



CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES

latindex  IDEAS EconPapers DOAJ  Dialnet

MODELAGEM ESPACIAL E SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NA AMAZÔNIA

Vagner Nascimento Costa

Engenheiro Ambiental na Prefeitura Municipal de Altamira. Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Pará (PPGEO/UFPA). Contato: ncvagner@gmail.com
ORCID 0000-0001-9704-383X

Alan Nunes Araújo

Doutor em Geografia. Professor da Faculdade de Geografia e Cartografia da Universidade Federal do Pará. Pesquisador e Coordenador do Grupo de Pesquisa Modelagem de Sistemas Ambientais Amazônicos. Contato: alanaraujo@ufpa.br
ORCID 0000-0001-9962-8962

Amintas Nazareth Rossete

Doutor em Ecologia e Recursos Naturais. Professor da Faculdade de Ciências Agrárias, Biológicas e Sociais da Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT. Contato: amnrote@uol.com.br
ORCID 0000-0002-9486-092X

Lorena Maria Mourão de Oliveira

Mestra em educação. Geógrafa. Professora AD4 da Secretaria de Estado de Educação do Pará. Contato: loremourao@hotmail.com
ORCID 0000-0002-9536-9171

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Vagner Nascimento Costa, Alan Nunes Araújo, Amintas Nazareth Rossete y Lorena Maria Mourão de Oliveira: "Modelagem espacial e sistema de abastecimento de água na Amazônia", Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales, (Vol 1, Nº 5 mayo 2021, pp. 24-45). En línea:

<https://www.eumed.net/es/revistas/contribuciones-ciencias-sociales/mayo-2021/abastecimento-agua-amazonia>

RESUMO

A pesquisa teve como objetivo elaborar um modelo espacial, na área urbana do município de Altamira, Amazônia Oriental, que indique a possibilidade de uso dos recursos hídricos superficiais para abastecimento público e opções viáveis de implantação de estruturas do sistema de abastecimento de água. A metodologia utilizada consistiu na análise multicritério e para ponderação das variáveis foram utilizadas bibliografias técnicas e acadêmicas. Os resultados obtidos foram um mapa de uso e cobertura do solo; mapa dos principais cursos de drenagem e, por fim, a indicação de pontos excelentes para instalação das infraestruturas de abastecimento. As informações levantadas e analisadas constituem produtos que poderão subsidiar tomadas de decisões, no que diz respeito à escolha de mananciais para abastecimento urbano e no manejo ambiental das microbacias urbanas da cidade de Altamira, PA.

Palavras-chave: Amazônia Oriental, Modelagem espacial, Abastecimento de água, Análise multicritério, Vulnerabilidade Ambiental.

SPATIAL MODELING AND WATER SUPPLY SYSTEM IN THE AMAZON

ABSTRACT

The research aimed to develop a spatial model, in the urban area of the municipality of Altamira, Eastern Amazon, which indicates the possibility of using surface water resources for public supply and viable options for implementing water supply system structures. The methodology used consisted of multicriteria analysis and to weight the variables, technical and academic bibliographies were used. The results obtained were a land use and cover map; map of the main drainage courses and, finally, the indication of excellent points for installing the supply infrastructures. The information collected and analyzed constitutes products that may support decision making, with regard to the choice of springs for urban supply and in the environmental management of the urban watersheds in the city of Altamira, PA.

Keywords: Eastern Amazon, Spatial modeling, Water supply, Multicriteria analysis, Environmental vulnerability

MODELADO ESPACIAL Y SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA EN LA AMAZONIA

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo desarrollar un modelo espacial, en el área urbana del municipio de Altamira, Amazonia Oriental, que indica la posibilidad de utilizar los recursos hídricos superficiales para el abastecimiento público y opciones viables para implementar estructuras de sistemas de abastecimiento de agua. La metodología utilizada consistió en análisis multicriterio y para ponderar las variables se utilizó bibliografía técnica y académica. Los resultados obtenidos fueron un mapa de uso y cobertura del suelo; mapa de los principales cursos de drenaje y, finalmente, la indicación de puntos relevantes para la instalación de infraestructuras de abastecimiento. La información recolectada y analizada constituye productos que pueden apoyar la toma de decisiones, en cuanto a la elección de manantiales para el abastecimiento urbano y en la gestión ambiental de las cuencas hidrográficas urbanas de la ciudad de Altamira, PA.

Palabras clave: Amazonia Oriental, Modelización espacial, Abastecimiento de agua, Análisis multicriterio, Vulnerabilidad

1. INTRODUÇÃO

A água está presente no cotidiano humano, sendo o principal item para sua dessedentação, preparo de alimentos, higiene pessoal e outros fins menos nobres. Desta forma, a água potável,

própria para o consumo, dispensando processos físico-químicos para que possa ser consumida, constitui um direito essencial e garantido por lei.

Segundo Brasil (2007, Art. 3º-I) saneamento básico se entende pelo conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Define ainda que o abastecimento de água potável é “constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição”.

Deve-se levar em consideração a qualidade das águas naturais a serem captadas para tratamento e distribuição de forma a se evidenciar qual manancial oferece melhores recursos naturais, diminuindo assim os custos com o tratamento, sendo as técnicas de análise espacial e geoprocessamento importantes neste processo. A este respeito Câmara, Davis e Monteiro (2001, p. 2) definem geoprocessamento como “a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica [...]”.

Para que se possa tomar uma decisão com maior segurança os métodos de análise multicritério podem ser adotados, sendo estes, muito utilizados na solução de problemas de tomada de decisão, uma vez que procuram esclarecer ao gestor ou equipe responsável as possibilidades de escolhas, permitindo uma maior compreensão do ambiente em foco ocasionando em uma decisão mais consistente. (Campos 2011, p. 17)

O município de Altamira é constituído por sua sede de mesmo nome e dois distritos, Cachoeira da Serra e Castelo dos Sonhos. O abastecimento de água potável é oficialmente realizado pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), entretanto a população, em sua maioria, faz uso de poços como fontes de abastecimento devido as constantes interrupções ou inexistência da rede de abastecimento. Desde o ano de 2010 a sede do município passa por um intensificado processo de expansão urbana e ambiental devido às obras de construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte (UHEBM).

Além da alteração urbano-espacial, a presença de um grande empreendimento hidráulico, afeta principalmente, os cursos d'água, neste caso o rio Xingu de forma direta e seus afluentes de forma indireta, fator que pode representar uma posterior dificuldade ao acesso e distribuição da água tratada.

Sendo assim, o presente estudo visa a elaboração de uma solução a partir de modelos de análise espacial como subsídio a caracterização, identificação e proposição de localidades ótimas a instalação de um Sistema de Tratamento de Água, levando em consideração, também, a utilização de mananciais que compõem a Rede Hidrográfica da cidade de Altamira, localizada na Amazônia Oriental Brasileira.

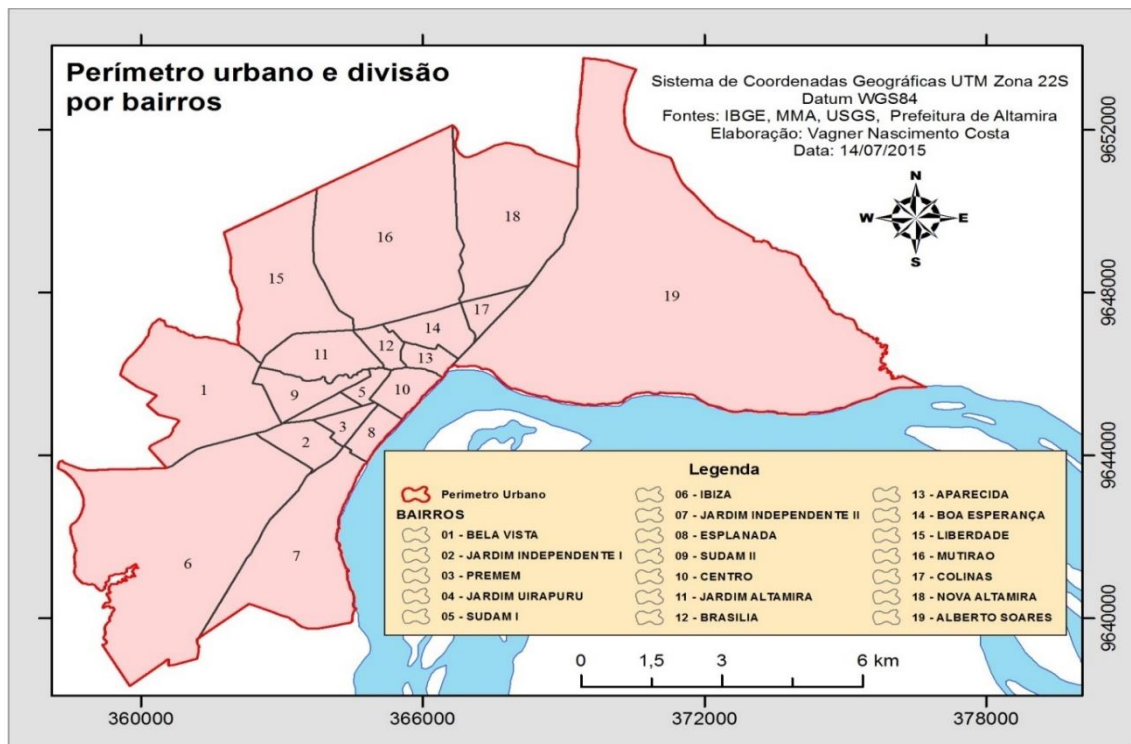
2. MATERIAS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende a sede urbana do município de Altamira, localizada na região sudoeste do Pará (Amazônia Oriental Brasileira) e inserida na mesorregião sudoeste do Pará e

microrregião Altamira, situada à margem esquerda do rio Xingu. O perímetro urbano da cidade é delimitado pela lei complementar nº 3.091 de 17 de setembro de 2012 e a divisão urbana em bairros definida pela lei complementar 3.092 de 17 de setembro de 2012. A cidade possui uma grande quantidade de cursos d'água e nascentes que fazem parte da bacia hidrográfica do rio Xingu, tendo neste e nas águas subsuperficiais seu abastecimento (Figura 1).

Figura 1 –
Perímetro urbano e divisão dos bairro



Fonte: IBGE, 2010. Adaptado das leis municipais 3.091/2012 e 3.092/2012. Elaboração: Costa, 2015.

2.2 Coleta de dados

Os dados utilizados como base para este trabalho foram adquiridos por meio de quatro variáveis: avaliação de imagem de satélite e radar S04_W053 gerada pela Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) que apresenta resolução espacial de 1 arco de segundo (aproximadamente 30m) e imagens do sensor Pleiades com uma resolução espacial de 2 metros nas bandas do sensor multiespectral para o ano de 2014; aquisição de bases de dados espaciais governamentais junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Agência Nacional de Águas - ANA verificação de campo; e pesquisa bibliográfica e documental.

2.3 Produção de mapas temáticos

Para a confecção dos mapas síntese de vulnerabilidade dos córregos e do rio Xingu, e dos melhores pontos para instalação da infraestrutura do sistema de abastecimento de água são necessários outros mapas temáticos dos quais os dados serão combinados por meio da análise AHP

e álgebra de mapas. A correlação entre os mapas síntese e os mapas temáticos são demonstrados no quadro 1.

Quadro 1 –

Descrição dos mapas temáticos integrantes de cada mapa síntese

Mapas	Vulnerabilidade dos Córregos	Vulnerabilidade do Rio Xingu	Pontos da ETA
Classificação de uso e cobertura do solo	X		X
Drenagem natural (APP)	X		
Nascentes	X		
Hipsometria (declividade)	X		
MDT			X
Pedologia	X		
Atividade potencialmente contaminante		X	

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Para fins de padronização da base cartográfica adotou-se o DATUM WGS84 e o sistema de coordenadas projetadas UTM WGS84 Zona 22S.

Os mapas de pedologia e declividade foram adquiridos junto ao IBGE e trabalhados a partir dos dados SRTM no software ArcGIS 10.1. A carta de radar S04_W053 foi cortada de forma que contivesse todo o perímetro da área de estudo, de onde, posteriormente se extraiu as curvas de nível nos intervalos de 30, 10 e 5 metros. Almejando um resultado esteticamente mais agradável, porém cartograficamente correto, as curvas de nível geradas passaram por processo de suavização para remoção da angulação apresentada em diversos pontos de cada linha. A fim de gerar uma melhor visualização dos dados topográficos optou-se pela criação de um Modelo Digital de Terreno (MDT) com células dimensionadas para 15m.

As variáveis de uso e cobertura do solo foram definidas como: urbanização intensa, urbanização esparsa, área degradada, solo exposto, pastagem e fragmento florestal. Todas as variáveis foram classificadas utilizando o software ArcGIS 10.1 e o classificador "pixel a pixel" (MAXVER), utilizando a imagem de alta resolução (resolução espacial = 2,0 m). O reconhecimento das classes em campo foi fundamental para validação da mesma, proporcionando uma exatidão global de 91% e um índice de Kappa de igual a 0.8.

O levantamento da rede de drenagem natural do perímetro urbano da cidade de Altamira foi realizado por avaliação de imagem de satélite, modelagem espacial a partir de SRTM processadas através da extensão Arc Hidro Tools (ArcGIS 10.1) e validação em campo, proporcionando a

especialização dos três cursos d'água principais: Ambé, Altamira e Panelas. O mesmo ocorreu para elaboração dos dados de nascentes. As zonas de proximidade dos cursos de água e nascentes foram definidas como isolinhas crescentes a cada 30m e 50m, respectivamente, conforme descrito pela lei federal 12.651 de 25 de maio de 2012, que estabelece o novo Código Florestal Brasileiro.

As variáveis consideradas potencialmente contaminantes aos recursos hídricos superficiais, adotadas somente para a avaliação da qualidade do rio Xingu, foram, do mesmo modo que a classificação de uso e cobertura do solo, vetorizados a partir do software Google Earth Pro. As atividades classificadas foram: pontos de balneabilidade, área de atracagem de embarcações, pontos de lançamento de efluente in natura e depósito de areia e seixo.

2.4 Mapa de Vulnerabilidade Ambiental

A fragilidade ambiental de uma área representa o grau de interação entre as classes de atributos de cada plano de informação de forma a indicar as áreas que apresentam parâmetros aceitáveis ou não. Objetivando alcançar a indicação das áreas potencialmente vulneráveis no ponto de vista ambiental, enfocando principalmente os recursos hídricos superficiais, a metodologia descrita por Franco (2010, p.57) foi adaptada para atender à demanda da área de estudo.

De acordo com Franco (2010, p. 58), as classes dos atributos devem ser hierarquizadas de acordo com seu grau de vulnerabilidade atribuída a um índice numérico que seja proporcional ao nível de influência. A tabela 1 estabelece os graus de fragilidade adotados para cada atributo.

Tabela 1 –

Graus de vulnerabilidade

Classe	Grau de Vulnerabilidade
Muito Baixo	1
Baixo	2
Médio	3
Alto	4
Muito Alto	5

Fonte: FRANCO, 2010, p. 58.

O mapa de vulnerabilidade ambiental foi desenvolvido em uma rotina estabelecida no software de geoprocessamento ArcGIS 10.1 onde cada plano de informações recebeu um peso que reflete sua importância dentro da análise. A rotina adotada consiste na conversão de cada plano de informações que estejam no formato vetorial para o formato matricial (raster) padronizando o tamanho de cada célula (pixel) em 15 metros.

Após a padronização de todos os planos de informação o cruzamento dos dados foi realizado com auxílio da ferramenta “Weighted Overlay” (Sobreposição Ponderada).

2.5 Vulnerabilidade Ambiental para os Córregos Urbanos

A vulnerabilidade ambiental para águas superficiais dos córregos urbanos pode ser encontrada pela das análises das variáveis: declividade, proximidade de recursos hídricos, solos, e uso e

cobertura do solo. A cada atributo foi conferido um peso que reflete seu grau de vulnerabilidade individual, por definição os pesos adotados são os mesmos que descreverão a vulnerabilidade ambiental dos córregos. A descrição do peso atribuído a cada plano de informações bem como o peso atribuído a cada atributo de classe se encontra na tabela 2.

A escala de pesos utilizada neste trabalho foi menor que a adotada por Santos (2010), com o objetivo de evitar números decimais como resultado das análises.

Tabela 2 –

Pesos dos atributos e influência das variáveis para VA-Córregos

Variável	Influência	Componentes de Legenda	Peso
Proximidade de Cursos D'água	30%	Até 30m	5
		30m a 60m	4
		60m a 90m	2
		maior que 90m	1
Cobertura e Uso do Solo	35%	Fragmento Florestal	1
		Pastagem	3
		Urbanização Esparsa	4
		Urbanização Intensa	5
		Área Degradada	5
Declividade (expressa em porcentagem de variação)	20%	0-3%	1
		3-6%	2
		6-20%	3
		20-45%	4
		< 45 %	5
Característica do Solo	15%	Neossolo	4
		Nitossolo	2
		Latossolo	1

Fonte: Adaptado de SANTOS 2010, p. 30

Após a definição dos pesos de cada atributo e da importância das classes foi adotada a rotina descrita para o mapa de vulnerabilidade ambiental.

Para a variável proximidade de cursos d'água foi atribuído a influência de 30% (trinta por cento), pois quanto mais próximo do curso hídrico maior será a vulnerabilidade ambiental. Para a variável uso e cobertura do solo foi adotada influência igual a 35% (trinta e cinco por cento) uma vez que a variação da cobertura do solo possui efeitos significativos na dinâmica hidrológica, quanto mais preservada a área estiver, menor será a vulnerabilidade dela.

A variável declividade, expressa em porcentagem de inclinação e recebeu grau de influência 20% (vinte por cento). Apesar de significativa para a avaliação da vulnerabilidade ambiental dos córregos, permitindo a avaliação do escoamento superficial e de erosão do solo, a variável declividade não possui o mesmo grau de relevância quando comparada com as variáveis de

proximidade e uso e cobertura do solo. Já para as características pedológicas do solo foi atribuída influência 15% (quinze por cento) visto que se tratando de influência aos recursos hídricos superficiais, onde o principal impacto da pedologia é a suscetibilidade erosiva, e comparada às demais variáveis adotadas, as características pedológicas não influenciam largamente na qualidade da água superficial.

2.6 Vulnerabilidade Ambiental Potencial do Rio Xingu

A vulnerabilidade ambiental potencial para o rio Xingu pode ser encontrada a partir das análises das variáveis: lançamento de efluente in natura, depósito e sedimentação de areia e seixo, área de atracagem de embarcações e área de balneabilidade. A descrição do peso atribuído a cada plano de informações bem como o peso atribuído a cada atributo de classe se encontra na tabela 3.

Tabela 3 –

Pesos dos atributos e influência das variáveis para VA-Xingu

Variável	Influência	Componentes de Legenda	Peso
Lançamento de Esgoto	35%	Zona Limpa	1
		Zona de Recuperação	2
		Zona de Decomposição Ativa	4
		Zona de Degradação	5
		Zona Livre	1
Deposito de Areia e Seixo	25%	Zona de Arraste	3
		Zona de Deposição	5
		Zona Livre	1
Área de Atracagem de Embarcações	30%	Zona de Recuperação	2
		Zona de Amortecimento	3
		Zona de Atracagem	4
		Zona Livre	1
Área de Balneabilidade	10%	Zona de Dispersão	2
		Zona de Contato Direto	3
		Zona Livre	1

Fonte: Adaptado de SANTOS, 2010, p. 30

É importante ressaltar que não foi o objetivo deste trabalho realizar uma caracterização precisa do efluente lançado, das características de sedimentação e arraste das partículas de areias depositadas ao longo da margem do rio nem dos poluentes encontrados nas áreas de atracagem, as descrições subsequentes são de caráter qualitativo e descritivo.

Desta forma, para o lançamento de efluente in natura foram aferidos valores hipotéticos de distancias, baseadas na interação do efluente e do corpo de descarga, com variação entre zonas de 100m (cem metros), sendo consideradas quatro zonas: Zona de Degradação, onde ocorre a primeira interação do poluente com o rio e é caracterizada por uma diminuição inicial na concentração de oxigênio dissolvido e presença de organismos mais resistentes; Zona de Decomposição Ativa, onde

o efluente passa a se dispersar, é a região onde a concentração de oxigênio dissolvido atinge o valor mínimo e a vida aquática é predominada por bactérias e fungos (anaeróbicos); Zona de Recuperação, na qual o corpo receptor começa a assimilar a carga orgânica, diminuindo o grau de impacto se iniciando a etapa de restabelecimento do equilíbrio anterior à poluição; e Zona Limpa, localizada após a zona de recuperação, é caracterizada pela elevada concentração de oxigênio dissolvido e vida aquática superior, onde o rio retorna a suas características naturais. (Andrade 2010, p. 17-18)

Para as áreas de depósito de minerais Classe II, areia e seixo, foram adotadas 03 (três) zonas, por avaliação qualitativa, a qual foi distribuída em faixas de 100m (cem metros), sendo: Zona de Deposição, área logo após a margem na qual as partículas assoreadas já se depositaram no leito formando bancos de areia e prolongando gradativamente a margem do rio; Zona de Arraste, área na qual as partículas sofrem arraste pelo movimento da água prolongando, à jusante, os bancos de areia e elevando a turbidez da água; e Zona Livre, na qual não ocorrem interações entre o movimento da água do rio e as partículas minerais desagregadas.

A área de atracagem de embarcações foi subdividida em 04 classes: Zona de Atracagem, onde ocorre o descarte dos resíduos e a manutenção do maquinário das embarcações; Zona de Amortecimento, na qual os resíduos sólidos são arrastados para a margem; Zona de Recuperação, zona na qual os demais poluentes são assimilados ou absorvidos por outros materiais; e Zona Limpa, onde as águas apresentam suas características naturais.

Para as áreas de balneabilidade foi considerado um impacto de 50m (cinquenta metros) correspondente à área utilizada pelos banhistas e não foi considerado impacto nas demais áreas.

Após a definição dos pesos de cada atributo e da importância das classes foi adotada a rotina descrita para o mapa de vulnerabilidade ambiental.

2.7 Mapa de locação da ETA

A metodologia para avaliação dos locais mais propícios à instalação da Estação de Tratamento de Água e dos possíveis reservatórios adicionais se deu por meio da técnica de análise multicritério, conforme descrita anteriormente. Os pesos adotados para esta análise estão descritos na tabela 4. As variáveis em análise são o uso e ocupação do solo e cota altimétrica, equação 3

Tabela 4 –

Grau de possibilidade de implantação de infraestruturas de tratamento

Classe	Grau de Possibilidade
Área Inapta	1
Área Moderada	2
Área Excelente	3

Fonte: Adaptado de SANTOS, 2010, p. 30

Os pesos e variáveis utilizadas para esta análise estão descritas na tabela 5, onde a avaliação da variável declividade foi obtida pela segregação, em três classes, das cotas altimétricas

encontradas em todo o perímetro urbano. Cada classe expressa a potencialidade de instalação das infraestruturas conforme expresso na NBR 12.216/92.

A variável Uso e Cobertura do Solo recebeu influência de 40% (quarenta por cento), os pesos aferidos indicam a possibilidade de implantação do sistema de abastecimento de água por classe de uso e cobertura do solo, observando que em áreas de urbanização consolidada, áreas predominantemente residenciais, áreas degradadas e áreas de várzea ou remanescente florestal, a viabilidade de instalação das infraestruturas é menor.

Tabela 5 –

Componentes da análise das áreas das instalações

Variável	Influência	Componentes de Legenda	Peso
Cobertura e Uso do solo	40%	Fragmento Florestal	1
		Pastagem	2
		Urbanização Esparsa	3
		Urbanização Intensa	2
		Área Degradada	1
Declividade (expressa em variação de cota altimétrica)	60%	90m - 120m	1
		120m - 150m	2
		150m – 210m	3

Fonte: Adaptado de SANTOS, 2010, p. 30

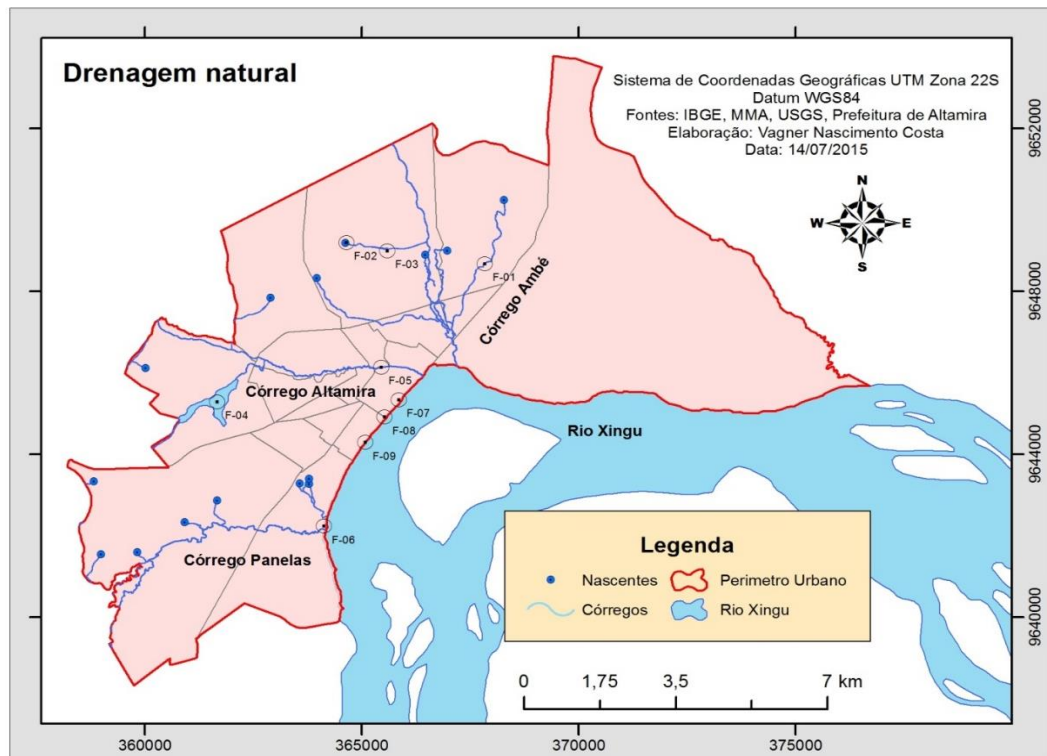
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Drenagem

A cidade de Altamira é cortada por três cursos d'água que têm no Rio Xingu a sua foz. Cada corpo hídrico é composto por vários cursos menores cujas nascentes, localizadas no perímetro urbano, foram mapeadas, figura 2.

Figura 2 –

Principais canais de drenagem natural



Fonte: IBGE, 2010. Adaptado das leis municipais 3.091/2012 e 3.092/2012. Elaboração: Costa, 2015.

Córrego Ambé: é caracterizado como um curso d'água perene que corta a cidade no sentido Norte-Sul e possui em média 5m (cinco metros) de largura ao longo de seu curso pelo perímetro urbano. Este córrego divide os bairros Mutirão e Boa Esperança, lado esquerdo, dos bairros Nova Altamira e Colinas, lado direito. Destes, os bairros Colinas e Nova Altamira possuem expressivo número de residências próximas aos cursos d'água, que sofrem anualmente influência das cheias (Figura 3).

Figura 3 –

a) *Palafitas no Córrego Ambé (F-01); b) Situação da nascente urbana do Córrego Ambé (F-02)*



Fonte: Costa, 2015

Córrego Altamira: De forma semelhante ao córrego Ambé, o Córrego Altamira é caracterizado como um curso d'água perene. Este corpo hídrico corta a cidade no sentido Leste-

Oeste, dividindo dos bairros jardim Altamira, Aparecida, Brasília e Liberdade ao norte e Bela Vista, Sudam II e Centro ao sul. Possui dois cursos afluentes, um dos quais foi represado para criação de um lago artificial denominado Parque do Açaí, e ao longo da parte central da cidade teve suas margens ocupadas irregularmente, conforme figura a 4.

Figura 4 –

Parque do Açaí: Palafita sobre o Altamira



Fonte: Costa, 2015

Córrego Panelas: O córrego Panelas delimita o perímetro urbano do lado esquerdo e o corta no sentido Leste-Oeste. Este curso d'água apresenta o maior número de nascentes identificadas dentro do perímetro urbano e é caracterizado como perene, pois não sofre modificação de vazão no período de estiagem.

Três de suas nascentes se encontram no loteamento Buriti, área de vegetação rasteira com urbanização esparsa e há vias públicas ao lado das nascentes, as quais foram canalizadas de modo a não perderem seu curso natural afluindo ao curso principal do Panelas. Identificou-se que uma parte do curso serve como balneário e parte da vegetação ciliar foi suprimida para permitir o acesso do público.

Um dos cursos de água afluentes do córrego Panelas sofre forte pressão de um projeto de urbanização em ambas as margens, entretanto, em razão do grande declive encontrado, não foi possível verificar a nascente e o córrego nesta localidade. O Panelas tem sua foz no rio Xingu na Praia do Pajé. Aos fins de semana este balneário é bastante movimentado por turistas e moradores locais em busca de lazer e recreação, todavia não se verificou prejuízos expressivos ao curso neste local. A figura 5 evidencia o local de foz do igarapé.

Figura 1 - Foz do Panelas na Praia do Pajé

Fonte: Costa, 2015

3.2 Mapa de Vulnerabilidade Ambiental

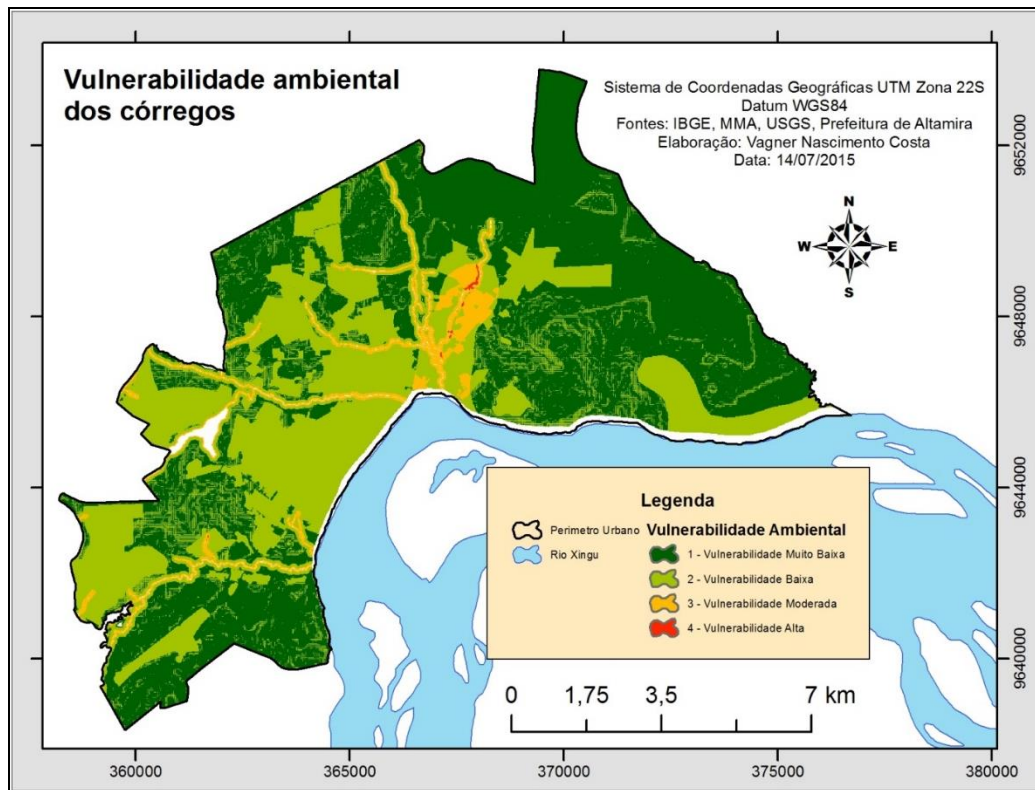
3.2.1 Vulnerabilidade Ambiental para os Córregos Urbanos

O presente trabalho buscou encontrar áreas de vulnerabilidade, ou seja, realizar uma estimativa supervisionada por software que pudesse apontar quais áreas são mais suscetíveis aos danos ambientais. Desta forma, uma área indicada como de alta vulnerabilidade, não necessariamente implica em uma área altamente degradada do ponto de vista ambiental, mas sim que a referida área apresenta propensão ao desequilíbrio ambiental se houver agravo de qualquer das variáveis observadas.

De acordo com a metodologia descrita para Vulnerabilidade para os Córregos Urbanos o produto gerado é demonstrado na figura 6.

Figura 2 –

Vulnerabilidade das águas superficiais



Fonte: IBGE, 2010. USGS, 2015. Elaboração: Costa, 2015.

Após avaliação supervisionada se constata que as áreas tidas como de vulnerabilidade moderada são as de ocupação urbana próxima aos cursos d'água. Ao longo de todos os cursos hídricos que cortam a cidade de Altamira se verifica a ocupação, na maioria das vezes irregular, das áreas destinadas à manutenção do equilíbrio dos ecossistemas ripários.

As áreas indicadas como de vulnerabilidade alta, além de possuírem ocupação urbana acentuada adjacente aos corpos de água, encontram-se em áreas de declividade acidentada, potencializando o carreamento de resíduos sólidos urbanos mal acondicionados e de material sólido inconsolidados pela lixiviação das vias urbanas.

As demais áreas apresentaram indicadores de vulnerabilidade baixa ou muito baixa, sendo suas características pouco influentes na avaliação da vulnerabilidade aos cursos hídricos superficiais que cortam o perímetro urbano.

Após avaliação dos resultados da vulnerabilidade e visitas *in loco* para os cursos d'água de menor volume que cortam a cidade, se constatou que os córregos avaliados são de águas negras, com alto teor de matéria orgânica dissolvida e baixa quantidade de nutrientes, passam por locais alagadiços e não carregam sedimentos, segundo. (Sioli, 1965 *apud* Horber *et.al.*, 2015 p. 754)

Nas áreas em que se constata ocupação irregular por famílias de baixa renda, evidencia-se também uma utilização irregular dos cursos d'água, com acúmulo de resíduos sólidos e despejos sanitários nas águas abaixo das palafitas ou próximo às casas em áreas de várzea, anualmente afetadas pela cheia natural.

A falta de saneamento básico aliado à condição socioeconômica das famílias que ocupam as margens dos igarapés contribui para o desequilíbrio ambiental da localidade, acarretando na

contaminação do córrego, desbalanço dos ecossistemas ripários e provocando aumento de determinadas populações e a depleção de outras, proliferação de vetores de doenças e pragas urbanas nocivas à saúde da população.

3.2.2 Vulnerabilidade Ambiental Potencial do Rio Xingu

As atividades desenvolvidas na margem esquerda do Rio Xingu, ao longo do perímetro urbano, conferem grau de vulnerabilidade às águas conforme descrito pela figura 7.

Com auxílio da metodologia proposta foi possível identificar que as áreas potencialmente vulneráveis correspondem às áreas de lançamento de efluentes e depósito de minerais classe II.

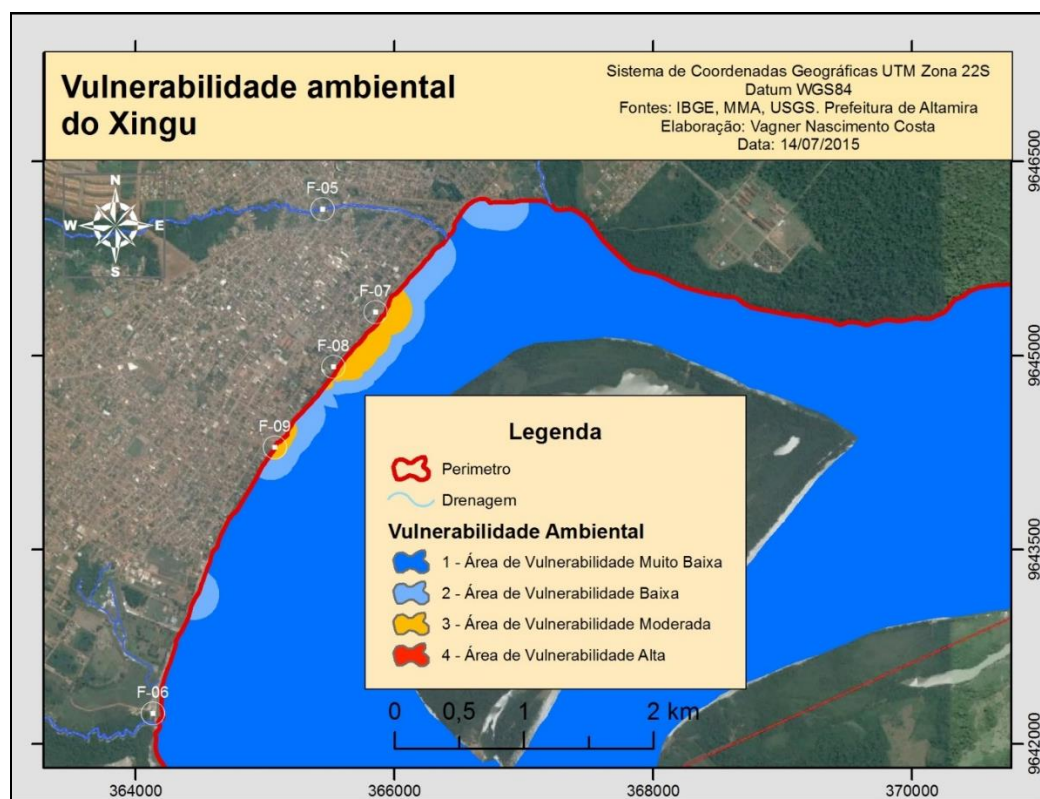
Não foram encontradas áreas descritas como de vulnerabilidade alta ou muito alta. Onde se verifica a influência de apenas uma variável, esta foi caracterizada como baixa vulnerabilidade, exceto, para a variável área de balneabilidade, que não expressa vulnerabilidade considerável.

Desta forma as áreas de vulnerabilidade moderada mesclam mais de uma variável, sendo elas: área de atracagem, lançamento de efluentes e deposição de areia e seixo.

Como resultado das visitas *in loco* e da metodologia utilizada para identificação de áreas de vulnerabilidade ambiental é observado que nas margens do rio Xingu se desenvolvem as atividades de lazer de contato direto, atracagem de pequenas embarcações e balsas, lançamento de efluentes doméstico e armazenamento de areia e seixo.

Figura 7 –

Vulnerabilidade do rio Xingu



Fonte: IBGE, 2010, USGS, 2015. Elaboração: Costa, 2015.

Os pontos de balneabilidade correspondem à área da foz dos córregos que cortam o perímetro urbano ou áreas próximas e se caracterizam por ocupação de baixa a média intensidade nas margens. Na foz do igarapé Panelas, Praia do Pajé, é comum o pernoite dos banhistas e há um quiosque de venda em geral, figura 8, nas demais áreas de lazer identificadas à margem do perímetro urbano não há quiosques, embora haja consumo de produtos levados pelos próprios banhistas.

Figura 8 –

Praia do Pajé na foz do Córrego Panelas



Fonte: Costa, 2015

Além do contato direto entre os visitantes e a água se observa o uso de veículos aquáticos de lazer como motos aquáticas e o descarte de resíduos sólidos domésticos diretamente na água ou nas margens.

Parte da população ribeirinha residente na sede municipal utiliza a orla como atracadouro para suas embarcações de pequeno e médio porte, destinadas ao transporte de passageiros e carga. Dentre as embarcações se encontram voadeiras, lanchas e catamarãs. Ao longo da costa se verifica a existência de quiosques de venda e oficinas, principalmente próximo às áreas de atracagem, além dos quais, no porto da balsa que realiza o traslado entre a zona urbana e a agrovila Assurini.

A figura 9 retrata as embarcações atracadas na margem do rio Xingu, na orla da cidade de Altamira.

Figura 3 –

Área de atracagem de pequenas embarcações



Fonte: Costa, 2015

Há quatro pontos de lançamento de efluente não tratado no rio Xingu, conforme evidenciado na figura 10. Ao sair da tubulação o efluente passa por estruturas de concreto que atuam como redutores de energia, evitando a erosão das margens e criação de sulcos no percurso até as águas do Xingu.

O efluente pode ser caracterizado como águas pluviais e esgoto secundário, oriundo de cozinhas, lavatórios e lavabos, excluindo dejetos humanos. Este efluente aparentemente não apresenta grande teor de matéria orgânica, entretanto se nota expressivo teor de óleos e gorduras.

Figura 4 –

Lançamento efluente e drenagem pluvial



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Decorre da atividade de extração e armazenamento de areia e seixo o assoreamento das margens nas quais se realiza a deposição deste material e o intenso tráfego de veículos pesados nas margens do rio.

Não se verificou em nenhum dos pontos de armazenamento temporário destes minerais a presença de bacias de contenção de drenagem ou dispositivos de armazenamento adequados. O material mineral é grosseiramente disposto nas margens do rio e o restante é lixiviado juntamente com a escória (algas, pequenos animais etc.) e direcionado diretamente para o curso d'água sem qualquer forma de tratamento.

Figura 11 –

pilhas de areia disposta incorretamente às margens do rio Xingu.



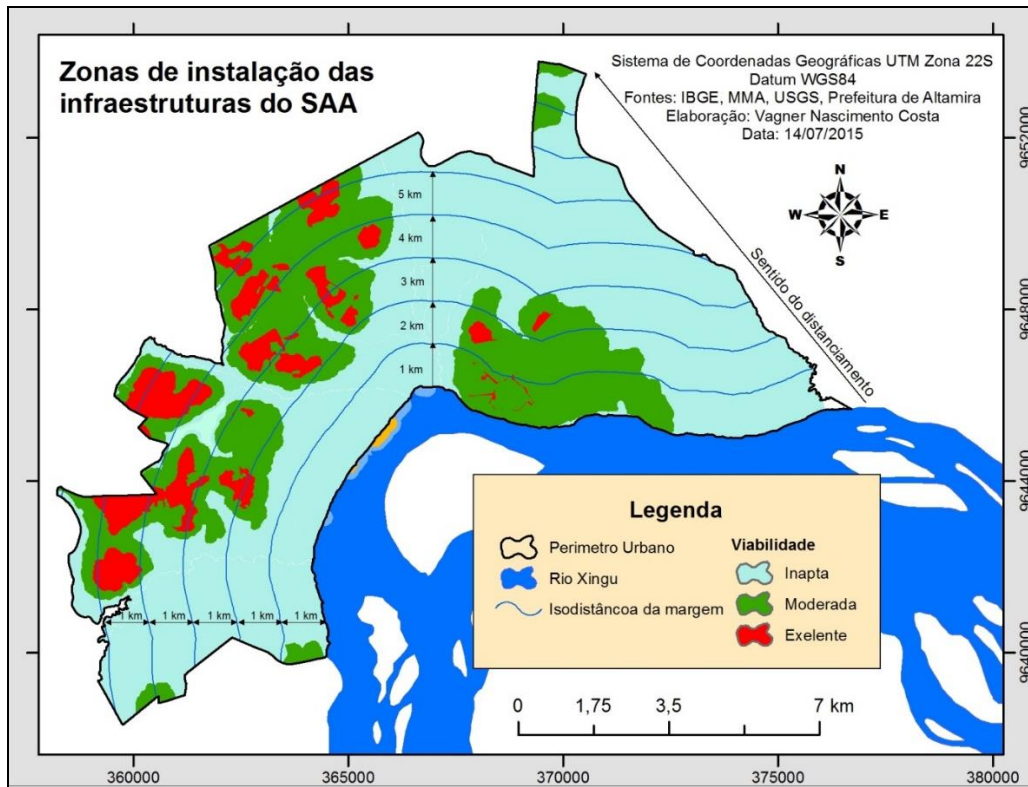
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

3.2.3 Pontos ótimos para locação da ETA

A metodologia adotada para indicação de áreas para instalação das infraestruturas de tratamento e reservatórios do sistema público de abastecimento de água está descritas conforme figura 11.

Figura 11 –

Indicação de localidades potenciais para infraestruturas do SAA.



Fonte: IBGE, 2010. Elaboração: Costa, 2015.

Apesar de assegurado em norma que a escolha do local deve levar em consideração a presença de vias largas, que comportem veículos pesados para transporte dos insumos do sistema, se optou por não incluir na metodologia esta variável já que as mesmas, em caso de inexistência ou existência em largura insuficiente, podem ser criadas de acordo com o interesse e orçamento do projeto.

As áreas mais elevadas e de baixa ocupação urbana são preferidas para instalação destes sistemas, pois reduzem custos de distribuição, diminuindo número elevado de reservatórios adicionais e bombas de recalque, e evitam processos onerosos e morosos de desapropriação. Para os pontos de captação de água buta deve-se levar em consideração a distância entre a estação de tratamento e o local de adução.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados decorrentes das técnicas de análise espacial e vulnerabilidade ambiental propostas por este trabalho permitiram concretizar uma avaliação das interações entre os fatores naturais e antrópicos em relação aos recursos hídricos superficiais.

O mapa de uso e ocupação do solo demonstra que a dinâmica de crescimento urbano da cidade de Altamira não foi acompanhada por políticas públicas de orientação e conservação ambiental, uma vez que áreas de vegetação ciliar foram massivamente ocupadas. Dentre estas ocupações se destacam a das margens do Córrego Altamira e de um pequeno curso afluente do Córrego Ambé, além da própria margem do Rio Xingu ao longo do perímetro urbano. Nos trechos dos córregos onde o processo de urbanização não é intenso ou é inexistente se verificou que a largura média dos córregos é de aproximadamente 1m (um metro), se mostrando facilmente suscetível a interferências externas.

A ocupação irregular deste tipo de terreno expõe a população residente a riscos sanitários decorrentes da convivência com espécies animais e microrganismos endêmicos de áreas alagadas e, também, ao movimento natural das águas em época de cheia. É importante ressaltar que, de um ponto de vista ecológico, a própria ocupação, assim como os resíduos por ela gerados, afetam de forma considerável a dinâmica de nutrientes e populações microbiológicas do solo e da água decorrentes do aporte de nutrientes e contaminantes.

As identificações dos graus de vulnerabilidade encontrados para os córregos são reflexo, principalmente, da ocupação urbana adensada em área de declividade acentuada ou zona ciliar, resultando em poluição direta ou indireta, através do arraste no escoamento superficial das águas pluviais, das águas destes córregos. O grau de vulnerabilidade alta somente foi verificado em um local, onde estas três características se sobrepõem, no afluente norte do Córrego Ambé. Para o restante dos trechos do Ambé e dos demais córregos o grau de vulnerabilidade encontrado foi moderado, possibilitando uma maior forma de recuperação ambiental.

Os graus de vulnerabilidade encontrados para as águas do Rio Xingu foram baixa e moderada indicando que o despejo in natura de efluentes domésticos e a deposição inadequada de resíduos sólidos, óleos e graxas decorrentes das atividades desenvolvidas na orla do rio não prejudicam os usos previstos pela resolução CONAMA 357/05, no caso do Rio Xingu os usos das águas doces Classe II.

Quanto aos pontos de locação da estação de tratamento e reservatórios a metodologia de análise foi eficiente em apontar áreas em três faixas de possibilidade, áreas inaptas, moderadas e ótimas, cabendo ao gestor ou equipe técnica avaliar em detalhes cada possibilidade. Já para o ponto de captação, devem ser avaliados a vulnerabilidade da área, causada por atividades contaminantes, e a distância da área escolhida para a estação de tratamento, uma vez que os custos podem variar largamente quanto ao tratamento da água bruta e o custo da infraestrutura de adução.

As informações levantadas e analisadas constituem produtos que poderão subsidiar tomadas de decisões, no que diz respeito à escolha de mananciais para abastecimento urbano e no manejo ambiental das microbacias urbanas da cidade de Altamira, PA. Outras variáveis podem ser adicionadas ao modelo proposto como forma de complemento e expansão das variáveis analisadas, entre as quais, por exemplo, a dinâmica das águas subterrâneas e as atividades potencialmente contaminantes das mesmas.

7. REFERÊNCIAS

- ABNT -Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992). NBR 12211: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992b). NBR 12212: Projeto de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992c). NBR 12213: Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992d). NBR 12215: Projeto de adutora de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992e). NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT -Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992f). NBR 12217: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT.
- ANA Agência Nacional de Águas (2007). GEO Brasil: Recursos Hídricos. Brasília: MMA.
- Alves, Telma Lucia Bezerra; Azevedo, Pedro Vieira de (2013). Estudos de bacias hidrográficas como suporte a gestão dos recursos naturais. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 10, n. 2, p. 166-184, mar. /abr.
- Andrade, Larice Nogueira de (2010). Autodepuração dos Corpos d'Água. Revista da Biologia, São Paulo, v. 5, n. 4, p.16-19, 30 dez.
- BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Política Nacional de Saneamento Básico. 2007. Brasília, DF: D.O.U., 08 jan.
- BRASIL. Lei nº 9433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: DOU, 09 jan.
- BRASIL. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Padrão de Potabilidade e Qualidade da água. Brasília: DOU, 14 dez.
- Camara, Gilberto; Davis, Clodoveu; Monteiro, Antônio Miguel Vieira (Org.) (2001). Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: Inpe.

- Campos, Maria Betânia Aparecida (2011). Métodos Multicritérios que Envolvem a Tomada de Decisão. 2011. 51 f. Monografia (Especialização) - Curso de Matemática, Departamento de Matemática, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- CERH (Estado). Resolução nº 003, de 03 de setembro de 2008. Dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos e dá outras providências. Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Belém, PA: D.O.E., 03 set.
- CERH (Estado). Resolução nº 009, de 12 de fevereiro de 2009. Dispõe sobre os usos que independem de outorga. Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Belém, PA: D.O.E., 06 abr
- EMBRAPA Agência Embrapa de Informação Tecnológica (2015). Latossolos Amarelos. Disponível em:<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r58asu5l.html>. Acesso em: 22 jul.
- EMBRAPA Agência Embrapa de Informação Tecnológica (2015b). Neossolos Flúvicos. Disponível em:<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqfveqah8.html>. Acesso em: 22 jul.
- EMBRAPA Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Nitossolos Vermelhos. 2015. Disponível em:<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn362ja102wx5ok0liq1mqelqj5hh.html>. Acesso em: 22 jul. 2015c.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006). Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Clima. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>> Acesso em: 21/07/2015d.
- Feitosa, Fernando A. C.; Manoel Filho, João (2000). Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 2. ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID/UFPE, 391 p.
- Fitz, Paulo Roberto (2008). Geoprocessamento sem Complicação. São Paulo: Oficina de Textos.
- Franco, Gustavo Barreto (2010). Fragilidade Ambiental e Qualidade da Água na Bacia do Rio Almada: Bahia, 345 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa,
- Horber, Adriana Maria Coimbra et al (2013). Geoquímica das águas do médio e baixo rio Madeira e seus principais tributários - Amazonas - Brasil. Acta Amaz., Manaus, v. 43, n. 4, p. 489-504, dez. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672013000400011&lng=pt&nrm=iso>. Acessado em 20 out. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672013000400011>.
- Huisman, Otto; By, Rolf A. de (2001). Principles of Geographic Information Systems. Enschede: The International Institute For Geo-information Science And Earth Observation (ITC).

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Altamira. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 11 jun. 2015.
- Libaneo, Marcelo (2010). Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água. 3. ed. Campinas: Editora Átomo.
- Machado, Paulo Affonso Leme (2004). Direito Ambiental Brasileiro. 12. ed. São Paulo: Malheiros Editores.
- Mestrinho, Suely Schuartz Pacheco (2006). Qualidade das Águas. In: Gonçalves, Valter Galdiano; Giampa, Carlos Eduardo Quaglia (Org.). Águas subterrâneas e poços tubulares profundos. São Paulo: Signus Editora.
- Ministério do Meio Ambiente. Mananciais. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Brasília: Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/aguas-urbanas/mananciais>> Acesso em: 06/04/2015.
- Mourão, Ana Clara (2003). Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. Belo Horizonte: Difusora Editora Gráfica LTDA.
- Odum, Eugene P.; Barret, Garry W. (2011) Fundamentos da Ecologia. São Paulo: Cengage Learning, Tradução Pégasus Sistemas e Soluções.
- Estado do Pará. Lei nº 6.381, de 25 de julho de 2001. Dispõe a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Política Estadual de Recursos Hídricos. Belém: DOE, 27 jul.
- Peel, M. C.; Finlayson, B. L.; McMahon T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, Copernicus Publications.
- Pinto, Nelson L de Sousa et al (2011). Hidrologia Básica. São Paulo: Editora Blucher, 13ª reimpressão,
- Rebolsas, Aldo (2004). Uso Inteligente da Água. São Paulo: Escrituras Editora.
- Salazar Sergio Ricardo Godinho. Multimidia aula 3 – Paradigma dos 4 Universos. Aparecida de Goiânia: Fanap. Disponível em: <<https://sergiofanap.files.wordpress.com/2013/09/aula-multimidia-paradigma-4-universos.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2015.
- Von Sperling, Marcos (1996). Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais.