso e cobertura da terra

Este atributo não compõe os atributos estabelecidos na metodologia de mapeamento geotécnico proposta por Zuquette (1993) e Zuquette e Gandolfi (2004) para o zoneamento do escoamento superficial. Todavia, percebeu-se a necessidade de realizar algumas adaptações na técnica e uma delas foi a inserção do atributo “uso e cobertura da terra”.

A produção do espaço geográfico no meio urbano é um processo contínuo e, como todo processo que altera a paisagem, tem as consequências dos impactos positivos e negativos sobre os recursos naturais e a sociedade. Na Bacia do Rio Paciência a ocupação do terreno segue uma lógica desde o ponto mais extremo da bacia até a foz, considerando as dinâmicas socioespaciais dos quatro municípios que ela atravessa.

Todavia, para compreender a ocupação atual do seu terreno se faz necessário contextualizar o processo que deu funcionalidade às terras não urbanizadas da Ilha do Maranhão por meio dos programas de conjunto habitacional que caracterizam os seus núcleos urbanos, com exceção à cidade de Raposa.

6.6.1 O fenômeno dos conjuntos habitacionais

Desde a fundação de São Luís, em 8 de setembro de 1612, o primeiro núcleo urbano da cidade foi o seu Centro Histórico e permaneceu sendo o único até meados do século XX (São Luís, 2006). A cidade em si ficava limitada a uma área compreendida entre as fozes dos rios Anil e Bacanga, e com presença de algumas vilas como a Vila do Anil que servia como dormitório dos funcionários da fábrica têxtil que funcionava onde hoje está a escola Cintra (Centro Integrado Rio Anil).

Os primeiros conjuntos habitacionais em São Luís datam da década de 50. Tratam-se das vilas operárias, que atendiam a demanda por moradia para os operários do parque têxtil de São Luís (VASCONCELOS, 2007). Assim sugeriram a Vila Gracinha e a Vila Passos, ambos no entorno do centro da cidade.

Com a economia frágil do Maranhão o parque industrial têxtil de São Luís era para muitos o “Eldorado”, isso deflagrou, paulatinamente, um deslocamento em massa de migrantes, principalmente oriundos do interior do Estado, em busca de oportunidade de trabalho, porém a indústria, que já apresentava sinais de colapso, não tinha como absorver toda a mão de obra disponível o que causou um inchaço urbano.

Como consequência o que passou em São Luís não difere muitos do que se passou ou se passa em cidades com o mesmo contexto. O contingente populacional de mão de obra não absorvida passou a habitar as áreas marginais ao centro da cidade, que na época era a área nobre, e também a ocupar áreas mais distantes do centro ao longo do Caminho Grande, via de acesso a São Luís, onde hoje estão os bairros Vila Palmeira e Fátima (VASCONCELOS e VENANCIO, 2008).

O inchaço urbano é causado pelo aumento do contingente populacional e a falta de desenvolvimento de estrutura urbana que acompanha tal crescimento. O que se sucedeu em São Luís foi a inserção dessas pessoas em subempregos que não as permitiam pagar os aluguéis de imóveis, quando havia imóveis disponíveis, pois, ao que parece, conforme Vasconcelos e Venancio (2008), a oferta era pequena em relação a demanda.

É a partir deste contexto que o Estado brasileiro intervém de forma direta na questão da habitação social por meio dos Institutos de Aposentadoria e Pensões – IAPs e a Fundação Casa Popular – FCP nas décadas de 40 e 50, mesmo sendo o objetivo desses órgãos assegurar aos membros de cada classe profissional o pagamento de benefícios previdenciários e não o de assegurar moradia (VASCONCELOS e VENANCIO 2008).

Com essa intervenção São Luís tem seus limites expandidos em direção à Bacia do Rio Paciência com a construção dos conjuntos habitacionais nos bairros adjacentes ao Caminho Grande. Foram construídos conjuntos habitacionais com nomes que na verdade são siglas que fazem menção à classe profissional, tais como: IAPC (Instituto de Aposentadoria e Pensões dos Comerciantes), IPASE (Instituto de Pensões e Aposentadorias dos Servidores do Estado do Maranhão e Piauí), IPEM (Instituto Previdenciário dos Servidores do Estado do Maranhão). Estes conjuntos são construídos de forma aberta e dotados de infraestrutura que os possibilitou ser integrados aos bairros e suas dinâmicas onde foram fixados.

Como cada instituto previdenciário tinha suas próprias particularidades, a construção dos conjuntos habitacionais se deu de forma fragmentada, visava atender a classe média, e juntamente com a Fundação Casa Popular não conseguiram atender o déficit habitação.

Com o golpe militar em 1964 o país passou a vivenciar um período de muita repressão, porém, também de grandes obras. Foi nesse período que se criou uma nova política habitacional por meio do Banco Nacional de Habitação - BNH, com recursos orçamentário e extra orçamentários junto ao Fundo de Garantia por Tempo de Serviço – FGTS e nas cadernetas de poupança (VASCONCELOS e VENANCIO, 2008).

Foi por meio do BNH que surgiram as Companhias Habitacionais – COHABs, que tinham como objeto atender a população com renda inferior a três salários mínimos com a construção de conjuntos habitacionais populares. Em São Luís a atuação da

Companhia habitacional foi tão marcante que um dos conjuntos de bairros mais populares da cidade se chama COHAB e tantos outros que levam a palavra Cohab em seu nome.

Por meio da Companhia Habitacional – COHAB/MA os conjuntos habitacionais na Bacia do Rio Paciência começaram a surgir, seguindo um padrão horizontal para atender, além do déficit habitacional, a necessidade de dar função social aos espaços não urbanos e expandir a cidade (Figura 89).

Figura 89: Av. São Luís Rei de França, no bairro do Turu, uma das vias mais importantes de São Luís e dinamizadora direta da por oeste da Bacia do Rio Paciência.



Foram criados em São Luís o COHAB-Anil I em 1967, o Cohab-Anil II em 1968, o Cohab-Anil III em 1969, o Cohab-Anil IV em 1975, o Turu I em 1979, e Cidade Operária em 1986, por meio de cooperativa também foi criado em 1977 o COHATRAC I. Em Paço do Lumiar foi o conjunto Maiobão em 1980 também pela COHAB/MA. Em São José de Ribamar o complexo habitacional Parque Vitória foi criado em 1991 por construtoras maranhenses e financiado pela Caixa Econômica Federal. Raposa ganha status de município somente em 10 de novembro de 1994, a

partir de seu desmembramento do município de Paço do Lumiar, e o que mais se aproxima de grandes projetos habitacionais em seu território são o Residencial Pirâmide, voltado para atender a uma classe social mais baixa, e o condomínio Alphaville, voltado para atender a uma classe social mais alta, ambos criados na primeira década dos anos 2000.

Na década de 90 e início dos anos 2000 a expansão urbana na bacia ocorreu por meio de uma explosão de loteamentos e alguns condomínios fechados populares e de classe média, principalmente nos bairros do Turu e Araçagy, nota-se neste período uma retração do Estado em promover programas habitacionais e limitando-se às linhas de crédito para financiamento, e consequentemente um avanço do setor privado por meio das construtoras nas ações de construção e incorporação. Essa expansão na década de 90 se configurou como muito densa no extremo oeste da bacia e isso causou impactos diretos nos recursos naturais como a impermeabilização de solo por áreas construídas, supressão de canais e canalização de rios com ocupação de suas margens (Figura 90).

Figura 90: Trecho do Rio Turu canalizado e ruas construídas onde antes ficavam as margens.



A partir de 2009 com a implantação do programa habitacional “Minha Casa, Minha Vida” do governo federal, em parceria com o Estado do Maranhão e o municípios da Ilha, a Bacia do Paciência vive uma retomada da dinamização dos processos de expansão urbana em seu território, após um período de quase estagnação.

O programa tem por objetivo permitir a famílias de baixa renda terem acesso à casa própria. Os condomínios fechados construídos pelo programa são de apartamentos populares em prédios verticais, nas áreas mais densas, e de casas populares em condomínios, em geral abertos, na horizontal.

Na bacia a construção desses condomínios tem ocorrido principalmente nas porções nordeste e leste, que correspondem ao baixo cursos do Paciência, são áreas menos urbanização concentradas nas proximidades dos bairros Iguaiá, Maioba e Mocajituba no município de Paço do Lumiar. Os condomínios horizontais são extensos (Figura 91) e continuam com o objetivo, entre outros principais, de dar função social aos espaços não urbanos da bacia e dinamizar as áreas distantes do centro da cidade. Porém a falta de equipamentos urbanos como serviços de comércio, bancários, educacionais, de saúde e de transporte eficiente se configuram como um entrave para o desenvolvimento nesse setor mais a jusante da bacia.

Figura 91: Residencial Nova Jerusalém, em Paço do Lumiar.



A integração total desses condomínios aos bairros onde estão inseridos pode levar algumas décadas até que se gere uma dinamização econômica forte o suficiente para dar independência das zonas mais centrais dos municípios. Tal como já ocorre com os conjuntos habitacionais da antiga COHAB/MA construídos dentro da área da bacia na segunda metade do século XX. Hoje os bairros do Maiobão, COHAB, Cohatrac, Cidade Operária e Turu possuem uma dinâmica econômica própria e centralizam serviços de saúde, educação, lazer, comércio e bancos sem que sua população necessite buscar em outros bairros tais serviços (Figuras 92 e 93).

Figura 92: Shopping Center Rio Anil, no bairro do Turu, em São Luís.



Figura 93: Shopping Center Pátio Norte, no bairro Saramanta, em São José de Ribamar.



Se por um lado essa dinamização pode ser boa, por outro representa uma perigo eminente para a Bacia do Paciência, que se não houver um planejamento urbano sustentável, que ao que tudo indica não há, pode se repetir o mesmo cenário atualmente encontrado nos conjuntos da antiga COHAB/MA (Figura 94).

Figura 94: Superfície densamente construída e impermeabilizada no bairro Cidade Operária.



Dentre os aspectos preocupantes estão a desregulação do conforto térmico humano, que se agrava na medida em que a cobertura vegetal é suprimida em detrimento de uma superfície construída com material que potencializa a retenção de calor, as casas do “Minha casa, minha vida” geralmente seguem o mesmo padrão com terrenos reduzidos e casas próximas umas das outras impossibilitando a existência de áreas verdes nos quintais além de serem de baixa altitude e quase sempre não consideram a orientação das vertentes, fato este que pode agravar o desconforto térmico deixando as residências expostas à insolação no período vespertino quando voltadas para direção norte.

Outro aspecto preocupante é a impermeabilização do solo que reverbera diretamente nos recursos hídricos subterrâneos, que como visto no mapeamento geológico da bacia possui uma predominância de fácies arenosa importante para a recarga de aquífero, principalmente pelo fato da bacia não ser completamente atendida pelo sistema de abastecimento de água do saneamento ambiental público e depender de poços de captação de água subterrânea para atender a necessidades básicas.

