

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO APLICADO À SELEÇÃO DE ÁREAS PREFERENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA)**

Ádria Kanome Mori Soares <sup>1</sup>; Tony Carlos Dias da Costa <sup>2</sup>

**Resumo** – Este trabalho utiliza informações geotécnicas com vistas a definir locais preferenciais para instalação de aterros sanitários na Região Metropolitana de Belém (PA). São analisados atributos da fisiografia do terreno e do uso e ocupação do solo, que interferem no processo de escolha da melhor localização de tais obras de engenharia, objetivando minimização dos custos financeiros, riscos ao ambiente e a saúde pública. Tem-se por base mapas da Área Urbana e Expansão Urbana, Áreas de Terra Firme e de Várzea, Áreas Institucionais e Áreas de Proteção Ambiental, Nível Equipotenciométrico do Aquífero Livre, Bacias Hidrográficas, Microbacias Hidrográficas e Direção do Vento. Por meio de cruzamento de dados e interpretação em ambiente SIG do software ArcGis 10.4, é elaborada a Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Aterros Sanitários na Região Metropolitana de Belém (PA), em escala 1:50.000.

**Abstract** – This paper uses geotechnical data to define preferred sites in Belem Metropolitan Area to sanitary landfills installation. Attributes of terrain physiography and soil use and occupation are analyzed; they interfere in the selection of the best location of such engineering works, aiming at minimizing financial costs and risks to the environment and public health. It is based on maps of Urban Area and Urban Expansion, Solid Ground and Lowland Areas, Institutional Areas and Environmental Protection Areas, Equipotentiometric Level of the Free Aquifer, Hydrographic Basins, Hydrographic Microbasins and Direction of the Wind. With data crossing and interpretation in GIS environment provided by ArcGis 10.4 software, it was possible to elaborate Preferred Areas for the Installation of Sanitary Landfills in the Metropolitan Region of Belém (PA) Chart, in a scale of 1:50,000.

**Palavras-Chave** – mapeamento geotécnico; gestão ambiental; resíduos sólidos; geoprocessamento.

---

<sup>1</sup> Graduanda de Geologia, Universidade Federal do Pará, adriakms@gmail.com

<sup>2</sup> Geólogo, MSc. Eng. Civil Dr. Geociências, Universidade Federal do Pará, (91) 3201-7254, tony@ufpa.br

# 1. INTRODUÇÃO

O mapeamento geotécnico é uma ferramenta de investigação geológica e geotécnica que proporciona melhor compreensão do meio físico, permitindo prever as equipotencialidades e limitações do meio físico. A sua análise, em conjunto com regulamentações e normas específicas, otimiza a localização de obras como aterros sanitários, considerando fatores técnicos, econômicos, sociais e ambientais.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

### 2.1. Área de estudo

A Região Metropolitana de Belém (RMB) é situada na porção norte-nordeste do Estado do Pará (figura 1). A RMB foi definida pela Lei Complementar Estadual nº 14 de 08 de junho de 1973 e abrange cinco municípios: Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides e Santa Bárbara. Sua área total é medida em 50.582,30 ha (aproximadamente 506 km<sup>2</sup>).

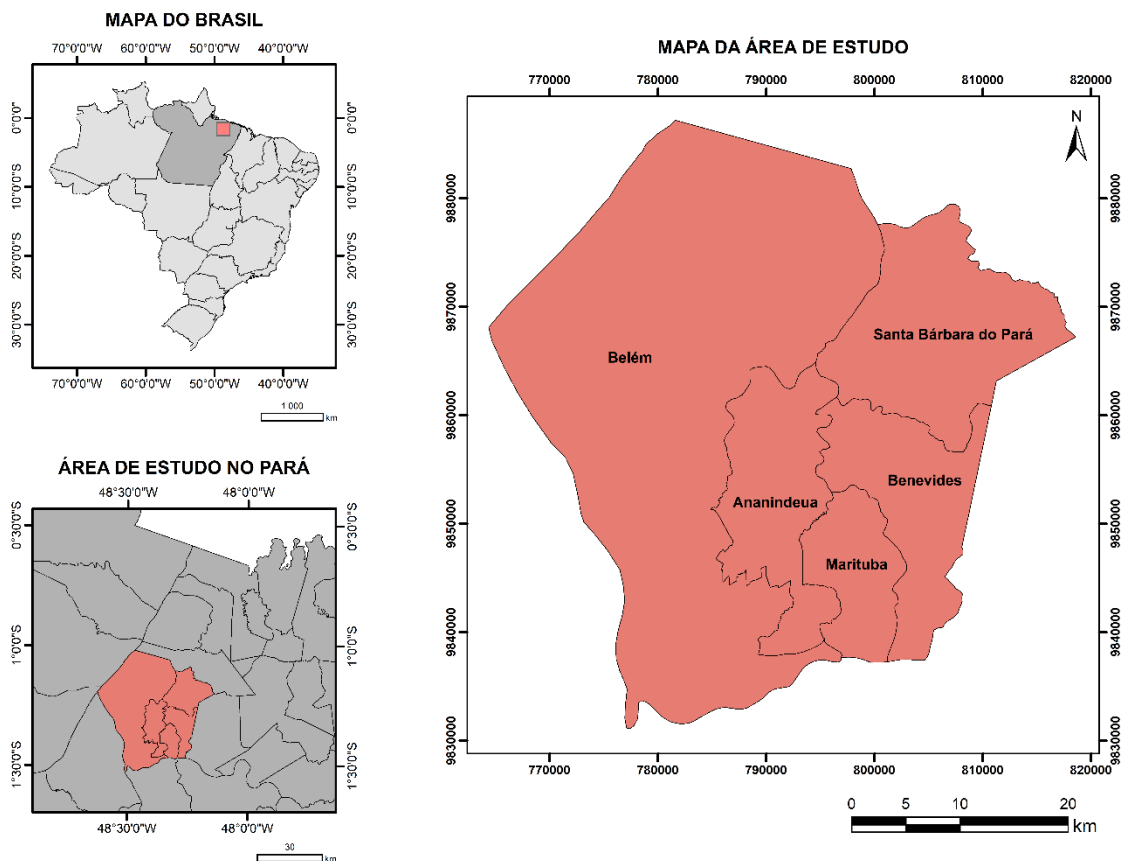


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, Região Metropolitana de Belém (PA).

### 2.2. Caracterização geológica

A região metropolitana de Belém está inserida no contexto tectônico das Plataformas do Pará e Bragantina, que são porções do embasamento que permaneceram tectonicamente estáveis entre as bacias sedimentares de São Luís, Cameté e Bragança-Vizeu (Rossetti, 2006). Sua estratigrafia mostra quatro principais unidades: Formação Pirabas, Formação Barreiras, Sedimentos Pós-Barreiras e Recente.

### 3. METODOLOGIA

Este trabalho segue os critérios metodológicos para seleção de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários propostos por Costa (2001) e Costa *et al.* (2002). A metodologia pode ser separada em quatro etapas, sendo: composição de banco de dados, fotointerpretação, confecção de mapas temáticos e confecção da carta de áreas potenciais à instalação de aterros sanitários.

A primeira etapa consistiu na revisão bibliográfica e aquisição de dados em forma de mapas temáticos, produtos de sensoriamento remoto, imagens de satélite e radar, além de dados vetoriais para compor o banco de dados em ambiente SIG.

A segunda etapa correspondeu à fotointerpretação de imagens de satélite LANDSAT e imagens de radar SRTM – ambas com resolução de 30m –, manipulação de dados vetoriais nos aplicativos ArcMap 10.4, ArcCatalog 10.4, QGIS 2.18 e Global Mapper 15. Foram utilizados como apoio cartográfico os mapas disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) – Geologia e Recursos Minerais do Pará, Folha Belém SA-22-X-D-III –, pelo IBGE, pela SEMAS e mapas online do Google, Bing e *World Imagery* do *software* ArcGis.

A terceira etapa consistiu na confecção de mapas temáticos primários da Região Metropolitana de Belém, em escala 1:50.000, sendo: mapa de área urbana e expansão urbana, mapa de áreas de terra firme e de várzea, mapa de áreas institucionais e áreas de proteção ambiental, mapa do nível equipotenciométrico do aquífero livre, mapa de bacias hidrográficas, mapa de microbacias hidrográficas, mapa de direção do vento.

O mapa de área urbana e expansão urbana na Região Metropolitana de Belém foi gerado a partir da fotointerpretação de mapas online do *software* Google Earth PRO e imagens de satélite LANDSAT – de resolução espacial de 30 metros e com correção atmosférica. Utilizou-se a composição de bandas 3, 4 e 5 do sensor do LANDSAT devido à maior variação de tons e textura da área urbana, além de maior contraste com outras coberturas de solo (Seevers, 1985 *apud* SOUZA, 2012). Foram traçados polígonos em shapefile correspondente à área urbana da área de estudo com auxílio do *software* ArcMap 10.3.

O mapa de áreas de terra firme e várzea na Região Metropolitana de Belém foi elaborado a partir de fotointerpretação de imagem de satélite LANDSAT 8 de 06/07/2017, com composição colorida R4G5B3, e imagem de radar SRTM. Também foram utilizadas tábuas de maré referentes aos corpos d'água da área, além de dados de altimetria gerados a partir de modelo digital de elevação – produto de processamento da imagem SRTM – e levantamento planialtimétrico da CODEM (Companhia de Desenvolvimento e Administração da Região Metropolitana de Belém). Foram destacados no *software* ArcMap 10.3 os limites entre terra firme e porções do solo potenciais a alagamentos – áreas de várzea.

O mapa de áreas institucionais e áreas de proteção ambiental na Região Metropolitana de Belém foi gerado após compilação de mapas disponibilizados online pelo Ideflor-bio (Instituto de Desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade do Estado do Pará), Prefeitura de Belém, dissertação de mestrado de LOPES (2015) e arquivos digitais da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS-PA). Os dados foram georreferenciados e digitalizados no *software* ArcMap 10.3. Também foram incluídas as áreas de proteção ambiental: Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belém, Área de Proteção Ambiental da Ilha do Combu, Refúgio de Vida Silvestre MetrÓpole da Amazônia e Parque Estadual do Utinga.

O mapa do nível equipotenciométrico do aquífero livre na Região Metropolitana de Belém fez-se possível a partir de compilação de dados de nível d'água em aquíferos livres da região, disponíveis no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Os dados foram categorizados em três períodos, de acordo com estudos sobre o balanço hídrico da cidade de Belém (TAVARES *et al.* 2011). Os períodos foram aqui classificados como: excedente, de janeiro a maio; transicional, de junho a agosto; e deficiente, de setembro a dezembro. Também foi feita análise mensal para com o objetivo de comparar as mesmas com a classificação proposta. A informação de profundidade do nível estático, relacionado ao teste de bombeamento, corresponde ao z foi o dado principal para confecção dos mapas; os quais tiveram seus pontos interpolados com a ferramenta IDW do *software* ArcMap 10.3 com o shapefile de áreas

de terra firme como máscara – isto é, limitante do ambiente de processamento. O produto foi classificado em: Adequado (superior a 10 m), Razoável (entre 5 e 10 m), Inadequado (inferior a 5 m) e Muito Inadequado (inferior a 0,5 m e correspondente às áreas de várzea).

O mapa de bacias hidrográficas da Região Metropolitana de Belém teve como base polígonos retirados de mapa de delimitação de bacias hidrográficas da RMB e localização de aglomerados subnormais de BRANDÃO & PONTE (2014). Os polígonos de bacias hidrográficas da RMB foram delimitados pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA). Os dados foram vetorizados no *software* ArcMap 10.3 após georreferenciamento do mapa, disponível em PDF.

O mapa de microbacias hidrográficas da Região Metropolitana de Belém foi elaborado com auxílio dos shapefiles das curvas de nível da área de estudo, das bacias hidrográficas de Belém (CODEM), das bacias hidrográficas da RMB (COSANPA apud BRANDÃO & PONTE, 2014), das drenagens unifilares e bifilares e dos corpos d'água (lagos e igarapés). Estes dados foram impressos e sobrepostos por papel manteiga, de modo a processá-los manualmente e separar microbacias hidrográficas com base na elevação e padrões de drenagem. Posteriormente, fez-se o georreferenciamento e vetorização dos polígonos no *software* ArcMap 10.3.

O mapa de direção do vento foi gerado no *software* ArcMap 10.3 com a exposição de doze rosetas de frequência e um mapa da área. As rosetas foram elaboradas no *software* WRPLOT View segundo a metodologia instruída em vídeo por COLI (2016), envolvendo a importação de tabela do Excel com as informações de dia, mês, ano, hora (UTC), velocidade do vento (m/s) e direção do vento (°). Cada roseta corresponde a um mês durante o período de 18/04/2017 a 17/04/2018 da estação automática de Belém (Latitude: -1.411228°; Longitude: -48.439512°; Altitude: 21 metros). Os dados foram obtidos online no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A quarta etapa correspondeu à confecção da Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Aterros Sanitários na Região Metropolitana de Belém (PA). Para tal, houve interpretação de dados da literatura juntamente com os mapas temáticos elaborados previamente. Estes deram subsídio para a identificação de áreas excludentes, como:

- Áreas urbanas e de expansão urbana, devido à incompatibilidade dos impactos gerados pelos aterros sanitários com as áreas urbanizadas. Levou-se em conta o Mapa de Área Urbana e de Expansão Urbana e o Mapa de Direção dos Ventos – este para evitar a propagação de mau odor sobre áreas urbanizadas ou em processo de urbanização;

- Áreas institucionais e áreas de preservação ambiental, pelo seu uso consolidado incompatível com a operação de um aterro sanitário;

- Áreas de várzea, uma vez que a dinâmica acelerada e pouca estabilidade dos solos são incompatíveis com a obra e com a operação de um aterro sanitário;

- Áreas a montante de cursos d'água e aquíferos superficiais, pois o potencial de contaminação seria aumentado.

Também foram adicionadas áreas de *buffer* de 500m da área urbana, de 500m dos cursos d'água de maior porte (superior a 600 metros de largura), de 200m dos corpos de água de menor porte (entre 200 e 600 metros de largura) e de 30m dos lagos.

Utilizou-se a metodologia de ponderação de atributos de Aguiar (1989), a qual propõe sobreposição dos mapas de diferentes atributos, soma de seus pesos e cálculo dos novos pesos das unidades a partir da fórmula representada na figura 2.

$$P_i = \sum_{j=1}^N P_{AJ} / P_{AJ \text{ MAX}} \times N$$

$P_i$  = Peso Total da Unidade  
 $P_{AJ}$  = Peso do Atributo  $j$   
 $P_{AJ \text{ MAX}}$  = Peso Máximo do Atributo  $j$   
 $N$  = Número de Atributos

$\sum_{j=1}^N P_{AJ}$	0	1	2	3	4	5	6
$P_i$	0,00	0,17	0,33	0,50	0,67	0,83	1,00
$P_i$	0,00	0,35		0,70		1,00	
Classes	Inadequada		Razoável		Adequada		

Figura 2. Exemplo de definição das unidades (Aguiar, 1989).

Sobre as unidades resultantes desta ponderação, em ambiente GIS, foram retiradas as áreas adequadas ou razoáveis que apresentavam algum atributo com peso 0 – correspondentes às áreas excludentes, nas quais não há a possibilidade de instalação de aterros sanitários de forma segura social, econômica e/ou ambientalmente.

#### 4. CONCLUSÕES

A Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Aterros Sanitários na Região Metropolitana de Belém (PA) indica áreas potencialmente adequadas, levando em consideração critérios definidos pela ABNT (1997), pelo Código Florestal Brasileiro (2012) e por Costa (2001).

Os mapas temáticos de área urbana e expansão urbana (figura 3), áreas de terra firme e de várzea (figura 4), áreas institucionais e áreas de proteção ambiental (figura 5), e do nível equipotenciométrico do aquífero livre (figura 6) foram utilizados para identificar áreas inadequadas durante o processamento de dados da carta. Os mapas temáticos de bacias hidrográficas (figura 7), microbacias hidrográficas (figura 8) e direção do vento (figura 9) serviram de subsídio para exclusão de áreas dentre as áreas adequadas no primeiro processamento, de modo a refinar o resultado.

No Mapa de Nível Equipotenciométrico do Aquífero Livre, há certa incoerência na sequência temporal dos períodos selecionados para análise de acordo com o balanço hídrico. Isto é consequência do banco de dados de poços que, além de apresentar informações contestáveis sobre as datas do teste de bombeamento – essenciais para o tratamento dos dados –, mostra má distribuição dos pontos de coleta de dados espacial e temporalmente. Assim, as isolinhas geradas por interpolação apresentam variações e, conseqüentemente, não seguem perfeitamente uma distribuição lógica em comparações temporais.

Identificaram-se três unidades na Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Aterros Sanitários na Região Metropolitana de Belém (PA) (figura 10), sendo:

- a) Áreas adequadas à instalação de aterros sanitários;
- b) Áreas adequadas à instalação de aterros sanitários com restrição de acesso, as quais não possuem acesso rodoviário, necessário para a logística da obra;
- c) Áreas inadequadas à instalação de aterros sanitários, devido a características restritivas.

É importante ressaltar que estas áreas são adequadas segundo os parâmetros possíveis para análise a partir de sensoriamento remoto e geoprocessamento, sendo, portanto, uma seleção de locais para pesquisa de campo em escala de maior detalhe.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Pará (UFPA) e ao setor de geoprocessamento da Terra Meio Ambiente pelo suporte oferecido.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, René Levy. 1989. Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos - SP: contribuição ao planejamento. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1997. Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. (ABNT.NBR 13896).
- BRANDÃO, Ana Júlia D. das Neves; PONTE, Juliano. 2014. Diretrizes Urbanísticas para um Plano de Drenagem na Região Metropolitana de Belém. In: *3º Seminário Nacional sobre o Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo*. 2014. Belém: Universidade Federal do Pará.
- BRASIL. [Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012]. 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Brasília, Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm)>. Acesso em: 08 mar. 2018.
- COLI, Rogério. 2016. *Atividade 4 Gráfico de força e direção do vento e intensidade de chuva*. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=frOhW6VmeLM>>. Acesso em: 19 abr. 2018.
- COSTA, Tony Carlos Dias da. 2001. *Análise crítica das metodologias gerais de mapeamento geotécnico visando formulação de diretrizes para a cartografia no trópico úmido e aplicação na Região Metropolitana de Belém, Escala 1:50.000*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências.
- COSTA, Tony Carlos Dias da; GANDOLFI, Nilson; COSTA, Jamer Andrade da. 2002. Carta de áreas preferenciais à instalação de aterro sanitário na Região Metropolitana de Belém, na escala 1:50.000. In: *10º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*. 2002. Ouro Preto.
- IDEFLOR-BIO. *Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belém*. Disponível em: <<http://ideflorbio.pa.gov.br/unidades-de-conservacao/regiao-administrativa-de-belem/area-de-protecao-ambiental-da-regiao-metropolitana-de-belem/>>. Acesso em: ago. 2017.
- LOPES, Rebeca Silva Nunez. 2015. *Transformações recentes no uso e dominialidade das áreas das forças armadas no cinturão institucional de Belém*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.
- ROSSETTI, Dilce de Fátima. 2006. *Evolução sedimentar miocênica nos Estados do Pará e Maranhão*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - Centro de Observação da Terra, Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR). Disponível em: <[sid.inpe.br/ePrint@80/2006/07.31.20.55](http://sid.inpe.br/ePrint@80/2006/07.31.20.55)>.
- SOUZA, Íris de Marcelhas e. 2012. *Sensoriamento Remoto Orbital aplicado a estudos urbanos*. São José dos Campos: INPE. Disponível em: <[sid.inpe.br/mtc-m19/2012/02.28.13.46-PUD](http://sid.inpe.br/mtc-m19/2012/02.28.13.46-PUD)>. Acesso em: 17 mar. 2018.
- TAVARES, A. L.; MEDEIROS, R. Mainar; GOMES, L. C. F.; MACEDO, M. J. H.; SILVA, V. P. R. 2011. Utilização do balanço hídrico como ferramenta ao planejamento de melhoria de vida no meio urbano para a cidade de Belém - PA. In: *IV Simpósio Internacional de Climatologia*. SIC, 2011, João Pessoa - PB. Impacts of Climate Change on Urban Areas, 2011.

MAPA DE ÁREAS URBANAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA)

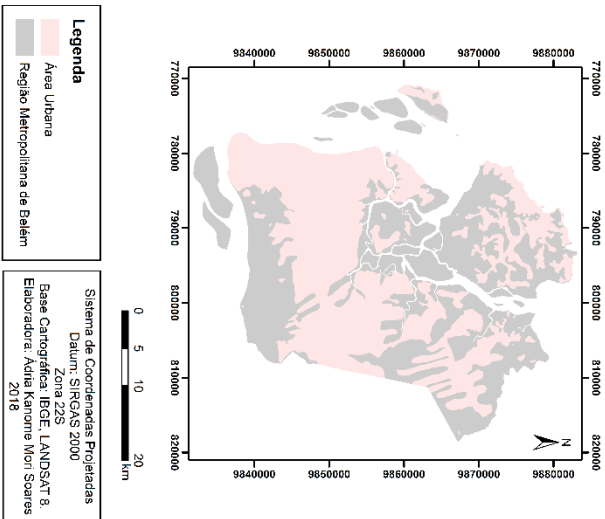


Figura 3. Mapa de Área Urbana e Expansão Urbana na Região Metropolitana de Belém (PA), escala original de 1:50.000.

MAPA DE ÁREAS DE TERRA FIRME E VARZEA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA)

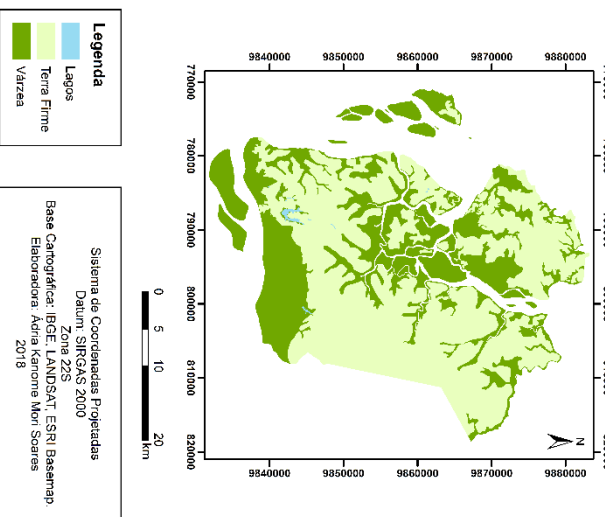


Figura 4. Mapa de Áreas de Terra Firme e de Várzea na Região Metropolitana de Belém (PA), escala original de 1:50.000.

MAPA DE ÁREAS INSTITUCIONAIS E DE ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA)

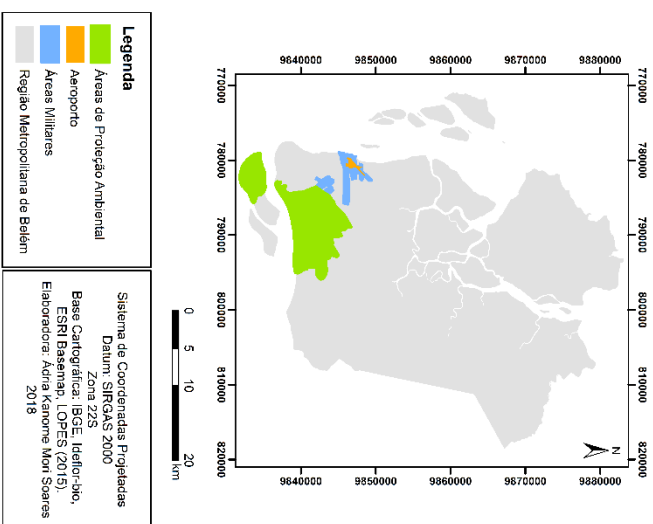


Figura 5. Mapa de Áreas Institucionais e Áreas de Proteção Ambiental na Região Metropolitana de Belém (PA), escala original de 1:50.000.

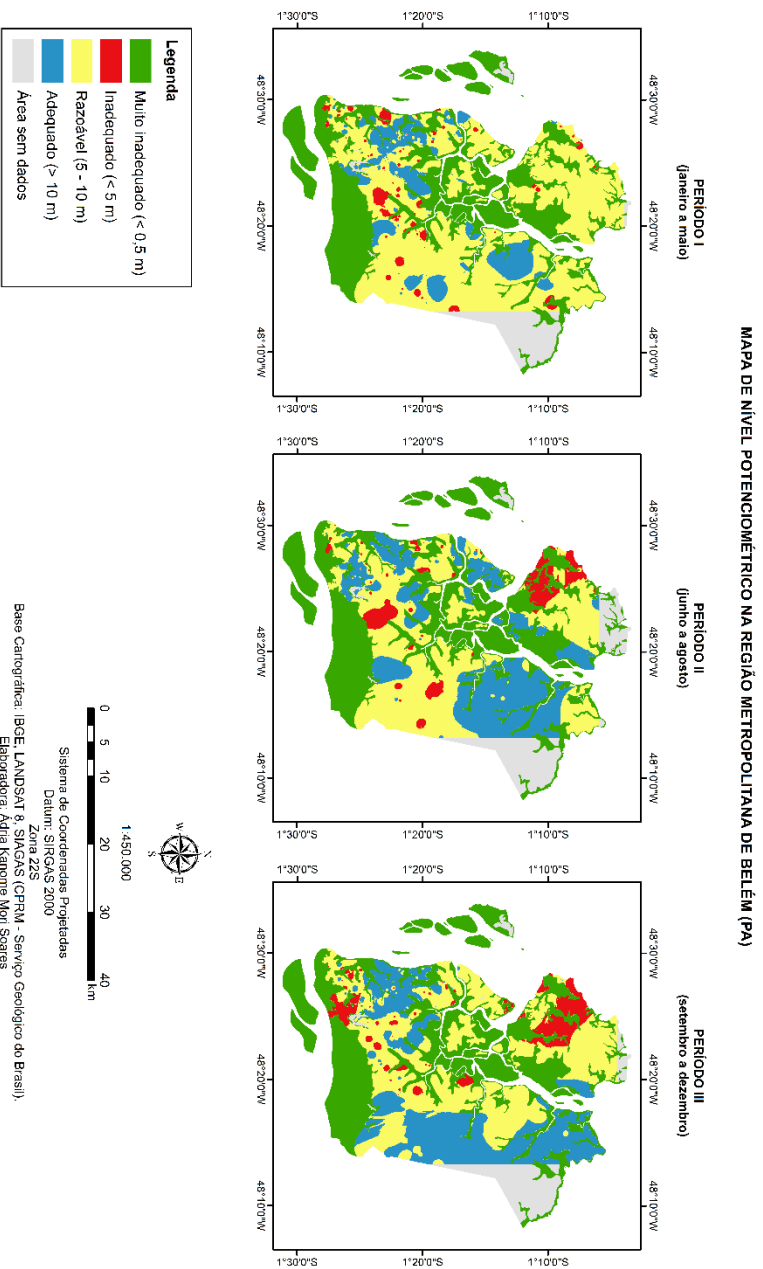


Figura 6. Mapa de Nível Equipotenciométrico do Aquífero Livre na Região Metropolitana de Belém (PA).

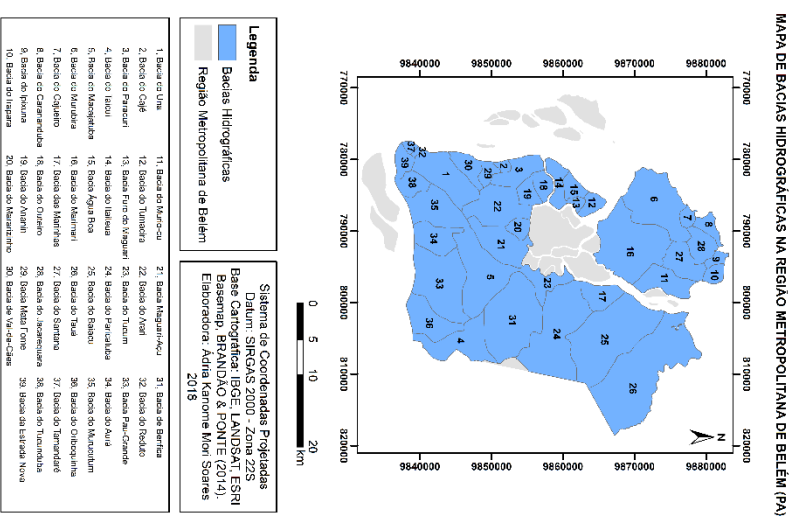


Figura 7. Mapa de Bacias Hidrográficas na Região Metropolitana de Belém (PA), escala original de 1:50.000.



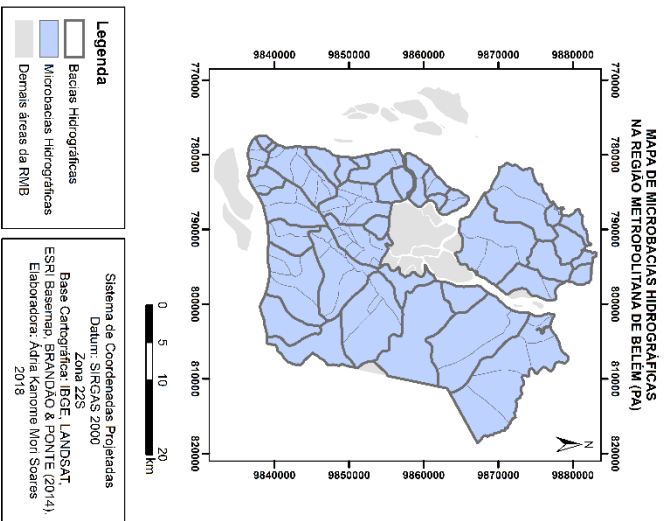


Figura 8. Mapa de Microbacias Hidrográficas na Região Metropolitana de Belém (PA), escala original de 1:50.000.

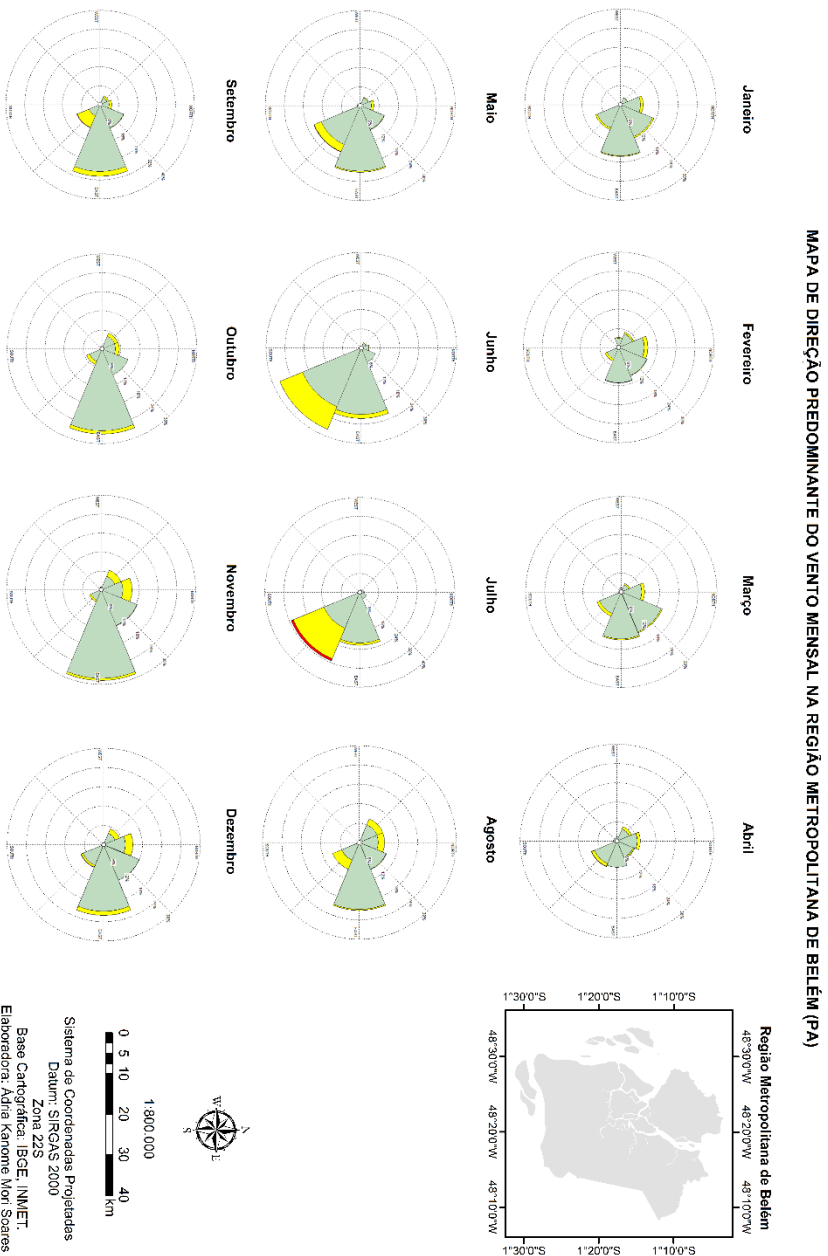


Figura 9. Mapa de Direção do Vento na Região Metropolitana de Belém (PA), escala original de 1:50.000.

## CARTA DE ÁREAS POTENCIAIS À INSTALAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA)

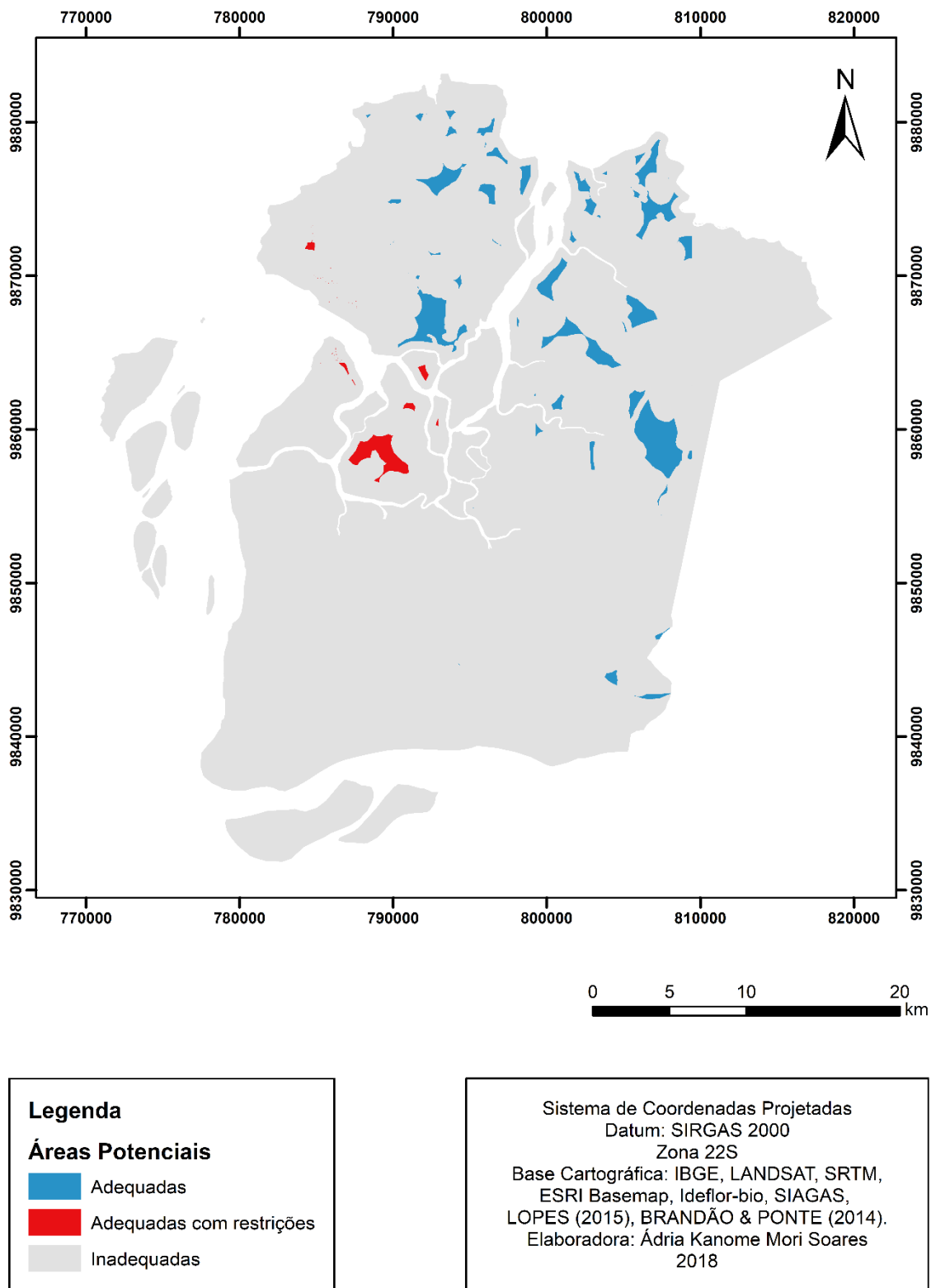


Figura 10. Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Aterros Sanitários na Região Metropolitana de Belém (PA), escala original de 1:50.000.