Nesse contexto a previsão é de que o escoamento superficial na bacia se acentue com a perda de vegetação e construção de uma superfície antrópica que potencializa os seus efeitos, sabendo que tal superfície se estende desde o alto curso e que este escoamento pode encontrar um terreno sem planejamento urbano sustentável que consiga correlacionar-se com as dinâmicas sociais e da natureza.

6.6.2 Classes de uso e cobertura da terra

Por meio de imagens orbitais foi realizada a classificação dos tipos de uso e cobertura da terra em uma série de intervalos de 10 anos (Figuras 95, 96, 97, 98) a partir de 1984, ano em que o satélite Landsat 5 começou a emitir imagens. Foram levantadas 6 classes a partir da observação do quadro ambiental da bacia, a saber: área urbana, solo exposto, vegetação mista, mata ciliar, manguezal e água. Nas cartas de 1984 e 2004 há a presença de um 7º elemento, que na verdade se trata de sombras e nuvens registradas na cena da imagem Landsat.

- ✓ Área Urbana: Corresponde às áreas ocupadas pelos objetos urbanos e alterações antrópicas na superfície ligadas ao sistema urbano nos municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa;
- ✓ Solo Exposto: Corresponde às áreas que apresentaram pouca ou nenhuma resposta espectral a componentes da vegetação ou de superfície antropicamente construída;
- ✓ Vegetação Mista: Corresponde às áreas que não se enquadram em nenhum tipo específico de vegetação, ou seja, que reúne diversas composições vegetais;
- ✓ Mata Ciliar: Corresponde às áreas que margeiam os rios, lagos, igarapés e olhos d'água com presença de vegetação nativa;
- ✓ Manguezal: Corresponde às áreas de planícies de maré e lamaosa coberta por vegetação de mangue;
- ✓ Água: Corresponde às áreas com presença de corpos hídricos.

Figura 95: Classes de uso e cobertura da terra e expansão urbana na Bacia do Rio Paciência no ano de 1984.

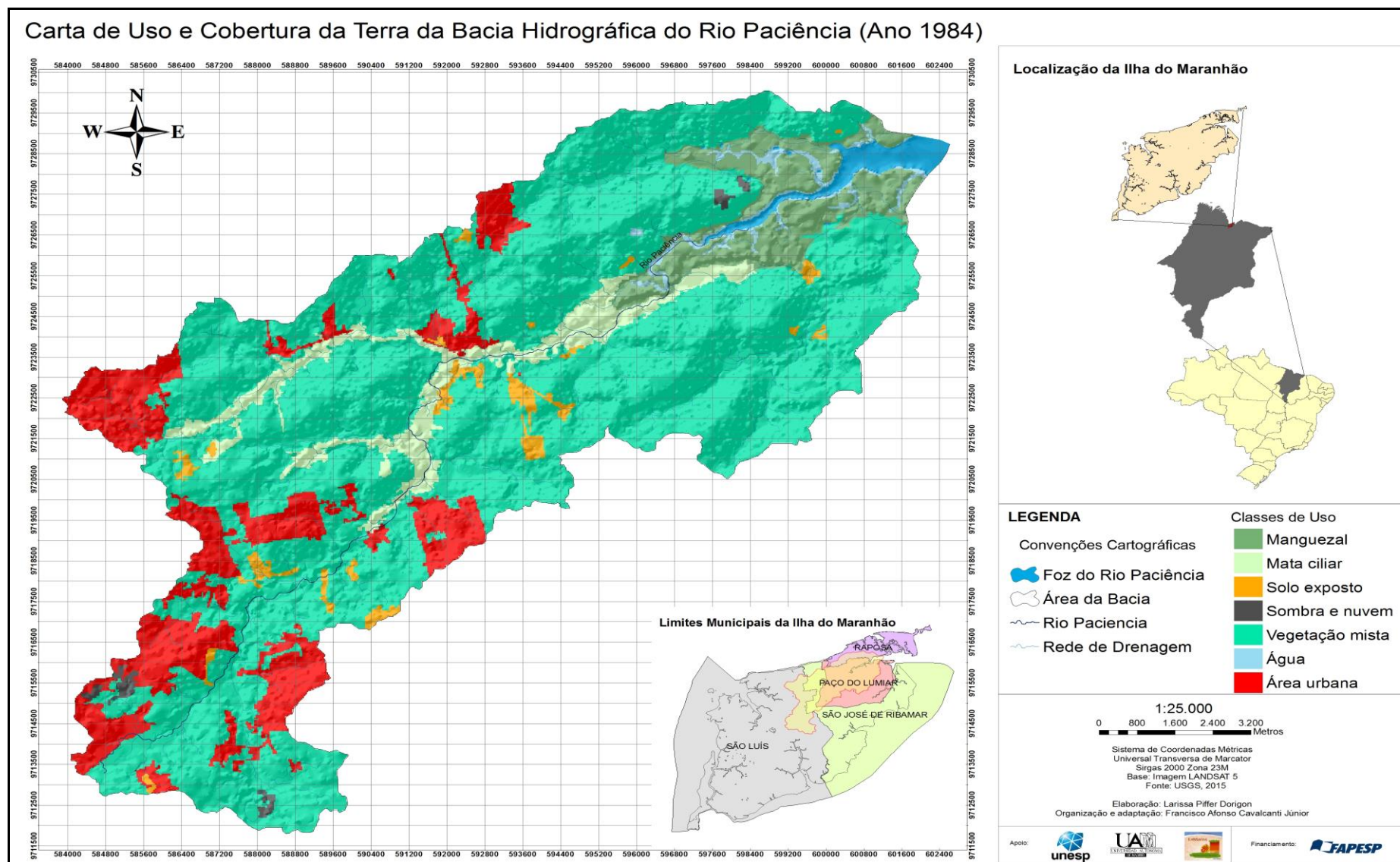


Figura 96: Classes de uso e cobertura da terra e expansão urbana na Bacia do Rio Paciência no ano de 1995.

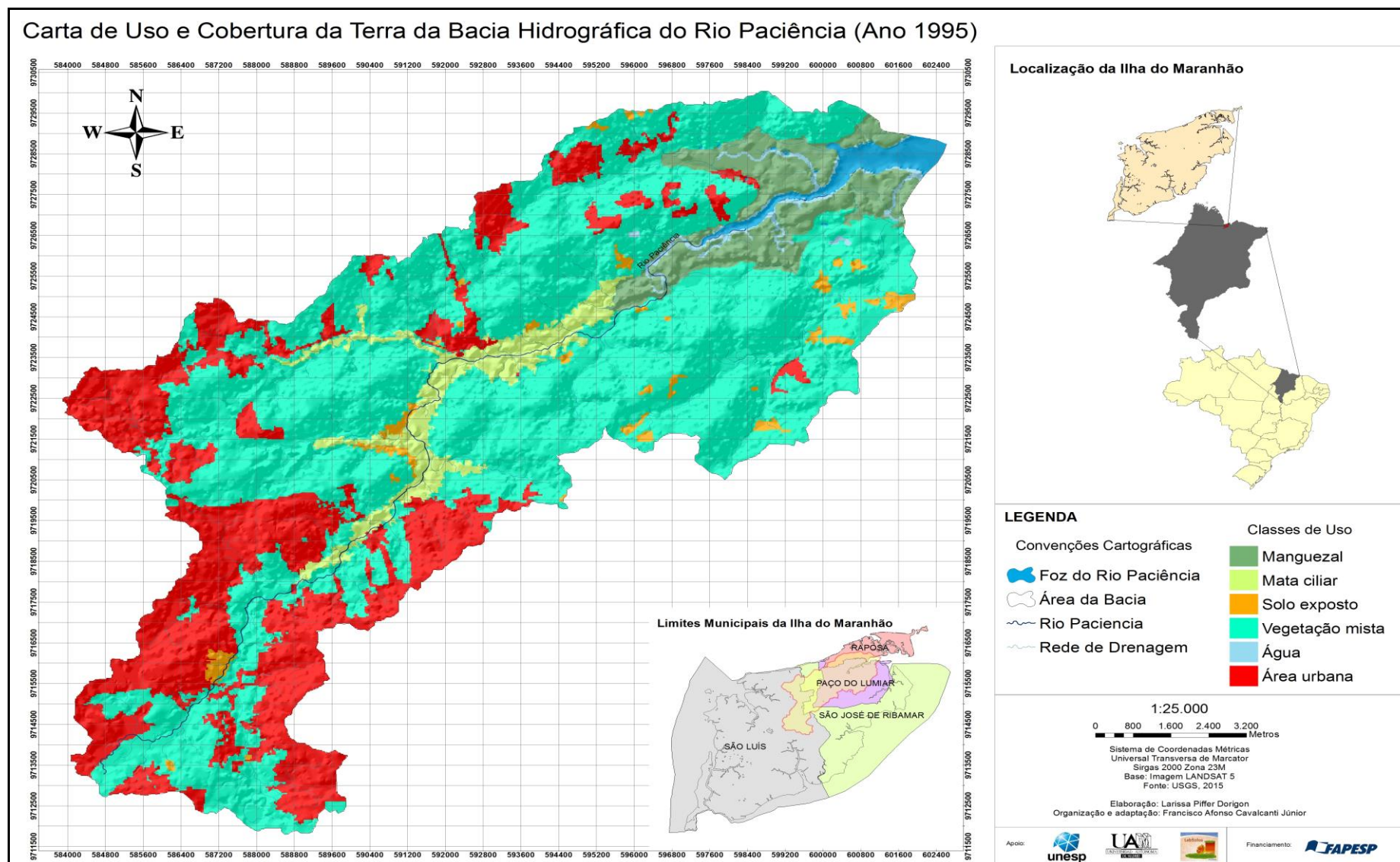


Figura 97: Classes de uso e cobertura da terra e expansão urbana na Bacia do Rio Paciência no ano de 2004.

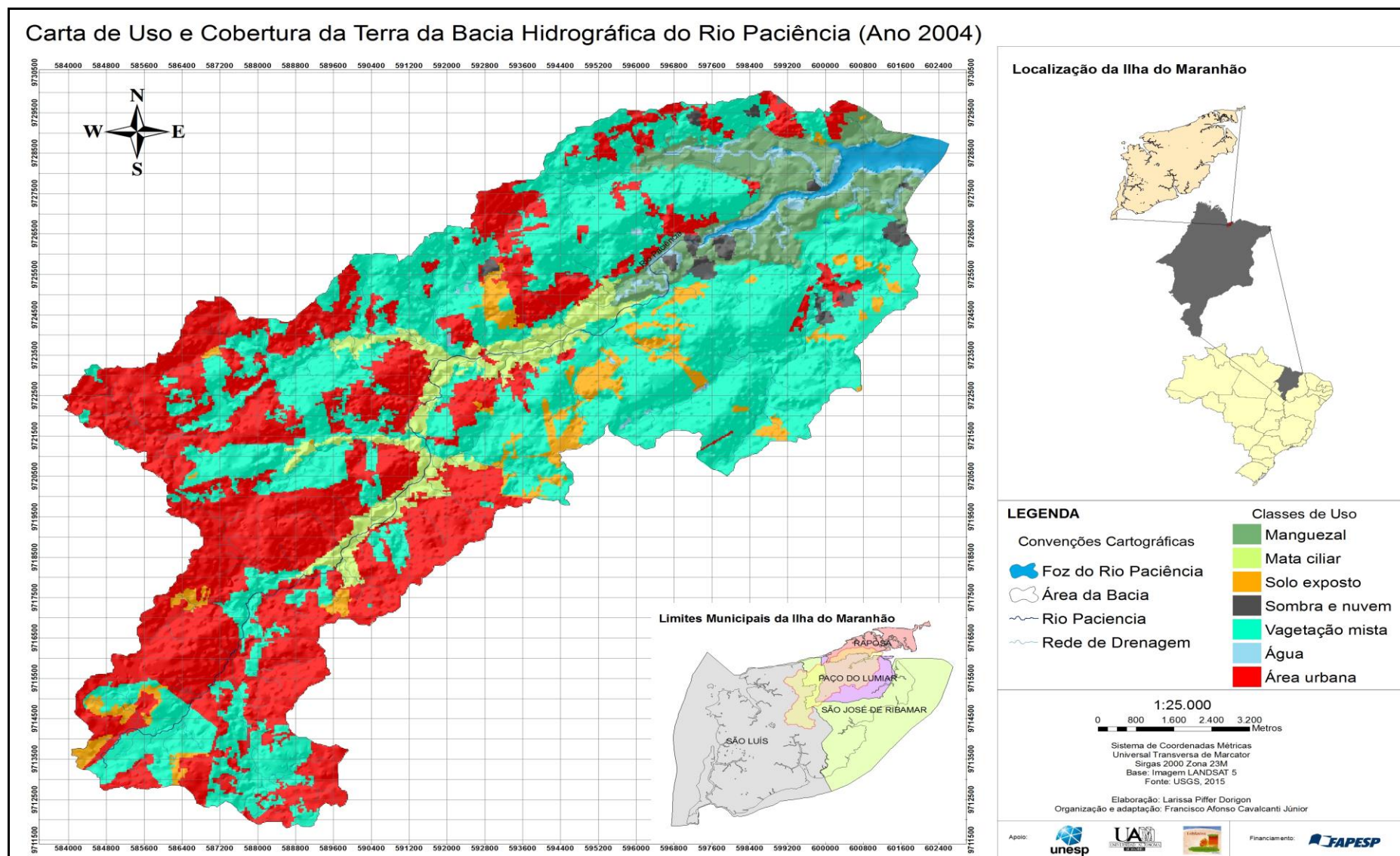
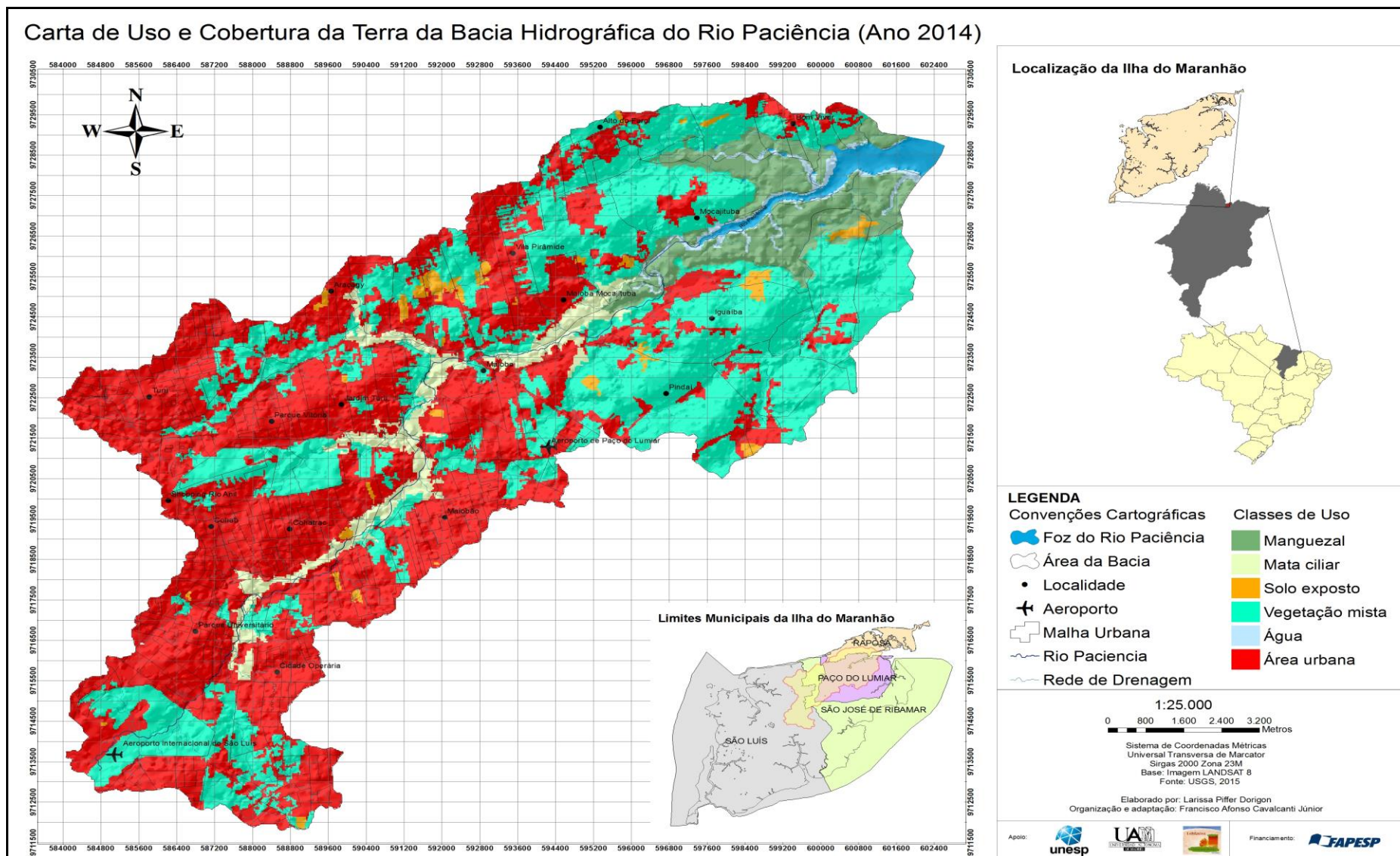


Figura 98: Classes de uso e cobertura da terra e expansão urbana na Bacia do Rio Paciência no ano de 2014.



Conforme demonstram as cartas, de 1984 a 2014, houve um avanço agressivo da mancha urbana sobre o relevo da bacia. Em 1984 a área urbana correspondia a 19,96 km² e em 2014 chegou a ocupar 71,17 km² dos 150 km² da bacia, o que representa um total de 47,58% da área da bacia, quase a metade, esse percentual pode ser ainda maior se desconsiderarmos as áreas dos corpos hídricos. Em contrapartida as áreas verdes sofreram uma forte redução.

A carta do ano de 1995 demonstra o acúmulo, de forma materializada, do que Suertegaray (2007) chama de “o tempo que faz” (tempo curto) se sobrepondo e moldando “o tempo que passa” (tempo longo). Nela observamos os grandes conjuntos habitacionais, frutos das políticas sociais do governo até a década de 80, polarizarem o seu entorno e influenciando a criação e agregação de novos setores habitacionais espontâneos e planejados pela iniciativa privada.

Em 2004 o novo quadro econômico do país desencadeou um efeito cascata de crescimento em vários setores, dentre eles o da construção civil. A Ilha do maranhão começa a entrar em uma fase de explosão dos condomínios fechados para a classe média e dos condomínios verticais populares. Todavia, esses empreendimentos ainda vão se concentrar dentro ou muito próximo às áreas dotadas de infraestrutura urbana. Nesta fase a Bacia do Rio Paciência já apresenta sinais da pressão exercida por esta atividade em seu relevo, pois conforme Jorge (2011) as mudanças que vêm ocorrendo de forma acelerada no meio construído pelo homem, e que em muitos casos só se preocupa em atender o interesse do capital privado, por vezes não considera os condicionantes biofísicos do sítio original onde ocorre sua implantação.

Esse crescimento vem desconsiderando os aspectos geomorfológicos e supervalorizando as técnicas antropogênicas de alteração do relevo e adequação às suas necessidades. A paisagem alterada se configura em um espaço produzido, onde o relevo assume o papel de suporte físico no qual as diferentes formas de ocupação se estabelecem em dados momentos históricos, econômicos e sociais (JORGE, 2011). Na bacia os reflexos da alteração do relevo se reverberam na supressão de drenagens naturais, o despejo de esgoto doméstico *in natura* diretamente no rio Paciência e seus afluentes (Figura 99) frente ao sistema de saneamento básico precário, a retirada de vegetação ciliar e o assoreamento de corpos hídricos (Figura 100), este último sendo fruto do homem como agente morfogenético.

Figura 99: Tributário do Paciência, no alto curso, visivelmente poluído e com marcante presença da ação antrópica na geomorfologia.



Figura 100: Assoreamento no trecho inicial do Rio Paciência próximo a UEMA.



A carta de uso e cobertura da terra de 2014, por sua vez, já apresenta os reflexos do programa federal de habitação “Minha casa, minha vida”, a expansão urbana no sítio da bacia tem ocorrido na direção nordeste seguindo a orientação topográfica do relevo, ocorrendo primeiramente nos topos das colinas e depois seguindo vertente abaixo.

O conhecimento geológico e geomorfológico do terreno, nesta nova fase de expansão urbana, parece ter tido um peso muito forte no planejamento dos novos condomínios e residenciais. O programa se desenvolve de duas formas, pelo financiamento residencial diretamente com a Caixa Econômica Federal, no caso dos grupos prioritários, e pelos incentivos fiscais na disponibilização de linhas de créditos para financiamento direto com as construtoras, no caso de grupos não prioritários. Dessa forma as condições geológicas e geomorfológicas do terreno podem indicar se haverá ou não demasiado gasto com serviços de aplainamento, aterramento, alicerce e dentre outros, com isso pode haver uma redução nos custos, maior lucro, venda de unidades ou mesmo vencer licitações.

Todas as alterações no relevo provocadas pela materialização das dinâmicas econômicas, sociais e urbanas, bem como a supressão das áreas vegetadas, se convertem, quando não há um planejamento sustentável, em problemas ambientais dos quais o escoamento superficial tem destaque. Segundo Jorge (2011) nos grandes centros urbanos as superfícies impermeabilizadas e a falta de drenagem para o escoamento superficial são as principais causas de alagamentos que afetam principalmente a população economicamente mais vulnerável.

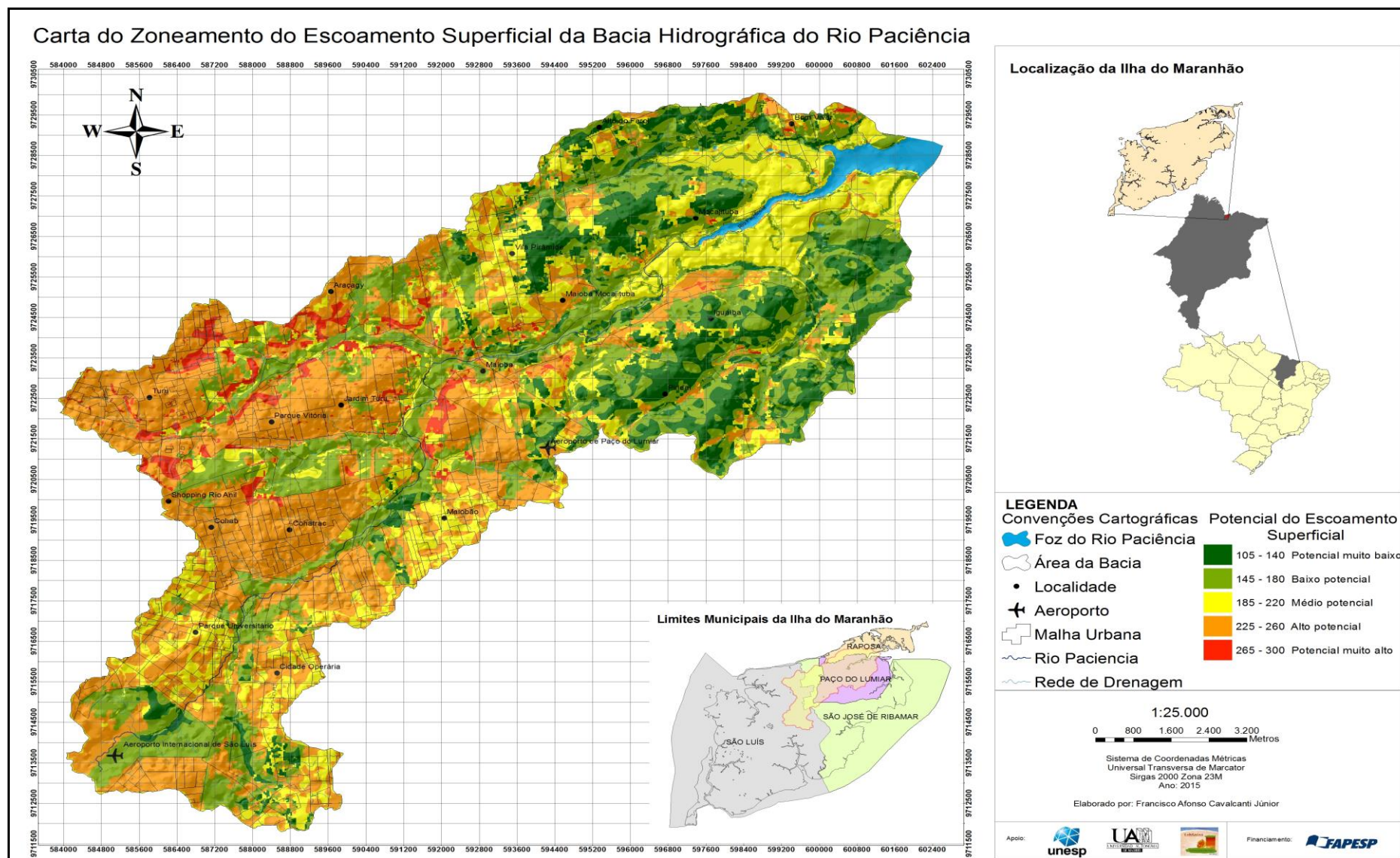
7 CARTA DO ZONEAMENTO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial sobre a superfície terrestre é por natureza um evento difuso em seu início e no seu transcorrer converge para um evento pontual. Em ambiente urbano atua, muitas vezes, como um agente de impacto negativo associado a problemas infraestruturais das cidades, visto que, em episódios de eventos chuvosos limpa a superfície antropizada e carrega os resíduos sólidos, efluentes domésticos e toda uma gama de material poluente e contaminante que são direcionados para os corpos hídricos ou são barrados, em áreas de baixa topografia, por processos diversos causando o acúmulo do fluxo, ao resultado desses processos chamamos de alagamento. Em ambiente de solo exposto ou de cobertura vegetal inexpressiva atua como um degradante pedológico, evidenciado nos processos erosivos e perda de solo, e que pode ser potencializado pela ação antrópica sobre a superfície.

Com isso, a potencialidade do escoamento, bem como o seu efeito sobre a sociedade, pode variar e depende de uma associação dos condicionantes físicos do terreno e suas formas de uso. Foi na busca de elucidar melhor esta associação e seu efeito que realizamos o zoneamento do escoamento superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.

A carta do potencial do escoamento superficial (Figura 101 e Apêndice A) foi elaborada considerando 7 atributos do meio físico e ambiental. Estes atributos correspondem aos levantamentos realizados neste trabalho, os quais foram organizados e pontuados conforme descrito no item 4.2.5.11, expostos no quadro 5, no qual receberam pesos quanto a sua influência no escoamento superficial, sendo o atributo “uso e cobertura da terra”, conforme análise comparativa, o que mais contribui para o escoamento, portanto o que recebeu a maior pontuação. No total os atributos considerados na análise foram: uso da terra, textura do solo, geologia, permeabilidade, curvatura das vertentes, declividade e densidade de drenagem. Estes atributos são considerados para a área de estudo, para outras áreas devem ser consideradas as particularidades que caracterizam o seu meio físico e ambiental.

Figura 101: Carta do zoneamento do escoamento superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.



Quadro 5: Determinação de pontuação dos atributos e das classes de escoamento superficial.

DIREÇÃO DE AUMENTO DO POTENCIAL DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL										
Classes de Escoamento	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Pontos Atributos	300-285	280-265	260-245	240-225	220-205	200-185	180-165	160-145	140-125	120-105
Uso e cobertura da Terra	Área urbana (95)		Solo exposto (65)		Manguezal (50)		Mata ciliar (20)		Vegetação mista (15)	
Textura do Solo	Argilosa (60)		Média argilosa (50)		Média siltosa (40)		Média arenosa (30)		Arenosa média (20)	
Geologia	Sedimentar fácies arenoargilosa; Formação Barreiras (50)		Depósito de pântanos e mangues; Formação Açuí (35)		Sedimentar fácies arenosa; Formação Barreiras (25)		Depósito aluvionar; Formação Açuí (20)		Depósitos fluviomarinhos; Formação Açuí (15)	
Permeabilidade	Baixo (40)				Médio (30)			Alto (20)		
Curvatura das Vertentes	Concentração (40)				Unidirecional (30)			Dispersão (20)		
Declividade	Forte ondulado (30)		Ondulado (15)			Suave ondulado (10)			Plano (5)	
Densidade de Drenagem	Médio curso 1,91 km/km² (30)			Baixo curso 1,90 km/km² (20)			Alto curso 1,87 km/km² (10)			

Conforme já descrito nos procedimentos metodológicos, salientamos que as classes de escoamento superficial são resultado da superposição de mapas e não do somatório dos valores de atributos tais como dispostos na ordem apresentada no quadro 5, ou seja, considerou-se os valores dos atributos espacializados nos mapas sobrepostos e que podem se cruzar com qualquer valor presente no referido quadro, independentemente da ordem de grandeza adotada para pontuação e da coluna em que estejam apresentados.

Com o cruzamento dos atributos foi possível estabelecer classes de escoamento superficial (Tabela 13) e a partir dos intervalos estabelecemos um critério de pontuação para as potencialidades de escoamento específicas para a Bacia do Rio Paciência. O

critério de pontuação é fruto desta pesquisa, porém a determinação dos nomes das classes de potencialidades foi inspirada nas classes estabelecidas por Zuquette e Gondolfi (2004) no trabalho realizado para a região de Piracicaba - SP.

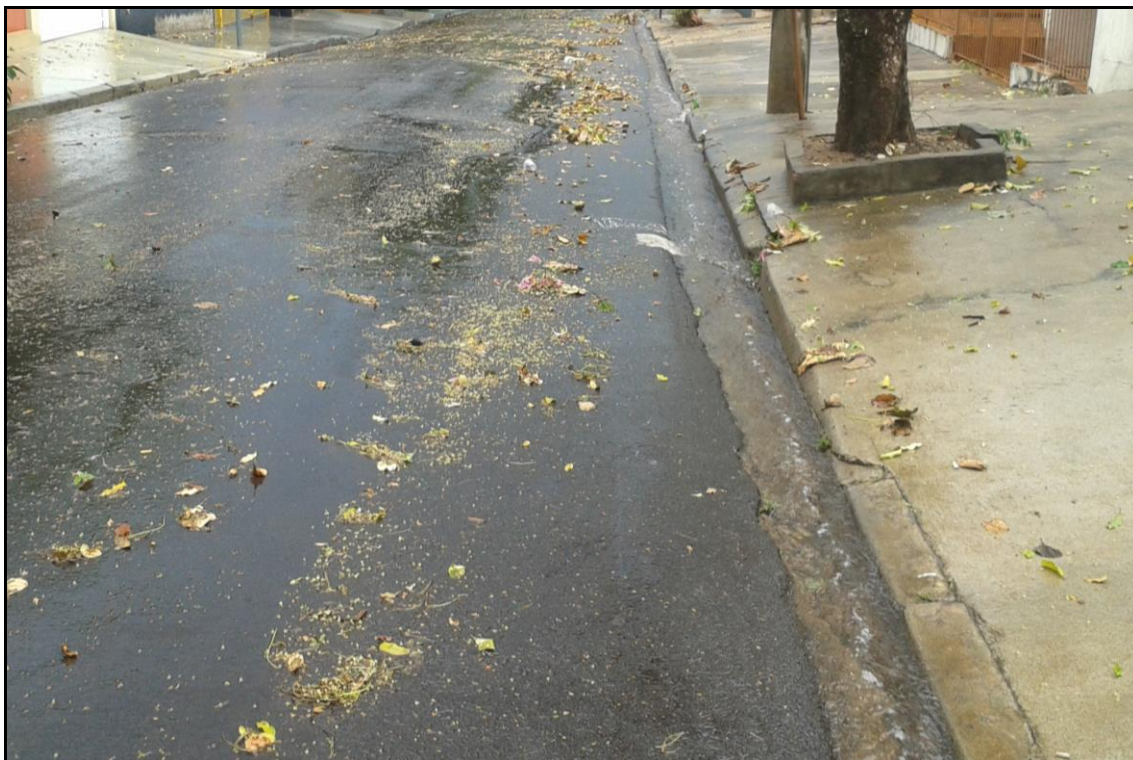
Tabela 13: Potencialidades do escoamento superficial.

POTENCIALIDADE	CLASSES DE ESCOAMENTO	PONTUAÇÃO
Potencial muito baixo	1 – 2	105 – 140
Baixo potencial	3 – 4	145 – 180
Médio potencial	5 – 6	185 – 220
Alto potencial	7 – 8	225 – 260
Potencial muito alto	9 – 10	265 – 300

A carta do zoneamento do escoamento superficial, figura 101, apresenta um resultado que entra em compatibilidade com as análises individuais realizadas para cada atributo. As áreas em cor laranja correspondem a um alto potencial de escoamento superficial, que apesar de estarem em um terreno pouco declivoso, e em alguns pontos de topo aplainado de tabuleiros, possuem esse potencial por estarem predominantemente com a superfície impermeabilizada pela materialização das dinâmicas socioeconômicas e culturais, representadas pelo ambiente urbano. As manchas em laranja abrangem e contornam exatamente as áreas urbanas encontradas na bacia com destaque para áreas mais adensadas como a região dos bairros do Turu, COHAB, Cohatrac e Parque Vitória.

Em ambientes urbanos o ciclo hidrológico encontra algumas barreiras para o seu fluxo natural, visto que a impermeabilização da superfície, por materiais construtivos, dificulta a infiltração de água no solo e, conseqüentemente, a manutenção dos lençóis freáticos e dos corpos hídricos superficiais, causando assim sérias conseqüências ambientais. Na bacia estudada as conseqüências deste tipo de alteração na paisagem podem ser observadas na supressão de nascentes em canais de primeira ordem, na baixa qualidade de conforto térmico e no escoamento superficial (Figura 102).

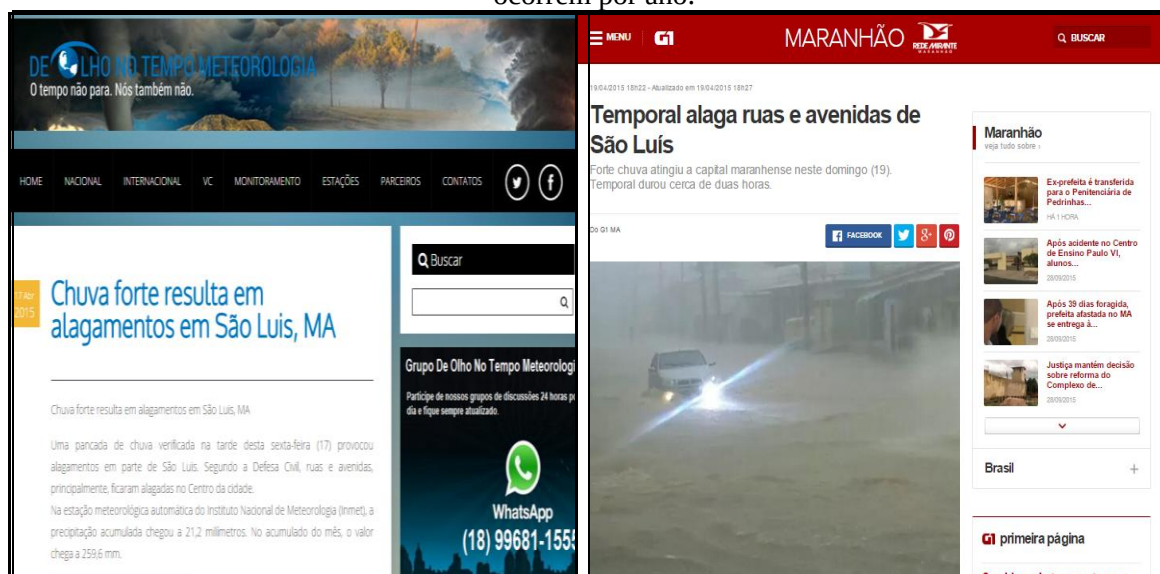
Figura 102: Escoamento superficial em área urbana, a rua/sarjeta assumindo o papel de canal de drenagem após evento chuvoso.



Quanto ao escoamento superficial, descendo as encostas das colinas o fluxo cresce incorporando outros volumes, como um efeito “bola de neve”, em decorrência da declividade, portanto o efeito mais impactante deste processo ocorre nas áreas urbanas topograficamente mais baixas margeando algumas colinas conforme evidenciado na carta de escoamento pelas manchas vermelhas de potencial muito alto.

Tanto no caso de alto potencial quanto no caso de potencial muito alto ao escoamento superficial os impactos dos alagamentos, associado a uma infraestrutura urbana deficiente, causam sérios problemas na bacia. Durante a pesquisa não foram encontrados dados relacionados a óbitos, porém os prejuízos de ordem material e de paralização do fluxo de pessoas e atividades instaura um caos que é recorrente todos os anos e que estampam os noticiários locais e nacionais (Figura 103).

Figura 103: Sites noticiando episódios de alagamentos, dois episódios dentre muitos que ocorrem por ano.



Fonte: <http://www.deolhonotempo.com.br/index.php/nacional/676-chuva-forte-resulta-em-alagamentos-em-sao-luis-ma>

<http://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2015/04/temporal-alaga-ruas-e-avenidas-de-sao-luis.html>

Quando ocorrem chuvas excepcionais, com registro de alta pluviosidade em um curto intervalo de tempo, vários pontos da bacia registram alagamentos, como na MA – 201, que liga os município de São Luís, São José de Ribamar e Paço do Lumiar, e nos bairros do Cohatrac (Figura 104) e Cohab (Figura 105), por exemplo.

Figura 104: Veículo parcialmente submerso em avenida do bairro Cohatrac.



Fonte: <http://imirante.com/sao-luis/noticias/2014/05/06/internautas-registram-pontos-de-alagamento-em-sao-luis.shtml>

Figura 105: Rua atrás da maternidade Marly Sarney, bairro COHAB.



Fonte: <http://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2014/05/ruas-da-cohab-ficam-alagadas-apos-fortes-chuvas-em-sao-luis.html>

As áreas de médio potencial ao escoamento são representadas na carta pela cor amarela e correspondem a um contraste entre as áreas urbanizadas e não urbanizadas, ou seja, uma mesma condição para características distintas do terreno.

No caso das áreas urbanizadas o fator que mais contribuiu para esta condição foi o potencial de dispersão da curvatura das vertentes frente a outros atributos, as formas divergentes (plano horizontal) e convexas (plano vertical) ao dispersarem o fluxo do escoamento para várias direções retardam o acúmulo da vazão e assim diminuem o potencial de escoamento superficial mesmo em áreas urbanas. Em bairros onde o serviço de pavimentação é parcial, e não se preocupa com o solo exposto das vias adjacentes e paralelas, é bem comum encontrar processos de erosão e deposição, os depósitos de sedimentos invadem as vias e causam transtornos com a lama, no período chuvoso, e com a poeira, no período seco, como no caso dos bairros Jardim Turu I (Figura 106) e Miritiua (Figura 107), ambos no município de São José de Ribamar.

Figura 106: Rua “N” no bairro Jardim Turu I, exemplo de ruas sem pavimentação acometidas de erosão e sem infraestrutura de drenagem.



Figura 107: Escoamento superficial e depósito de sedimentos em via do bairro Miritiua.



Os depósitos de sedimentos, bem como a erosão, ainda atuam como obstáculos para o escoamento, porém são também um dos principais causadores de obstrução das sarjetas e bocas-de-lobo, quando há. Os dois bairros foram citados como referencia, porém esta uma realidade é bem comum na Bacia do Paciência e na Ilha do Maranhão.

Nas áreas não urbanizadas o fator que mais contribuiu para esta condição foi a classe de declividade plana, de modo geral essas áreas (Figura 108) correspondem ao domínio da Formação Açuí que é fortemente influenciada pela variação de maré e que, com esta condição de declividade, permanecem constantemente saturadas apresentando um alto potencial ao escoamento, este potencial só é minimizado no mapeamento geotécnico pela ausência de classes de atributos de grande impacto, como, por exemplo, a área urbana.

Figura 108: Formação Açuí, (A) depósito de pântanos e mangues, (B) depósito fluviomarinho.



A classe baixo potencial, representada na carta do zoneamento do escoamento (Figura 101) pela cor verde claro, teve como principais atributos condicionante algumas encostas com formas de curvatura que concentram o fluxo e a planície de inundação (agrupamento das planícies fluvial, aluvial e submersível), segundo Polivanov e Barroso (2011) a planície de inundação exerce a função de regulador hídrico absorvendo o excedente da água do volume máximo de água e sedimentos que o rio consegue transportar.

Ainda segundo os autores este tipo planície é caracterizada por possuir um relevo plano, constituído principalmente por aluviões, solos e terraços hidromórficos, de modo geral essas características dificultam na capacidade de drenagem vertical do terreno, visto que, seu comportamento geotécnico pode apresentar índices delicados, como: baixa resistência, alta deformabilidade e consequentemente baixa capacidade de suporte de cargas, e baixa permeabilidade.

A disposição dessa classe de potencial na bacia ocorre contornando as duas margens do Rio Paciência e rios afluentes e subindo um pouco as encostas das colinas no baixo curso, seguindo, de forma generalizada e predominante, o mesmo contorno das planícies de inundação.

O acontecimento de eventos de extrapolação do volume dos corpos hídricos, para além do canal fluvial, é um processo natural e a natureza se estrutura geomorfologicamente para isso, assim a Bacia do Paciência possui um baixo potencial de escoamento superficial nessas áreas que só atingem níveis críticos em eventos de forte precipitação pluvial associados à supressão dos canais pelo adensamento urbano que disponibiliza um deflúvio maior que a capacidade de vazão dos rios em um determinado período de tempo, um exemplo desse episódio é o recorrente alagamento da Estrada de Ribamar (MA – 201) todos os anos pelo trasbordamento do Rio Paciência (Figura 109)

Figura 109: Águas do Paciência cobrindo a MA – 2001, trecho entre os bairros Forquilha, em São Luís, e Saramanta, em São José de Ribamar.



Fonte: <http://luiscardoso.com.br/cidade/2013/03/chuvas-torrenciais-deixam-sao-luis-um-caos/>

Segundo moradores do bairro Maioba, em Paço do Lumiar, que residem nas áreas dos terraços fluviais, essas cheias do Rio Paciência também os afetam, mas não mudam o local de suas residências porque nunca chegaram a ter grandes perdas materiais.

A classe potencial muito baixo, na carta de geotécnica de escoamento superficial (Figura 101), corresponde às manchas em verde escuro que, espacialmente, predominam a secção do baixo curso da bacia. A área de abrangência desse potencial de escoamento apresenta o domínio da classe de vegetação mista, da carta de uso e cobertura da terra (Figura 98), que naturalmente consegue reter por mais tempo a lâmina d'água na superfície e evita a impermeabilização do solo, assim possibilitando uma capacidade de infiltração de água no solo maior que a de deflúvio.

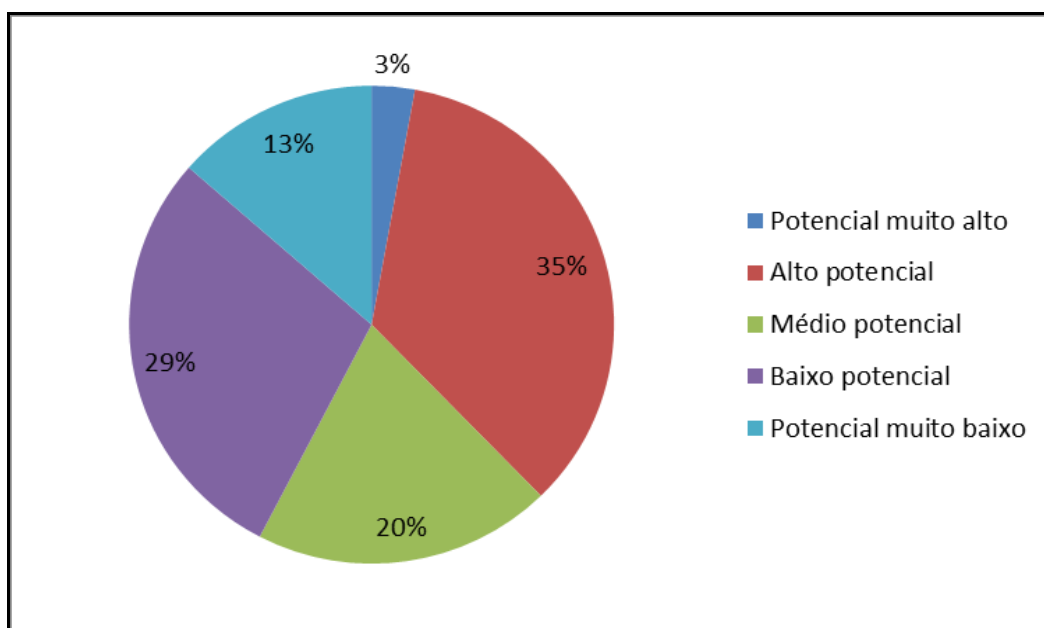
É importante destacar o papel da geomorfologia na contribuição desse potencial baixo, os topos de tabuleiros e de colinas com declividade variando entre plano e suavemente plano fazem com que a ação da gravidade movimente com menos rapidez o

fluxo no sentido horizontal, desta forma, também contribuindo para a permanência por mais tempo da lâmina d'água sobre a superfície e consequentemente potencializando a infiltração da água no solo.

É nessa secção da bacia que encontramos a condição de escoamento mais próxima do natural para as características físicas do terreno, ou seja, sem a intervenção humana, porém como já mencionado o crescimento urbano da bacia tende para essa direção nos mesmos moldes de infraestrutura, ou da falta dela, já observados. Atualmente os bairros sobre a influência desse potencial, na secção analisada, compreendem as regiões do Alto do Farol e Vila Pirâmide, no município de Raposa; Mocajituba, Maioba Mocajituba e Iguaiá, no município de Paço do Lumiar; e, fora da secção analisada, dentro da área de segurança do Aeroporto Internacional Marechal Hugo da Cunha Machado e proximidades, no município de São Luís.

Em termos de percentagem o gráfico 06 apresenta a proporção da distribuição espacial das potencialidades representadas na carta.

Gráfico 6: Percentagem da distribuição espacial das potencialidades



O gráfico indica que, com 35% da área da bacia, o alto potencial ao escoamento superficial é predominante, principalmente no alto curso, onde se encontram os maiores adensamentos urbanos, com isso, onde há mais pessoas os impactos negativos tendem a serem maiores e mais preocupantes.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O zoneamento do escoamento superficial tem se mostrado uma ferramenta muito importante para compreender melhor os impactos da dinâmica socioeconômica e/ou antrópica na paisagem e reversamente seu impacto sobre a sociedade, onde o homem e a natureza estão interligados em um sistema sincrônico de causas e efeitos.

Muito utilizado nos planos diretores das cidades e nas ações de proteção e manutenção dos recursos ambientais o zoneamento surge como um instrumento frente à necessidade humana de se apropriar sustentavelmente do território. Portanto, torna-se importante para o planejamento e desenvolvimento das sociedades em qualquer lugar do planeta combinando o equilíbrio ambiental ao bem-estar e funções sociais por meio estudos dirigidos e mapeamentos.

De fato, o mapeamento geoambiental, com uma proposta como a deste estudo, demanda um levantamento minucioso de dados para transforma-los em informações e produtos, que muitas vezes esbarram na falta de recursos ou na insuficiência destes para a execução das atividades tanto na questão da demanda material quanto na de recursos humanos.

As cartas resultantes do estudo do meio físico e do uso da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência representam um instrumento de transformação na medida em que outros estudos para análise e tomadas de decisão, com fins de investigação e apropriação ou gestão, podem ser desenvolvidos a partir delas.

A carta do potencial de escoamento superficial se configura como a culminância de todos os trabalhos e informações aqui levantadas e que permitem uma análise integrada a outros aspectos do terreno. Sobretudo é um documento de aplicabilidade, rico em detalhes e informações que pode instrumentalizar órgãos públicos, privados, sociedade civil organizada e institutos de educação e pesquisa na gestão territorial, medidas de intervenção e como modelo para realização deste tipo de estudo em outros lugares.

Constatou-se que apesar da baixa declividade e solo com característica textural predominantemente com maior teor de areia, a bacia apresenta um potencial de escoamento superficial alto ditado pela antropização da superfície representada pela mancha urbana. Por isso, apesar do zoneamento considerar todos os atributos descritos

na pesquisa para a análise do escoamento superficial o atributo uso e cobertura da terra foi o que mais exerceu influência.

Os problemas resultantes, como os alagamentos, afetam tanto os moradores da bacia hidrográfica quanto uma parcela da população da Ilha que por ela transita. Não foram encontrados registros de mortes causadas pelos alagamentos e de modo geral as consequências incorrem quase sempre em transtornos no fluxo dos transportes, no comércio de porte pequeno e em perdas materiais.

Os potenciais de escoamento muito altos foram registrados nas áreas de baixas topográficas das colinas, zonas mais periféricas e sem infraestrutura urbana de qualidade onde vivem a população mais carente que se encontram em situação de completo abandono dos poderes públicos estadual e municipais da Ilha.

Os potenciais de escoamento altos foram registrados nas áreas mais urbanizadas e centralizadas dos bairros Turu, COHAB, Cohatrac e Cidade Operária. São áreas muito urbanizadas e impermeabilizadas que por se situarem em zonas topograficamente mais altas naturalmente potencializam o escoamento superficial por força gravitacional, todavia há alguns pontos de alagamento, principalmente no bairro Cohatrac e proximidades, em decorrência do entupimento das bocas de lobo e vias de escoamento. Isto ocorre por uma associação de fatores, dentre elas: descontinuidades topográficas que causam pequenas depressões, acúmulo de resíduos sólidos domésticos e pequenos hábitos da população de descartar embalagens nas ruas, o solo exposto e não calçamento de alguns trechos marginais das vias de transporte e pouca abrangência territorial dos sistemas de drenagem urbana e esgoto.

Os potenciais de escoamento médios foram registrados em zonas com duas características particulares: área urbana e área de domínio das planícies fluviomarinhas. Nas áreas urbanas ocorrem principalmente nas proximidades dos bairros Parque Universitário, Cidade Operária, Maiobão e São Raimundo, são áreas caracterizadas por uma urbanização com pouca infraestrutura e pouca impermeabilização da superfície que, apesar de estarem topograficamente em pontos mais altos e com forte influência da gravidade, propiciam um contato mais direto e mais longo da lâmina d'água com o solo e vegetação favorecendo a infiltração de água no solo e consequentemente diminuindo o potencial de escoamento superficial. Na área de domínio das planícies fluviomarinhas da foz do Rio Paciência a declividade é plana, mas este potencial ocorre em virtude das características pedológicas de solo argiloso que submetido ao regime de variação de

maré está constantemente inundado adquirindo consistência lamosa, nessas condições a infiltração de água no solo é pouca e excedente tende a escoar.

As áreas de baixo potencial correspondem às zonas de vegetação preservada como, por exemplo, a Área de Proteção Ambiental do Itapiracó e do Aeroporto Internacional Marechal Cunha Machado (São Luís), além de áreas vegetadas diversas no meio urbano e nas margens dos interflúvios dos rios da bacia. Nessas áreas observa-se a importância da vegetação na atenuação do processo de escoamento superficial proporcionando uma maior capacidade de infiltração de água no solo, bem como a necessidade de tornar a bacia hidrográfica mais sustentável diminuindo os danos causados pelos alagamentos.

As áreas de potencial muito baixo correspondem aos topos de tabuleiros e colinas no baixo curso da bacia hidrográfica, são áreas com solo predominantemente arenoso, vegetadas e pouco urbanizadas. No zoneamento a preservação dessas áreas é importante não somente para evitar os problemas decorrentes do escoamento superficial, mas também para a segurança hídrica da bacia. A água que infiltra no solo é importante para a manutenção das águas subterrâneas e para conter o avanço da cunha salina que já atinge os poços artesianos das comunidades do baixo curso da bacia hidrográfica, como por exemplo, algumas comunidades do bairro Iguatã no município de Paço do Lumiar.

Conforme pode ser observado na carta de escoamento superficial e na sua análise, a bacia hidrográfica apresentou um cenário muito favorável ao escoamento superficial, com 58% do seu território variando de potencial muito alto a potencial médio. Tal faixa corresponde ao alto e médio curso da bacia que caracterizam-se por serem áreas mais urbanizadas. Do lado oposto, o baixo curso e as margens dos interflúvios representam 42% do território da bacia variando de potencial baixo a potencial muito baixo. A hipótese central da pesquisa foi confirmada, porém se faz necessário a realização deste mesmo estudo em outras bacias vizinhas ou até mesmo em toda a Ilha do Maranhão para que se tenham parâmetros e assim melhor dimensionar os impactos do escoamento superficial.

A partir da análise dos resultados concluiu-se que os problemas identificados resultam, antes de tudo, da má administração dos gestores públicos evidenciado nas ruas não pavimentadas, cobertura e manutenção do sistema de esgoto quando existe,

urbanização não planejada, concessão de área para a construção de empreendimentos imobiliários sem considerar a legislação ambiental e as aptidões físicas do terreno.

Como sugestão para amenizar os impactos do escoamento superficial da bacia hidrográfica indica-se a substituição das pavimentações asfálticas por asfalto permeável, uma tecnologia que já vem sendo muito utilizada na Europa e que possibilita a infiltração da água no solo, alimentando o lençol freático e diminuindo o escoamento superficial. No entanto, deve-se ser ter cautela no uso desse material para as áreas de recarga de aquífero, considerando o tipo de uso do solo para evitar a contaminação das águas subterrâneas, no caso de áreas sem sistema de saneamento básico não se recomenda.

Outra sugestão seria incentivar empresas e residências a adotarem o uso de concreto permeável em estacionamentos e áreas que necessitem ser pavimentadas, aqui também deve adotar a mesma cautela anteriormente mencionada.

Todavia, a sugestão mais viável economicamente e ambientalmente são as de infraestruturas verdes. Constituem-se em estruturas capazes de estabelecer ligações entre as zonas naturais existentes melhorando a qualidade ambiental das cidades e fornecendo condições para o ecossistema continuar e melhorar fornecimento de conforto térmico, ar e água. Como elementos desta infraestrutura destacam-se: as zonas arborizadas, paisagismo e parques urbanos ambientais. Todas essas medidas devem estar associadas a materiais o menos impermeáveis possíveis e de predominância de vegetação sobre o solo.

As informações levantadas nesta pesquisa podem auxiliar no planejamento territorial e ambiental do uso da terra da referida bacia hidrográfica, se configurando em um importante documento para futuros projetos de ordenamento do espaço geográfico e prevenção e/ou remediação de problemas ambientais.

REFERÊNCIAS

AB’SABER, A. N. **A Amazônia: Do discurso à práxis**. 2ª ed. EDUSP; São Paulo, 2004.

_____. **Contribuições à Geomorfologia do Estado do Maranhão**. Notícias Geomorfológicas (revista) v.3, nº 5, p. 35-44. Abril, 1960.

_____. **Os domínios da natureza do Brasil: Potencialidades paisagísticas**. 4ª ed. Ateliê: São Paulo, 2007.

ARAÚJO, R. R. **Clima e vulnerabilidade socioespacial: uma avaliação dos fatores de risco na saúde da população urbana do município de São Luís (MA)**. 2014. 290f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

BARROSO J.A; CABRAL S.; MALTA C. S.. **Subsídios geológico-geotécnicos como apoio ao Plano Diretor do município do Rio de Janeiro**. In: Anais do VII Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia: Poços de Caldas, 1993, nº2, p.167-176.

BARROSO, J.A. et al.. **Geological-geotechnical mapping of Rio de Janeiro metropolitan region**. In: Anais do V INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY: Buenos Aires, 1986, nº6, p.1715-1724.

BARTOLITI, F. D.. **ArcGis aplicado a bacias hidrográficas, aula 6**. Disponível em: http://www.ltc.ufes.br/gisbasins/Aula_06.pdf Acesso em: 25/08/2015.

BERTALANFFY, L.. **Teoria geral dos sistemas**. Editora Vozes: Petrópolis, 1975.

BERTRAND, G.. **Paisagem e Geografia Física global: Esboço metodológico**. Trabalho publicado, originalmente, na “Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-

Ouest”, Toulouse, v. 39 n. 3, p. 249-272, 1968, sob título: Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. Publicado no Brasil no Caderno de Ciências da Terra. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, n. 13, 1972. Tradução: Olga Cruz; R. RA’E GA Nº 8. Editora UFPR: Curitiba, 2004, p. 141-152.

BEZERRA, J. F. R. **Estudo da Compartimentação Geomorfológica da Área da Bacia do Rio Paciência, Ilha do Maranhão**. Monografia. Curso de Geografia da Universidade Federal do Maranhão; São Luís, 2004.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da. **Infiltração da água no solo**. 3ª ed. Viçosa: editora UFV, 2006.

CARVALHO, I. S. **A bacia de São Luís**. In: BRITO, I. M. Geologia histórica. Editora da Universidade Federal de Uberlândia: Uberlândia, 2000.

CAVALCANTI JÚNIOR, F. A.. **Infiltração de água no solo da Sub-bacia do Rio Maracanã, São Luís – MA**. Monografia (graduação). Universidade Federal do Maranhão. Curso de Geografia; São Luís, 2011.

CEDERGREN, H. R. **Seepage, drainage and flow nets**. John Willey and Sons; New York, 1989.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**, 2 ed., Edgar Blucher; São Paulo, 1980.

DIAS, R. D.. **Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais**. Revista Instituto Geológico, volume especial: São Paulo, 1995, p.51-55.

DERRUAU, M.. **Précis de Geomorphology**. 4ª ed. Masson et Cie; Paris, 1965.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. 2ª Ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos – Embrapa Solos; Rio de Janeiro, 2009.

_____. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ª ed. Revista e Atualizada. Centro Nacional de Pesquisa de Solos - Embrapa; Rio de Janeiro, 1997.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. Comprender el análisis de interpolación. Disponível em: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/009z00000006w000000/> Acesso em: 24/03/2015.

_____. Cómo funciona Orientación. Disponível em: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/00q900000023000000/> Acesso em: 26/03/2015.

_____. Cómo funciona De ráster a TIN (3D Analyst). Disponível em: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/00q90000008r000000/> Acesso em: 24/03/2015.

_____. How Slope Works. Disponível em: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/00q90000001r000000/> Acesso em: 26/03/2015.

FEITOSA, A. C; TROVÃO, J. R.. **Atlas escolar do Maranhão: Espaço Geo-histórico e cultural**. Editora Grafiset; João Pessoa, 2006.

FEITOSA, Antônio Cordeiro. **Dinâmica dos processos geomorfológicos da área costeira a nordeste da Ilha do Maranhão**. Rio Claro (SP), 1996. 249f. Tese. (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 1996.

FLORENZANO, T. G.. **Iniciação em sensoriamento remoto**. Oficina de Textos; São Paulo, 2007.

_____. **Geomorfologia; Conceitos e tecnologias atuais**. Oficina de Textos; São Paulo, 2008.

FRANCO, G. B; MARQUES, E. A. G.; CALIJURI, R. L. G.. **Cartografia Geotécnica: estágio atual do conhecimento**. Caminhos da Geografia. Vol. 11 nº 35: Uberlândia, 200, p. 158 – 172.

FREITAS, C, G, L. de; CAMPANHA, V. A. **Carta geotécnica e ambiental aplicada em planos diretores municipais**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 6, Uberlândia. Anais... Uberlândia: ABGE, 2007. p. 562-570

GUERRA, A. J. T.. **Dicionário geológico-Geomorfológico**. 8ª ed. IBGE; Rio de Janeiro, 1993.

_____. **Processo Erosivo nas Encostas**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B.. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 4ª ed. Bertrand Brasil; Rio de Janeiro, 2001.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia e meio ambiente**. Org. 7ª Ed. Bertrand Brasil; Rio de Janeiro, 2009.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Bertrand Brasil; Rio de Janeiro, 1997.

GUERRA, J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Org. 5ª Ed. Bertrand Brasil; Rio de Janeiro, 2010.

IAEG - INTERNACIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY. **Engineering Geology maps: a guide to their preparation**. Unesco: Paris, 1976.

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.

JENSEN, J.R.. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: EPIPHANIO, J.C.N. (coordenador)...[et al.]. Parêntese; São José dos Campos, 2009.

JORGE, M. do C. O.. **Geomorfologia Urbana: Conceitos, metodologias e teorias**. In: GUERRA, A, J. T.(org). **Geomorfologia Urbana**. Bertrand Brasil; Rio de Janeiro, 2011.

KONDRATEV, K. IA.; FILATOV, N... **Limnology and remote sensing: a contemporary approach**. Springer - Praxis Series in Remote Sensing, 1999.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. 1ª ed. Oficina de Textos; São Paulo, 2009.

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

LEPSCH, I. F.; SAKAI, E. & AMARAL, A.Z. **Levantamento pedológico de reconhecimento semi-detalhado da Região do Rio Ribeira do Iguape no estado de São Paulo**. Folha SG.23-V-A-IV-2, Escala 1:100.000. SAA; IAC: Campinas, 1983.

Estudo de pedologia/cobertura vegetal. **Macrozoneamento do Golfão Maranhense. Diagnóstico Ambiental da Microregião da Aglomeração Urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário**. Sema/MMA/PNMA: São Luís, 1998f.

MARTINS, J. A. **Infiltração**. In: PINTO, N. L. de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. Edgard Blucher; São Paulo, 1976, p. 44 – 55.

MATULA, M.. **Principles and types of engineering geological mapping**. Report of the omission on engineering geological mapping. Bulletin the International Association of Engineering Geology: 1976, nº 24, p. 227-234.

MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: Métodos de estudo – sistemas de preparo e manejo do solo**. FUNEP; Jaboticabal, 2002.

MUNIZ, Francisca Helena; BRITO, Érica Ribeiro. **Levantamento da flora apícola do município de Itapecuru-Mirim, Maranhão**. Revista Brasileira de Biociências, v. 5, p. 111-113, 2007.

NIMER, E, BRANDÃO, Ana Maria P.M. (coords). **Balanço hídrico e clima da região dos Cerrados**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

NOGUEIRA, J. B. **Mecânica dos solos: ensaios de laboratório**. EESC-USP; São Carlos, 1995.

NUNES, J. O. R.; PERUSI, M. C.; PETERLINI, G. H. de C.; TIEZZI, R. de O.; PISANI, R. J.; SANTANA, É. L. R.. **Variações Texturais dos Latossolos Vermelhos do Assentamento Rural Antonio Conselheiro – Mirante do Paranapanema/SP**. Geografia em Atos. Vol 1, Nº 6; Presidente Prudente, dezembro, 2006, p. 30 – 39.

PEREIRA, E. D. **Vulnerabilidade natural a contaminação do solo e do Aquífero do Reservatório Batata**. Tese (doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências exatas. Unesp; Rio Claro, 2006.

PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. **Geologia do Brasil**. São Paulo: USP, 1983.

PRANDINI, F. L.; NAKAZAWA, V. A.; FREITAS, C. G . L. de; DINIZ, N .C.. **Cartas Geotécnicas nos planos diretores regionais e municipais**. In: BITAR, O. Y. Curso de Geologia de Engenharia aplicada ao meio ambiente. ABGE: São Paulo, 1995.

PINTO, C. de S.. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3ª Edição. Oficina de Textos; São Paulo, 2006.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. dos S.; SILVA, D. D. da. **Escoamento superficial**. 2ª Ed. Editora UFV; Viçosa, 2008.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Manole; São Paulo, 1990.

RADCLIFFE, D. E.; SIMUNEK, J. **Soil physics with hydrus: modeling and applications**. CRC Press; United States: Florida, 2010.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. **Técnicas Fundamentais para o Estudo de Bacias Hidrográficas**. In: VENTURI, L. A. B. (Org.). **Praticando a Geografia: Técnicas de Campo e Laboratório em Geografia**. Oficina de Textos; São Paulo, 2009.

RODRIGUES, T. L. N. *et al.* (Org) **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: São Luís, Folha SA-23-2-A, Cururupu Folha SA-23-X-C, escala 1: 250.000**. CPRM; Brasília, 1994.

ROSS, J. L. S.. **Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo**. Rev. Geografia. IG-USP; São Paulo, 1992, p. 17 – 29.

_____; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. FFLCH-USP/IPT/FAPESP; São Paulo, 1997.

ROSSETI, D. F.. **Ambientes costeiros**. In: FLORENZANO, T. G. (Org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. Oficina de Textos; São Paulo, 2008. p. 248-285.

SANTOS, M.. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 4ª ed. EDUSP; São Paulo, 2006.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. Oficina de Textos; São Paulo, 2004.

SILVA, Q. D. da. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. Tese (doutorado) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Unesp; Presidente Prudente, 2012.

SPOSITO, E. S. **Geografia e Filosofia: contribuição para o ensino do pensamento geográfico**. Editora UNESP; São Paulo, 2004.

SILVA, T. I.; RODRIGUES, S. C.. **Tutorial de Cartografia Geomorfológica ArcGis 9.2 e Envi 4.0**. Revista Geográfica Acadêmica. Uberlândia, 2009.

STRAHLER, A. N.. **Climate and their classification**. 2ª ed. Physical Geography. John Wiley; New York, 1960.

SUERTEGARAY, D. M. A.. **Espaço Geográfico Uno e Múltiplo**. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona; Barcelona, 2007, p. 1 -11, 21 nov.

SUERTEGARAY, D.M.A. **Espaço Geográfico uno e múltiplo**. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; BASSO, L.A. & VERDUM, R. (orgs.). **Ambiente e Lugar no Urbano: a Grande Porto Alegre**. Editora da Universidade/UFRGS. Porto Alegre, 2000.

SUGUIU, K.. **Dicionário de Geologia Sedimentar e áreas afins**. Bertrand Brasil; Rio de Janeiro, 1998.

TAYLOR, D. R. F.. **Geographic information systems: The microcomputer and modern cartography**. Oxford,, UK: Pergamon Press, 1991.

TRICART, J.. **Ecodinâmica**. Fundação IBGE; Rio de Janeiro, 1977, p. 31 – 64.

_____. **Mise en point: l'évolution des versants. L'information géographique**. (21):108-15, 1957.

TROLL, C.. **El paisaje geográfico y su investigación**. MENDONZA, J. G. ; JIMENEZ, J. M. y CONTERO, N. (Org.) **El pensamiento geográfico**. Estudio interpretativo y

antologia de textos (De Humboldt a las tendencias actuales). Alianza Eitorial: Madrid, 1950.

TEIXEIRA, S. G.; MARTINS, P. W.; FILHO, S.. **Mapeamento de ambientes costeiros tropicais (Golfão Maranhense, Brasil) utilizando imagens de sensores remotos orbitais**. Revista Brasileira de Geofísica. Vol 27. São Paulo, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-261X2009000500006 Acesso em: 15/06/2015.

TOBLER, W.. **A computer movie simulating urban growth in the Detroit region**. Economic Geography; 46 (2), p. 234 – 240.

VARNES, D.J.. **The logic of engineering geological and related maps**. A discussion of the definition and classification of map units, with special references to problems presented by maps intended for uses in civil engineering. U.S. Geological survey, 1974, professional paper 837.

VASCONCELOS, P. E. S. de. **Habitação Sócia em São Luís do Maranhão: Um Estudo Sobre a Produção de Habitação dos Institutos de Previdência e do Banco Nacional da Habitação**. Monografia de Graduação em Arquitetura e Urbanismo. UEMA. São Luís, 2007.

VASCONCELOS, P. E. S. de; VENANCIO, M. W. de C.. **Os Institutos de Aposentadorias e Pensões e o Sistema Financeiro de Habitação do governo autoritário – peças chaves da história da habitação social em São Luís**. SHCU 1990. Vol 10. Nº 2, 2008. Disponível em: <http://unuhospedagem.com.br/revista/rbeur/index.php/shcu/article/view/1221> Acesso em: 10/05/2015.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A.. **Abordagem sistêmica e Geografia**. Geografia. Vol. 28, n. 3: Rio Claro, 2003, p. 323-344.

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

WOLSKI, M. S. et al. **Contribuição à cartografia geotécnica de grandes áreas com o uso de sistemas de informações geográficas: uma aplicação à Região do Médio Uruguai (RS)**. In: Anais Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário: Florianópolis, 1998.

YOSHINAGA, S.; FERNANDES, A.J.; NOGUEIRA, S.A.A.; HASSUDA, S.; PIRES NETO, A.G.. **Subsídios ao planejamento territorial de Campinas: aplicação da abordagem de tipos de terrenos**. Revista Instituto Geológico. Volume especial: São Paulo, 1995, p.71-75.

XAVIER DA SILVA, J. . **O que é Geoprocessamento?**. Revista CREA RJ, Rio de Janeiro, p. 42 - 44, 30 out. 2009.

XAVIER DA SILVA, J.; TABACOW, J. W.. **Geoprocessamento aplicado à análise da fragmentação da paisagem na Ilha de Santa Caratina (SC)**. In: XAVIER DA SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. (orgs.). **Geoprocessamento e Meio ambiente**. Bertrand Brasil; Rio de Janeiro, 2011.

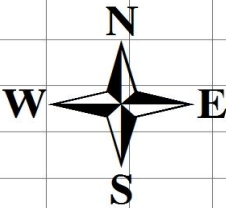
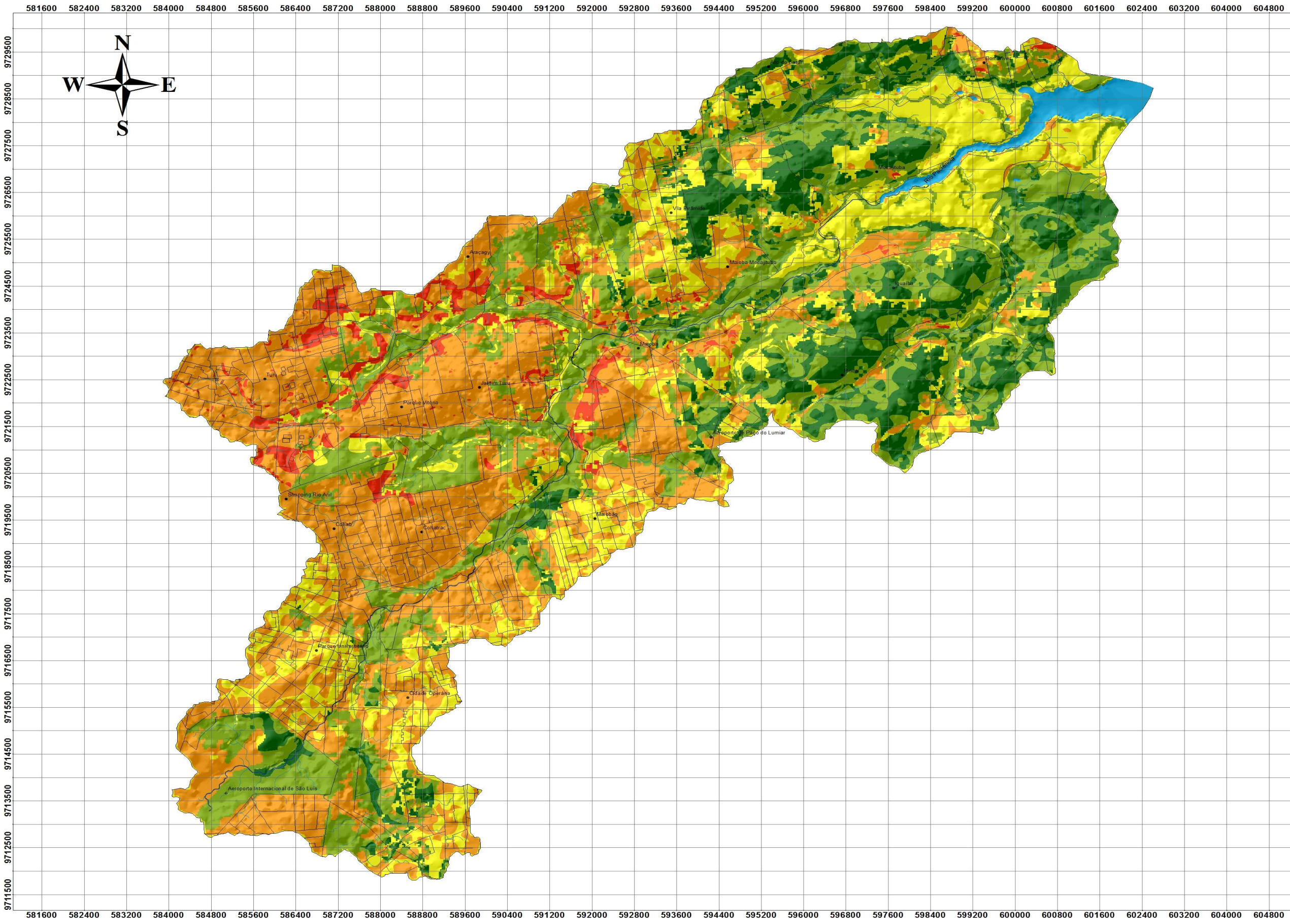
ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. Tese (Doutorado em Geociência e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI N. **Cartografia geotécnica**. Oficina de texto; São Paulo, 2004.

ZUQUETTE, L.V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio-físico: fundamentos e guia para elaboração**, 1993, v. 1, 256 f. Tese (Livro Docência), Escola de Engenharia de São Carlos/ USP, São Carlos, 1993.

APÊNDICE

Carta do Zoneamento do Escoamento Superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência



Limites Municipais da Ilha do Maranhão

Localização da Ilha do Maranhão

LEGENDA

Convenções Cartográficas

- Foz do Rio Padinda
- C3 Área da Bacia
- C3 Malha Urbana
- Localidade
- Aeroporto
- Rio Paciência
- Rede de Drenagem

Potencial do Escoamento Superficial

- 105 - 140 Potencial muito baixo
- 145 - 180 Baixo potencial
- 185 - 220 Médio potencial
- 225 - 260 Alto potencial
- 265 - 300 Potencial muito alto

1:25.000

Sistema de Coordenadas Métricas
Universal Transversa de Mercator
Sigas 2000 Zona 23M
Ano: 2015

Elaborado por: Francisco Afonso Cavalcanti Júnior

Apoio:

Financiamento: