

OS EFEITOS DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA E DA URBANIZAÇÃO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO ACARAÚ EM SOBRAL (CE)

Francisco Bruno Monte Gomes
Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA
gomesdebruno@hotmail.com

Davis Pereira de Paula
Universidade Estadual do Ceará – UECE
davispp@yahoo.com.br

RESUMO

Este estudo teve por objetivo analisar os efeitos da sazonalidade climática e da urbanização na determinação do Índice de Qualidade das Águas (IQAs) do rio Acaraú no trecho intraurbano da cidade de Sobral (Ceará/Brasil). O trecho estudado possui uma extensão de 15 km que abrange um sistema fluvial com zonas de entrada (sem urbanização), mistura (altamente urbanizada) e saída (mediamente urbanizada). O IQA permite avaliar a qualidade da água bruta. Para o cálculo do IQA foram avaliados nove parâmetros de qualidade de água. Para isso, foram adotados procedimentos analíticos com amostragem de água em cinco pontos de coleta. O estudo ocorreu de março/15 a março/16, compreendendo os períodos de estiagem, pré-estação chuvosa e quadra invernal. Os resultados indicaram que fatores hidroclimáticos e a própria forma de uso e ocupação, influenciaram diretamente nos valores de IQA, sendo que os valores de qualidade “ruim” são observados, principalmente, no período de estiagem, no espaço intraurbano de Sobral. Isso pode indicar que cargas de efluentes domésticos chegam sem tratamento ao canal principal do rio Acaraú. Conclui-se, portanto, que a sazonalidade climática associada às formas de uso e ocupação desempenha um papel importante na qualidade das águas do rio Acaraú em Sobral.

Palavras-chave: Qualidade Ambiental. Formas de Uso e Ocupação. Rios Semiáridos. Cidade Média. IQA.

EFFECTS OF CLIMATIC SEASONALITY AND URBANIZATION ON THE WATER QUALITY OF ACARAÚ RIVER, SOBRAL (CE)

ABSTRACT

This study aimed at analyzing the effects of climate seasonality and of urbanization in the determination of the Acaraú river Water Quality Index - WQI, located in the intraurban stretch of the city of Sobral (Ceará/Brazil). The area studied extends for 15 km encompassing a river system with entrance zones (non-urbanized), mixture zones (highly urbanized) and exit zones (moderately urbanized). WQI allows assessing the quality of raw water. To calculate it, nine parameters of water quality were assessed. Analytical procedures with water samples in five collection points were adopted. The study took place between March/15 and March/16 comprehending the dry season, rainy pre-season and the wintry quarter. Results indicated that hydroclimate factors and the forms of land use and occupation directly influenced the WQI values - in which values of “bad” quality are mainly observed in the dry season in the intraurban areas of Sobral. This may indicate that non-treated charges of domestic effluent get to the main canal of Acaraú river. Therefore, it is concluded that climate seasonality associated with forms of land use and occupation plays an important role in the water quality of Acaraú river in Sobral.

Keywords: Environmental Quality. Forms of Land Use and Occupation. Semi-arid Rivers. Medium-Sized Cities. WQI.

INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são unidades de planejamento do território, conforme estabelecido no Art. 1º, Inciso V, da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei nº 9.433 de 1997. Na mesma lei, em seu Art. 2º, Inciso I, estão asseguradas as condições e padrões de qualidade de água, bem como sua disponibilidade para gerações futuras.

Considerando que a água é um bem limitado, a PNRH visa, sobretudo, assegurar a qualidade e a quantidade desse recurso natural que é dotado de valor. Nesse caso, entende-se por qualidade de água o conjunto de condições e padrões físicos (temperatura, odor, turbidez e sólidos), químicos (pH, alcalinidade, nitrogênio, DQO, DBO, OD e fósforo) e biológicos (coliformes e algas), que são necessários ao uso da água em suas mais diferentes formas (FUNASA, 2014).

Nesse caso, os padrões de potabilidade, balneabilidade, usos urbanos, agrícolas e industriais são diferentes. No Brasil, adota-se o sistema de enquadramento dos corpos hídricos em classes, considerando os critérios ambientais e as formas de uso. A Resolução nº 357/2005, alterada pelas Resoluções 410/2009 e 430/2011, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), estabelece a classificação e o enquadramento dos corpos hídricos brasileiros, como é o caso do rio Acaraú, em Sobral, objeto deste estudo.

Assim, o estudo da qualidade ambiental de um corpo hídrico deve levar em consideração as formas de uso da terra, o padrão de drenagem, as províncias hidrogeológicas e as condições climatológicas (TOLEDO; NICOLLELA, 2002). Diversos autores (TONG e CHEN, 2002; BATEMAN et al., 2006) vinculam os efeitos climatológicos e urbanos à alteração da qualidade das águas superficiais. Esses efeitos são mais mensuráveis em parâmetros como oxigênio dissolvido, nitrogênio, fósforo, demanda bioquímica de oxigênio e coliformes termotolerantes (LEGGETT e BOCKSTAEL, 2000).

Merten e Minella (2002) e Lemos (2011) destacaram que a qualidade da água depende de uma associação de aspectos físico-naturais, poluição biológica, e por último, ações antrópicas ou descasos na atuação dos serviços que compõem o sistema de saneamento básico das cidades. Esses aspectos podem levar a uma diminuição da qualidade e da quantidade de água disponível para o abastecimento humano e a dessedentação de animais, que são os usos prioritários estabelecidos na PNRH e na Constituição Estadual do Ceará de 1989. Como consequência da perda de qualidade das águas, há impactos diretos nos aspectos culturais, recreativos, produtivos e preservacionistas (STRIEDER et al., 2006; RAMAKRISHNAIAH et al., 2009).

A qualidade ambiental dos recursos hídricos superficiais (rio, riachos, lagos e lagoas) reflete diretamente em suas características naturais (geologia) e antrópicas (urbanização) (PAULA et al., 2014). Carvalho et al. (2000) apontaram que atividades como agricultura e pecuária provocam degradação na paisagem, contribuindo para um processo de lixiviação do solo que resulta em seu empobrecimento e no transporte de nutrientes e fertilizantes para os rios, provocando, em muitos casos, a eutrofização do corpo hídrico (ASLHASHEMI & TAGHIPOUR, 2010).

De uma forma geral, os centros urbanos não saneados, como é o caso da cidade de Sobral (CE), sofrem com as ligações clandestinas de esgoto com a rede de drenagem pluvial, que propiciam o aumento dos níveis de matéria orgânica e nutrientes (nitrogênio, fosfatos e nitratos) (PAULA et al., 2014). Esses nutrientes em excesso potencializam o processo de eutrofização de corpos hídricos, provando um desequilíbrio do ecossistema aquático por excesso de nutrientes (VON SPERLING, 1996; BORDALO, 2001; DEBELS et al., 2005).

A qualidade da água de um corpo hídrico é uma das maiores prioridades do planejamento estratégico urbano das cidades (BARBOSA, 1994; SIMEONOV et al., 2002). Nesse sentido, foi criado nos Estados Unidos, pela National Sanitation Foundation, durante a década de 1970, o Índice de Qualidade das Águas (IQAs), que se trata de um protocolo de avaliação de impactos ambientais em recursos hídricos. Esse método de análise foi incorporado no Brasil pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), na segunda metade da década de 1970, sendo amplamente utilizado em território nacional. Assim, este estudo tem por objetivo aplicar esse índice para determinar a qualidade das águas do rio Acaraú no seu trecho intraurbano, na cidade de Sobral.

ÁREA DE ESTUDO

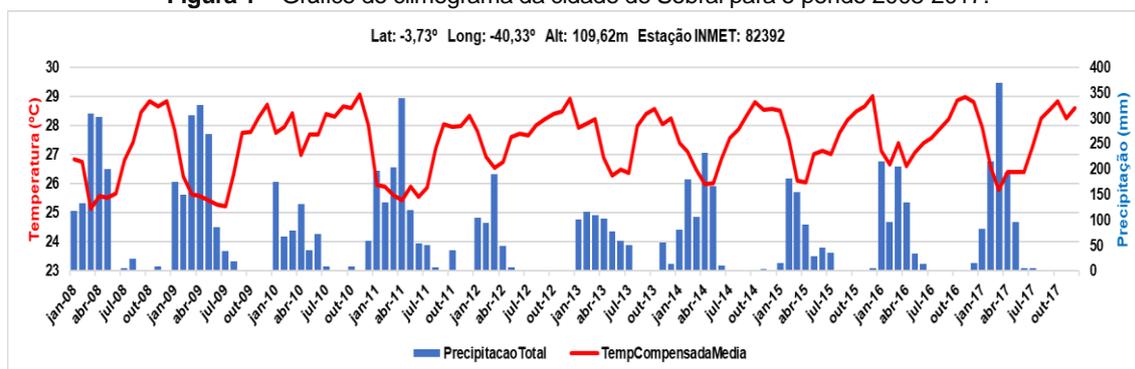
O município de Sobral, o quinto mais populoso do Ceará, com mais de 200 mil habitantes, está localizado na região Noroeste do Estado, a 240 quilômetros de distância da capital Fortaleza. O seu Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é de 0,714, valor considerado alto. Possui o maior Produto Interno Bruto (PIB) da Região Norte do Ceará, capitaneado pelo setor industrial e de serviços, constituindo-se como polo centralizador da região.

A cidade de Sobral está localizada no médio curso da Bacia Hidrográfica do rio Acaraú. O rio Acaraú possui uma extensão de 315 km, predominantemente no sentido Sul-Norte. A bacia em questão ocupa uma área da ordem de 14.423,00 Km², correspondendo a 10% do território cearense. Os seus principais afluentes são os rios Groaíras, Jacurutu, Macacos e Jaibaras, os quais formam importantes sub-bacias (COGERH, 2009).

O rio Acaraú nasce na Serra das Matas e deságua no Oceano Atlântico nas proximidades do município de Acaraú, drenando uma região que perpassa os sistemas ambientais da depressão sertaneja, os maciços residuais, os tabuleiros pré-litorâneos e a planície costeira. Em Sobral, no seu trecho intraurbano, a principal unidade geomorfológica é a planície fluvial do rio Acaraú, um ambiente ecodinamicamente de transição.

Sobral está situada na área de abrangência do semiárido nordestino, onde o clima imperante na região é o tropical semiárido (BSh), que é caracterizado por elevadas temperaturas (médias anuais acima de 27°C), baixa amplitude térmica (inferior a 10°C) e chuvas concentradas em pouco mais de quatro meses do ano, com acumulado médio de 808 mm/ano (Figura 1).

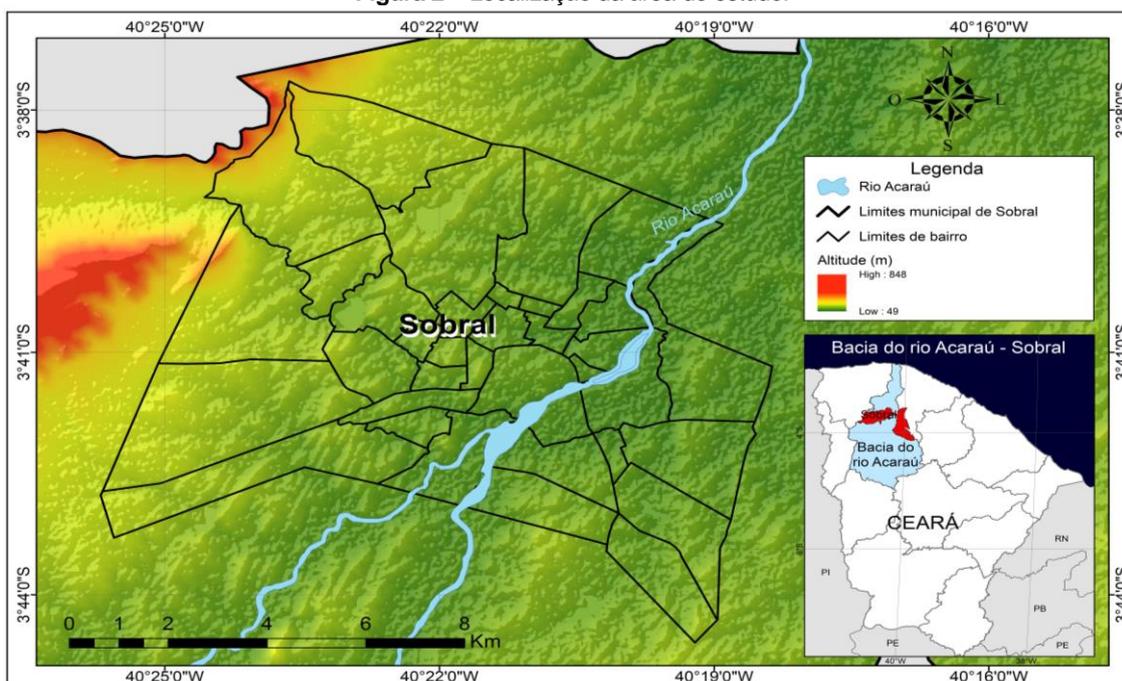
Figura 1 – Gráfico do climograma da cidade de Sobral para o período 2008-2017.



Neste estudo foi priorizado apenas o trecho urbano do rio Acaraú em Sobral (Figura 2), uma vez que se trata de uma área que apresenta profundas transformações em sua paisagem, podendo repercutir diretamente para alterações nos parâmetros de qualidade das águas do rio Acaraú. O comprimento do canal principal no espaço intraurbano de Sobral é de 7 km, sendo que as margens do canal estão ocupadas em 70% de sua extensão. As planícies adjacentes ao canal principal estão descaracterizadas pelo intenso processo de urbanização, especialmente, no que se refere à margem esquerda do rio. Há um representante do rio no seu trecho mais citadino, entre as pontes de acesso à cidade.

De uma forma geral, mais de 80% da população reside na área urbana de Sobral, o que demanda uma grande oferta de serviços públicos como, por exemplo, os serviços de saneamento básico. Os dados mais recentes, de 2013, mostram que 66,5% das famílias sobralenses contam com rede de esgoto, enquanto 21,8% possuem esgoto por fossa e 11,7% descartam o seu esgoto a céu aberto. Esse último valor é preocupante, pois se tratam de domicílios, na sua maioria, localizados próximos ao rio Acaraú, em que as águas servidas são canalizadas diretamente para o rio.

Figura 2 – Localização da área de estudo.



Atualmente, tendo em vista os problemas com doenças de veiculação hídrica, a administração de Sobral investe a maior parte dos recursos destinados ao saneamento básico na atenção do esgotamento sanitário (50%), seguido pelos setores de abastecimento de água (23%), drenagem urbana (14%) e limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos (13%) (PMSB, 2013).

METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido apenas no trecho urbano do rio Acaraú na cidade de Sobral, estando baseado, sobretudo, na análise empírica e nos procedimentos analíticos para determinação da qualidade das águas desse rio. Para isso, foram realizadas análises de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água em pontos distintos do rio Acaraú no trecho intraurbano da cidade. Os resultados das amostras foram comparados aos parâmetros de normalidade estabelecidos na Resolução 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) e na Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Ambas dispõem sobre a qualidade da água e padrões de potabilidade, permitindo realizar o enquadramento dos corpos d'água em 13 classes de qualidade, como disposto no Capítulo II, Artigo 3 da Resolução nº 357/2005 do CONAMA.

ANÁLISE URBANA DE SOBRAL

A análise do espaço urbano da cidade de Sobral foi realizada a partir de uma análise documental. O método de análise documental constitui uma forma de investigação do contexto histórico-social da construção da cidade de Sobral. Nessa análise foram utilizados documentos históricos da diocese de Sobral datados da primeira metade do século XX, matérias de jornais impressos disponíveis na biblioteca pública de Sobral, artigos científicos, teses e dissertações disponíveis em plataformas digitais de pesquisa (como o Portal da Capes) e livros sobre a história de Sobral. Assim, a base da pesquisa foi através de documentos escritos e disponíveis em acervos particulares e públicos.

A morfologia urbana da cidade de Sobral foi analisada a partir da criação do primeiro núcleo urbano, em 1800, até a consolidação da cidade como o quinto maior núcleo populacional do Ceará. Para esse fim foram utilizados mapas e cartas da distribuição urbana de Sobral, disponíveis na Secretária de Infraestrutura do Município, bem como da Secretaria de Urbanismos e Meio Ambiente. Também foram pesquisadas cartografias coloniais e não coloniais no site da Biblioteca

Nacional. Por fim, foram catalogadas fotografias aéreas multitemporais, imagens do TM Landsat e imagens do Google Earth.

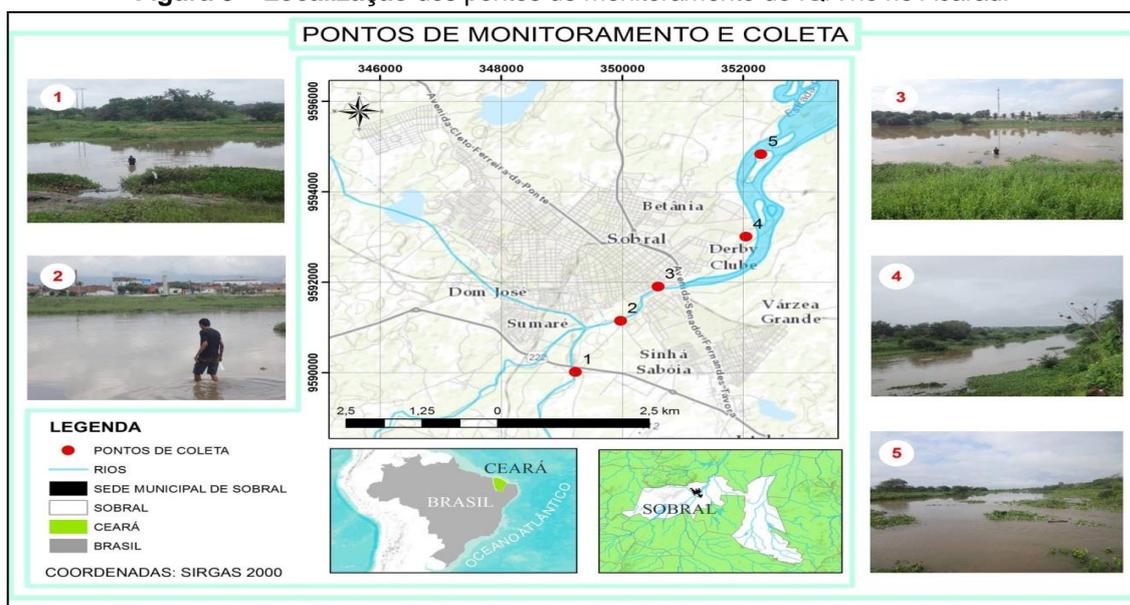
Na reconstituição da paisagem urbana de Sobral e sua estrutura utilizaram-se plantas da cidade construídas para o desenvolvimento da estrada de ferro que interligava Sobral a Camocim. As plantas estavam disponíveis para o século XIX e para a primeira metade do século XX. A reconstituição entre a segunda metade do século XX e os primeiros dez anos do século XXI foi realizada com o uso de imagens de satélite disponíveis nos acervos digitais de acesso livre.

As imagens foram tratadas e georreferenciadas no programa ArcGis 10. A partir de então, vetores no formato *Shapefile* foram criados, adotando o Sistema de Coordenadas Sirgas 2000 zona 24S. Os dados gerados foram agregados a um banco de dados para futuras consultas. Assim, o uso de geotecnologias permitiu reconstruir a paisagem urbana da cidade, permitindo compreender como o rio Acaraú foi sendo incorporado à malha urbana de Sobral.

EXPERIMENTOS DE CAMPO: AMOSTRAGEM, COLETA E ARMAZENAMENTO.

As amostras de água foram coletadas durante 13 meses (de março de 2015 a março de 2016), perfazendo um espaço temporal que envolve a sazonalidade climática da região, isto é, compreendendo o período de estiagem, a pré-estação chuvosa e a quadra invernososa (ou estação de chuvas, que ocorre, especialmente, entre os meses de fevereiro e maio). Para uma amostragem analítica mais detalhada, foram estabelecidos cinco pontos de coleta de água para análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água (Figura 3).

Figura 3 – Localização dos pontos de monitoramento do IQA no rio Acaraú.



Todos os pontos foram georreferenciados com o auxílio de um GPS ETrex, com precisão indicada de 5 m. As estações foram organizadas obedecendo a nomenclatura de Pt1 a Pt5, em que Pt1 representa a entrada do sistema (*input*), o ponto mais a montante, Pt2 a Pt4 representa o sistema intraurbano, enquanto Pt5 indica a saída do sistema (*output*), ou seja, o ponto mais a jusante.

Os pontos de coleta foram definidos a partir das suas características urbanas e ambientais, sendo que Pt1 e Pt5 estão em áreas com baixo e médio índice de ocupação urbana, respectivamente. Em termos ambientais, estão em áreas um pouco menos degradadas do que no espaço intraurbano da cidade. A largura média do canal do rio é de 70 m e 130 m, com profundidades que não ultrapassam 1,5 m. Já entre Pt2 e Pt4, o índice de ocupação urbana é alto, as margens são totalmente tomadas por estruturas urbanas residenciais, comerciais e culturais. Do ponto de vista

ambiental, trata-se de um trecho totalmente descaracterizado, com uma tímida presença de mata ciliar e com talvegue que não coincide em alguns trechos com o eixo principal do rio Acaraú. Quanto à largura média, nesse trecho existem áreas com menos de 20 m de largura, enquanto em outros pontos, a largura média chega a 80 m. Em alguns trechos, a profundidade máxima pode ultrapassar os 2 m.

As amostras de água foram coletadas na camada superficial, utilizando os procedimentos de coleta, conservação, padrões de higiene, transporte e controle de amostragem descrita nas Normas Brasileiras Registradas (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do *Standard Methods for Water and Wastewater* (APHA, 2005). Todas as amostras foram coletadas durante o período da manhã (entre 08h00min e 10h00min).

Os parâmetros observados em cada amostra de água foram a temperatura (°C), único parâmetro medido em campo com o auxílio de um termômetro digital portátil e calibrado, enquanto nas bancadas do Laboratório de análise de água do Instituto Federal do Ceará em Sobral determinou-se o Potencial Hidrogeniônico (pH) através do método potenciométrico, a turbidez (Turb) pelo nefelométrico, o oxigênio dissolvido (OD) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) por colorimetria, o nitrogênio amoniacal (NH₄) por nesslerização direta, o nitrito (NO₂) com colorimétrico da diazotização, o nitrato (NO₃) pelo método do salicilato de sódio, os sólidos totais em suspensão (STS) com o gravimétrico, a clorofila "A" (CHLA) com o espectrofotométrico, o fósforo total (P-total) pelo espectrofotométrico do ácido ascórbico e o coliformes termotolerantes (Ct) pela técnica de investigação dos tubos múltiplos. É importante destacar que todas as metodologias foram baseadas nas determinações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

Índice de Qualidade da Água (IQA)

O IQA é calculado a partir de curvas de qualidade dos parâmetros analisados que derivam do seu produto ponderado. Os cálculos dos índices foram transcritos para o programa Qualigraf, *software* de qualidade de amostras d'água, desenvolvido pelo Departamento de Recursos Hídricos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Esse índice é determinado pela equação 1.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

IQA= Índice de Qualidade da Água, variando de 0 e 100;

π = número phi é 3,14;

q_i = qualidade do i-ésimo parâmetro, variando entre 0 e 100. Esse valor é obtido através da curva de concentração ou média;

w_i = peso correspondente ao i-ésimo parâmetro; fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (\text{Eq. 2})$$

*Sendo n o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

O IQA construído pela CETESB (2012) é composto de nove parâmetros com seus respectivos pesos (w), que foram fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água (Tabela 1).

Tabela 1 – Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e seus respectivos pesos.

Parâmetro do IQA	Peso (w)
Temperatura	0,10
pH	0,12
Turbidez	0,08
Oxigênio dissolvido	0,17
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO5,20)	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Residual total	0,08
Coliformes Termotolerantes	0,15

Fonte – CETESB, 2012.

Para valores de IQA há uma qualificação da qualidade de água que considera os níveis de aceitação variando de ótima (própria) a péssima (imprópria), conforme a Tabela 2 adaptada dos estudos da CETESB (2012).

Tabela 2 – Classificação das águas a partir das faixas de ponderação do IQA.

Faixa ou Ponderação	Nível de qualidade	Cor representativa
$79 < IQA \leq 100$	Ótimo	
$51 < IQA \leq 79$	Bom	
$36 < IQA \leq 51$	Aceitável	
$19 < IQA \leq 36$	Ruim	
$IQA \leq 19$	Péssima	

Fonte – CETESB, 2012.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção e transformação do espaço urbano de Sobral

De acordo com Holanda (2007), Sobral foi a nona vila a surgir no Ceará, datada de 1773. A vila de Sobral foi uma das mais importantes do Ceará colonial, em termos econômicos, servindo de base para o desenvolvimento do ciclo econômico do gado na região Norte do Ceará. Nesse caso, as águas do rio Acaraú serviam para matar a sede do gado durante a travessia dos sertões por ocasião das feiras.

O processo de ocupação de Sobral teve início com o surgimento da fazenda Caiçara, de propriedade do Capitão Antônio Rodrigues Magalhães e de sua esposa Dona Quitéria Marques de Jesus (LIRA, 1971). Em 1742, os proprietários da Fazenda Caiçara doaram para a Arquidiocese de Sobral aproximadamente cem braças de terras para patrimônio da Igreja, territorializando neste local a sede do Curato do Acaraú, componente primordial para o desenvolvimento de um agrupamento urbano nessa província. Sobral foi elevada à condição de vila com a criação da Vila Distinta e Real de Sobral, em 1773.

Até o início do século XIX a Vila de Sobral possuía um pequeno núcleo urbano concentrado no entorno da igreja Matriz e centrada na margem esquerda do rio Acaraú. A elevação da Vila à condição de cidade ocorreu em 1841, pondo a região em destaque administrativo e político em termos de Capitania do Ceará (SÁ, 2014). Em 1841, Sobral contava, então, com 14 ruas, 6 travessas, 14 becos e algumas praças (BARBOSA, 2000). O rio Acaraú desempenhava um importante papel de interligação e via de comunicação entre as diversas comunidades que surgiam no espaço urbano de Sobral.

Entre 1881 e 1882, a cidade expandiu sua influência com a inauguração da estrada de ferro que interliga Sobral ao litoral da Região Norte do Ceará, mais especificamente até o Porto na cidade de Camocim (ARAGÃO, 2014). O desenvolvimento urbano de Sobral, durante o século XX, teve por base a ocupação da região central, partindo da praça do Mercado Central e se dirigindo em direção à margem esquerda do rio Acaraú (ROCHA, 2003). Nesse momento da ocupação urbana de Sobral já foram perceptíveis modificações na paisagem induzidas pela construção do ramal ferroviário da região Norte. Iniciou-se o processo de ocupação não sustentada do espaço urbano da cidade de

Sobral, momento em que a capacidade de resiliência do ambiente passou a sofrer com as intervenções antrópicas (ARAGÃO, 2014).

O início do século XX foi marcado pelo desenvolvimento de um incipiente parque industrial têxtil, gerando empregos e dinamizando o processo de ocupação da área urbana e periférica de Sobral. Na primeira metade do século XX foi possível observar que houve uma descentralização da ocupação da margem esquerda do rio Acaraú em direção à Serra da Meruoca. Holanda (2007) destaca que na segunda metade do século XX a cidade de Sobral experimentou uma forte descentralização da sua ocupação do solo, tendo como foco as áreas periféricas e a margem direita do rio Acaraú.

Pereira Junior (2003) destaca que algumas regiões do Ceará passaram por uma nova organização do espaço, inclusive Sobral, que a partir da política de promoção e atração de indústria para o Ceará, especialmente a partir de 1986, trouxe um novo dinamismo para os espaços urbanos de cidades médias. Nos anos 1990 Sobral passou por um novo e mais robusto processo de industrialização, momento em que foi instalado um polo calçadista na cidade, baseado na construção de uma unidade fabril da Grendene, empresa que tem sede no Rio Grande do Sul (PEREIRA JÚNIOR, 2010). Outras indústrias se instalaram em Sobral, como a indústria cimenteira Votorantim, gerando uma nova dinâmica de organização do espaço urbano de Sobral. Nesse período, a cidade de Sobral viveu seu apogeu no crescimento urbano. Contudo, com a prosperidade vieram os problemas urbanos, especialmente, aqueles ligados à degradação do rio Acaraú.

Ferreira (2010) desta que nos anos 2000, durante a gestão Cid Gomes à frente da Prefeitura de Sobral, a margem esquerda do rio Acaraú, em quase 3 km no espaço urbano de Sobral, foi alvo de uma intensa urbanização (Figura 4), com a construção de diversos equipamentos urbanos, como por exemplo, o museu MADI, a biblioteca pública municipal e a Escola de Cultura, Comunicação, Ofícios e Artes (ECCOA). Além desses equipamentos, alguns restaurantes também se instalaram às margens do rio Acaraú (AGUIAR JÚNIOR, 2005). Enquanto isso, a margem direita passou a ser ocupada por residências sem interligação com a rede pública de coleta de esgotos, gerando emissões de efluentes domésticos diretamente no rio Acaraú (Figura 5).

Figura 4 – Imagens da margem esquerda do rio Acaraú antes e depois da urbanização ao longo dos anos 2000.



Fonte – Prefeitura Municipal de Sobral.

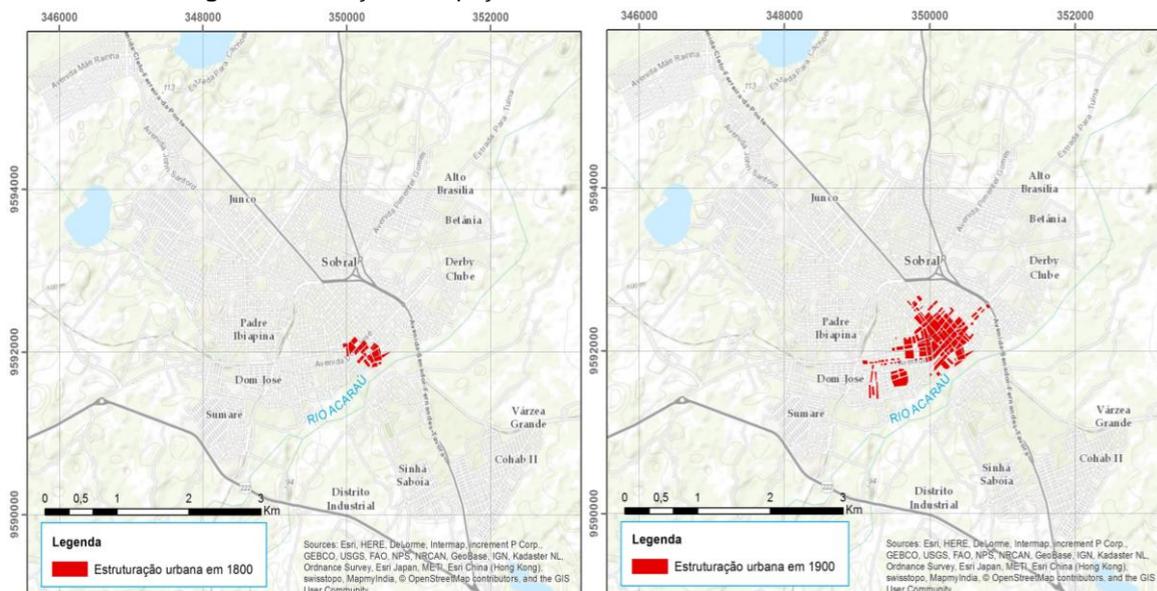
Figura 5 – Margem direita do rio Acaraú ocupada por residência sem interligação com a rede coletora de esgoto.

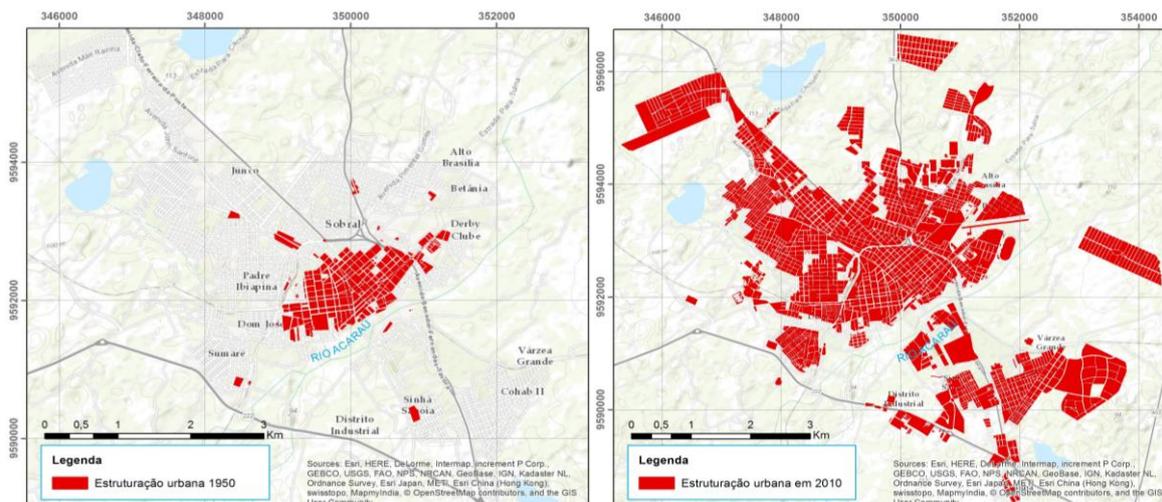


Atualmente é possível observar que as margens do rio estão artificializadas e impermeabilizadas, tornando o ecossistema ribeirinho mais vulnerável. Isso contribui para o aumento do assoreamento do rio, bem como para os desastres naturais, como as cheias (a exemplo das ocorridas em 2004 e 2009), cada vez mais comuns e com maior intensidade nos períodos chuvosos. Outro grande problema observado oriundo do intenso processo de urbanização da cidade são os esgotos domiciliares “clandestinos” e a presença de resíduos sólidos ao longo do rio, contribuindo para acelerar o processo de eutrofização observado em alguns setores do rio.

Entre os anos de 1900 e 2010 (Figura 6), a cidade de Sobral teve um forte crescimento do seu espaço urbano, ocupando quase por completo a região à beira-rio e as áreas em direção à Serra da Meruoca. Em 2018, Sobral tem uma população estimada pelo IBGE de 206.644 habitantes, estando entre os sete municípios de maior PIB do Ceará. Trata-se da maior cidade da região Norte, sendo polarizadora da Região Metropolitana de Sobral (RMS), formada por mais 17 municípios.

Figura 6 – Evolução do espaço urbano de Sobral entre os anos de 1900 e 2010.





Fonte – Adaptada da base cartográfica do Plano Diretor Participativo de Sobral de 2014.

O processo de urbanização da cidade de Sobral constitui um importante vetor de alterações dos parâmetros de qualidade de água do rio Acaraú. Segundo dados do sistema de Informação da Atenção Básica (SIAB), mais de 30% das famílias, em Sobral, não possuem interligação de suas residências com a rede de esgoto. Em 11% dos casos, o esgoto escorre a céu aberto, inclusive na região do rio Acaraú (Figura 7).

Figura 7 – Galeria pluvial na margem esquerda do rio Acaraú, próxima ao terminal rodoviário, com vazão líquida contínua sem que fossem registrados índices pluviométricos, indicando possíveis ligações clandestinas de esgoto.



Decerto, o crescimento urbano sem planejamento da cidade de Sobral levou a uma situação de degradação ambiental do rio Acaraú, colaborando para o intenso processo de assoreamento do canal principal do rio, migração do canal principal do rio, estrangulamento do leito principal em alguns trechos, ocupação desordenada das margens, interligações clandestinas de águas servidas de residência não interligadas à rede de esgoto e outros lançamentos de efluentes não tratados diretamente no rio. Todos esses fatores destacados contribuem para diminuir a qualidade das águas do rio Acaraú no trecho intraurbano de Sobral.

Análise do índice de Qualidade de Água para rio Acaraú no espaço intraurbano de Sobral

Por ainda não ter passado por enquadramento, o rio Acaraú é considerado, de acordo com a resolução CONAMA 357/2005, como um rio de Classe 2, em que suas águas podem ser destinadas para abastecimento e consumo humano (isso após tratamento convencional e proteção das comunidades aquáticas), para irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto ou primário, para aquicultura e atividade de pesca.

Como já era esperado, os valores de IQA calculados indicaram uma forte influência da sazonalidade climática da região, onde as melhores qualificações foram observadas durante a quadra invernososa e a pré-estação chuvosa, sendo a qualidade “Aceitável” observada em 48,6% das amostras, a qualificação foi “Boa” em 34,3% e “Ruim” em 17,1%, ou seja, em mais de 80% do tempo as águas do rio Acaraú se mantiveram variando de boa a aceitável. As concentrações ruins da qualidade de água se agruparam, especialmente, no ano de 2016, como reflexo de um período de quase cinco anos de seca no Estado do Ceará.

No período de estiagem, a situação é oposta e agravada pela falta de chuvas. Mais de 53% das amostras foram qualificadas como sendo “Ruins”, enquanto a soma das amostras que foram qualificadas como “Boas” e “Aceitáveis” foi de pouco mais de 46%. Nesse caso, a média dos valores não representaria a realidade observada, pois para ambos os períodos, a qualificação geral seria de “Aceitável” – quadra invernososa (IQA=46) e estiagem (IQA=41). Os valores integrais são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores da ponderação do IQA para rio Acaraú entre os meses de março de 2015 e março de 2016.

Quadra Invernososa e Pré-estação chuvosa							
Pontos de coleta	Mar/15	Abr/15	Mai/15	Jun/15	Jan/16	Fev/16	Mar/16
Pt1	52	61	68	66	52	62	52
Pt2	42	49	45	46	40	50	40
Pt3	51	49	44	32	49	30	23
Pt4	59	61	63	56	30	37	26
Pt5	51	56	54	44	37	37	25
Estiagem							
	Jul/15	Ago/15	Set/15	Out/15	Nov/15	Dez/15	
Pt1	74	73	73	78	67	71	
Pt2	49	36	30	49	52	37	
Pt3	30	30	23	25	26	23	
Pt4	35	37	33	27	27	26	
Pt5	39	49	37	30	26	25	

Outra relação interessante de ser observada no rio Acaraú é a variação do IQA a partir da sua relação com sistema fluvial intraurbano, sendo bem evidente sua relação com o nível de urbanização da cidade. Nesse caso, destacam-se os resultados do Pt1, Pt3 e Pt5. O Pt1 é a entrada do sistema, estando localizado em um setor que não sofre influência da urbanização. Em mais de 90% do tempo (quadra invernososa e estiagem), esse trecho do rio permanece com suas águas com nível “Bom”. O IQA médio é de 65, refletindo bem suas condições ambientais. Também é importante destacar que nesse trecho do rio Acaraú não há modificações no canal principal, e tampouco degradação das suas margens.

O Pt3 representa o trecho intraurbano do rio Acaraú, onde as margens encontram-se totalmente artificializadas pela intensa urbanização. O canal principal já sofreu intervenções de dragagens (Figura 8A), há o aporte de águas advindas de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) e de algumas residências que não estão ligadas à rede pública de esgoto. Também ocorre a dessedentação de animais e a prática de lavagem de roupa diretamente no rio (Figura 8B). Todos estes fatores contribuem diretamente para um IQA médio de 33, com qualificação de “Ruim” em quase 70% do tempo.

Figura 8 – Formas de ocupação (A) e uso (B) das margens do rio Acaraú no trecho correspondente ao Pt3. Na margem direita (A) encontram-se residências sem ligação com a rede pública de esgoto e atividades de lavagem de roupas (B).



O Pt5 indica a saída do sistema. Nele ainda se observam influências antrópicas na qualificação das águas em “Aceitáveis” (IQA=39) em 69% do tempo. No restante, o IQA foi apontado como “Ruim”, e isso se deve às interferências no canal principal do rio, propiciadas pelo intenso processo de assoreamento e pela diminuição da vazão por conta de uma barragem construída no Pt4, situações que diminuem a capacidade de autodepuração e diluição de possíveis efluentes pelo rio Acaraú. Vasco (2010) e Coutinho (2012) destacaram que o assoreamento pode contribuir para o aumento da turbidez da água, aumento da temperatura da água, diminuição da velocidade das correntes e diminuição do percentual de oxigênio dissolvido da água.

Analisando individualmente o comportamento dos parâmetros utilizados na ponderação do IQA na totalidade dos cinco pontos de monitoramento, observa-se que alguns deles estavam em desacordo com a legislação ambiental vigente (Conama 357/05) em algum momento do monitoramento: o oxigênio dissolvido, a demanda bioquímica de oxigênio, os sólidos suspensos totais, a amônia, o nitrato, o nitrito, a clorofila “A”, o fósforo total e o coliforme termotolerante. Desses, os que mais chamaram a atenção foram OD, que permaneceu 63,1% do tempo fora do padrão normal estabelecido, a DBO em 53,8%, o NH₄ em 67,7%, o P-total em 90,8% (pior situação observada) e o Ct que permaneceu 40% do tempo fora dos padrões de rios classe 2.

Os parâmetros que apresentaram maior média e desvio padrão foram os SST e o Ct, enquanto o NO₂, NO₃ e o P-total apresentaram os maiores valores para o coeficiente de variação. As variáveis temperatura e pH registraram os menores valores para desvio padrão e coeficiente de variação (Tabela 4). Nessa relação, é possível observar que quanto mais alto for o coeficiente de variação, mais o parâmetro apresenta valores inconstantes ao longo do sistema fluvial (entrada, intraurbano e saída). A essa situação se associam, ainda, as condições hidroclimáticas da região e as formas de uso e ocupação do rio Acaraú, que influenciam diretamente no seu IQA.

Tabela 4 – Análise descritiva dos parâmetros analisados no IQA do rio Acaraú.

Parâmetro	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Coef. Variação (%)
Temp.	28,6	1,5	26,8	35	5,1
pH	7,2	0,5	5,2	8,8	7,4
Turb.	26,3	24,3	2,8	85	92,5
OD	4,5	2,5	1	11,2	56,1
DBO	9,9	9	1,1	29	91
SST	165,2	221,4	12	780	134
NH ₄	4,7	6	0,1	18	127,5
NO ₂	0,5	1,3	0	8	255,6
NO ₃	1,2	2,5	0	10	218
CHLA	11,2	8,8	5	45	78,7
P-total	6,5	7	0,02	22,5	108,3
Ct	1013	727,8	110	2950	71,9

Outra análise importante na interpretação dos resultados dos parâmetros que integram o produto ponderado do IQA é a definição de uma matriz de correlação. Essa matriz possibilitou uma análise simultânea da associação entre todas as variáveis utilizadas no cálculo do IQA, permitindo indicar na Tabela 5 as principais dependências entre as variáveis.

Tabela 5 – Matriz de correlação dos parâmetros do IQA do rio Acaraú.

	Temp.	pH	Turb.	OD	DBO	SST	NH4	NO2	NO3	CHLA	P-total	Ct
Temp.	1,000											
pH	0,028	1,000										
Turb.	-0,234	-0,163	1,000									
OD	0,087	0,138	-0,024	1,000								
DBO	-0,181	-0,135	0,293	-0,786	1,000							
SST	-0,046	-0,065	0,760	0,295	-0,074	1,000						
NH4	-0,203	-0,108	0,162	-0,298	0,460	-0,133	1,000					
NO2	-0,058	-0,052	0,069	-0,267	0,397	-0,102	0,068	1,000				
NO3	-0,159	-0,096	0,297	-0,337	0,360	0,028	0,067	0,392	1,000			
CHLA	-0,160	-0,132	0,448	-0,363	0,426	0,149	0,048	0,133	0,587	1,000		
P-total	-0,165	-0,054	0,280	-0,684	0,895	-0,043	0,427	0,399	0,400	0,462	1,000	
Ct	-0,263	-0,082	0,462	-0,485	0,564	0,120	0,386	0,127	0,449	0,573	0,594	1,000

* Valores positivos e negativos destacados em verde e laranja respectivamente indicam uma correlação variando de forte (0,7 a 0,9) a moderada (0,5 a 0,7). Fonte: elaborado pelos autores.

Observando os valores da correlação de Person na tabela 5, verifica-se que as variáveis como turbidez, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, clorofila "A" e fósforo total apresentaram valores mais significativos, que indicam correlações variando de forte a moderada. As demais variáveis apresentaram correlações que variaram de fracas (0,3 a 0,5) a inexistentes (0 a 0,3). Já a correlação muito forte (> 0,9) foi ausente em todas as observações.

As correlações positivas ocorrem quando ambas as variáveis aumentam simultaneamente os seus valores, como ocorreu na relação entre DBO e P-total (0,895) e Turb. e SST (0,760). Essas quatro variáveis, quando encontradas em quantidade que excedam os padrões de normalidade, exercem papel importante no processo de eutrofização das águas, como ocorre no rio Acaraú.

A variável que mais apresentou relações positivas foi o Ct, variando com a DBO, a CHLA e o P-total. Os resultados estão em concordância com as observações da Tabela 4, indicando fortemente uma relação com efluentes domésticos, pois altos valores de coliformes termotolerantes estão, em geral, ligados à presença de fezes humanas e de animais homeotérmicos.

A correlação de Pearson negativa foi observada na associação do OD com a DBO (-0,786) e P-total (-0,684). Nesse caso, diferentemente da correlação positiva, os valores negativos indicam uma correlação em que os valores são inversamente proporcionais, isto é, quando ocorre aumento da DBO ou do P-total, há diminuição dos teores de OD, representando bem as condições já descritas na literatura pertinentes para essa relação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fatores hidroclimáticos e de uso e ocupação, ao longo do trecho intraurbano do rio Acaraú em Sobral, influenciam diretamente no Índice de Qualidade de Água desse rio, favorecendo as qualificações de "Aceitável" e "Boa", especialmente, no período que envolve a quadra-invernal e a pré-estação chuvosa. No período de estiagem, a principal qualificação observada foi de "Ruim".

Essas observações deixam claro que a sazonalidade climática é fator primordial na determinação da qualificação do IQA, pois as chuvas favorecem a renovação das águas, aumentam a capacidade

de autodepuração e favorecem a estratificação térmica da coluna de água, que por consequência, favorece a oxigenação das águas que contribuem para que tenham melhor qualidade.

Observando a variação longitudinal dos valores de IQA, verificou-se que os melhores índices estão associados à região com menor interferência antrópica, ou seja, com menor grau de urbanização, o qual ocorreu apenas no Pt1, onde o IQA se manteve sempre “Bom” ao longo dos treze meses de monitoramento. O mesmo não se pode afirmar para o trecho intraurbano (entre o Pt2 e o Pt4) do rio Acaraú em Sobral, em que a qualificação “Ruim” apareceu com uma frequência maior do que as demais qualificações, evidenciando diretamente a interferência da urbanização desse setor. Já o trecho de saída do sistema fluvial, mesmo com um grau de urbanização um pouco maior que o trecho de entrada do sistema, apresentou condições mistas, variando de “Ruim” a “Boa”. Assim, pode-se inferir que as condições de urbanização também influenciam diretamente no IQA do rio Acaraú.

O uso de parâmetros estatísticos (desvio padrão) e analíticos (correlação de Pearson) permitiram identificar as principais variáveis que influenciaram na composição do IQA do rio Acaraú: OD, DBO, NH₄, P_{total} e CT. Já melhor correlação positiva foi entre o DBO e P_{total}, a negativa foi entre o OD e a DBO, parâmetros que precisam ser monitorados a fim de se identificar as fontes de origem dessas variáveis.

De uma forma geral, existem diversas fontes de contribuição do meio urbano para o aquático que interferem na IQA, especialmente no espaço intraurbano da cidade de Sobral. Assim, surge um grande desafio para o poder público: o de gerenciar de forma sustentável a relação rio-cidade em Sobral, que envolve estratégias para a redução da emissão de poluentes em direção ao rio e medidas de caráter preventivas e corretivas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Mestrado Acadêmico em Geografia da UVA; ao Laboratório de análise de água do IFCE em Sobral pelo auxílio nas análises laboratoriais; à FUNCAP pela concessão da bolsa de mestrado ao o primeiro autor. Ao Rafael Pereira Maciel pela tradução do resumo para o inglês e ao professor Simon Connor (natural de língua inglesa) pela revisão final. Ao Carlos de Araújo Farrapeira Neto pela tradução do resumo para o espanhol e ao professor Francisco Borja Barrera (natural de língua espanhola) pela revisão final.

REFERÊNCIAS

AGUIAR JÚNIOR, P. R. A cidade e o rio: produção do espaço urbano em Sobral-Ceará. 2005. 199 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.

APHA, AWWA WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th edition. Washington D.C. American Public Health Association, 2005. 953p.

ARAGÃO, F. .P . A estruturação urbana de Sobral na segunda metade do Século XX, a cidade para além da cidade formada pelo rio e a ferrovia. 2014. 156 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie. Fortaleza-CE.

ASLHASHEMI, A.; TAGHIPOUR, H. Water quality index. The Application of Chemistry in Environment, v.1, n.4, p. 1-5, 2010.

BARBOSA, F. A. R. Programa brasileiro para conservação e manejo de águas interiores: síntese das discussões. Acta Limnologica Brasiliensia, Botucatu, v. 5, n. 1, p. 211-222, 1994.

BARBOSA, M. E. Sobral Patrimônio Nacional. Sobral: Prefeitura Municipal, 2000.

BATEMAN, I. J.; COLE, M. A.; GEORGIU, S.; HADLEY, D. J. Comparing contingent valuation and contingent ranking: A case study considering the benefits of urban river water quality improvements. Journal of Environmental Management, v. 79, p. 221-231, 2006.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.06.010>

BORDALO, A. A.; NILSUMRANCHIT, W.; CHALERMWAT, K. Water quality and uses of the Bangpakong River (Eastern Thailand). *Water Res.*, v. 35, n. 15, p. 3635-3642, 2001.

[https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00079-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00079-3)

BRASIL, Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=370>> Acesso em: 10 out. 2017.

CARVALHO, A. R.; MINGANTE SCHLITTLER, F.H.; TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. *Revista Química Nova*, v. 23, n. 5, p. 618-622, 2000.

<https://doi.org/10.1590/S0100-40422000000500009>

Companhia de Gestão de Recursos Hídricos - COGERH. Comitê participativo de bacia hidrográfica-Acaraú, 2009. Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br/eixos-de-atuacao/gestao-comite-da-bacia-hidrografica-do-acarau>. Acesso em 02 out.2015.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Relatório da qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2012/CETESB. São Paulo: CETESB. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-/relatorios>>. Acesso em 07 abr. de 2014.

DEBELS, P.; FIGUEROA, R.; URRUTIA, R.; BARRA, R.; NIELL, X. Evaluation of Water Quality in the Chillán River (Central Chile) Using Physicochemical Parameters and a Modified Water Quality Index. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 110, Issue 1, p. 301-322, 2005.

<https://doi.org/10.1007/s10661-005-8064-1>

FERREIRA, D. L. Espaço urbano e modernidade, uma discussão que não se encerra, se atualiza: em foco Sobral [CE]. *Revista Labor e Engenharia*, v. 4, n. 3, p. 1-11, 2010.

<https://doi.org/10.20396/lobore.v4i3.74>

Fundação Nacional de Saúde - FUNASA. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. In: Brasil, Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde, Brasília, 2014. 112 p.

HOLANDA, V. C. C. Modernizações e espaços seletivos no Nordeste brasileiro. Sobral: Conexão Lugar/Mundo. 2007. 246 f. Tese (Doutorado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

LEGGETT, C. G.; BOCKSTAEL, N. E. Evidence of the Effects of Water Quality on Residential Land Prices. *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 39, p. 121-144, 2000.

<https://doi.org/10.1006/jeem.1999.1096>

LEMOES, W.; E, D. Monitoramento e gestão da qualidade da água em reservatórios incorporando processos hidrodinâmicos e climáticos de regiões tropicais semiáridas. 2011. 164 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

LIRA, J. M. Sobral na História do Ceará e a personalidade do Padre Ibiapina. Centro de Pesquisas Históricas e Geográficas de Sobral. Sobral: Departamento de Imprensa Oficial, 1976.

MERTEN, G. H; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. *Revista de Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, v. 3, n. 4, p. 33-38, out/dez, 2002.

PAULA, D. P.; LEITE, R. D. AQUINO FILHO, E. B.; CAVALCANTE, S. C.; MONTEIRO, N.;

- ABREU, Y.; FARRAPEIRA NETO, C. A. Saneamento básico e qualidade ambiental: uma análise dos impactos ambientais do Rio Acaraú em Sobral-CE. In: Caracristi, I. (Org). Estudos socioambientais e climas intrarregionais do Estado do Ceará: resultados interdisciplinares das pesquisas do Laboratório de Estudos Ambientais (LEA-UVA). Sobral, Ceará, Edições UVA, 2014. p. 43-77.
- PEREIRA JR, E. A. Espaço, industrialização e acumulação capitalista: uma abordagem para o nordeste e o ceará. *Revista Mercator*, v. 2, n. 4, p. 65-76, 2003.
- PEREIRA JR, E. A. Velhos modelos produtivos e reestruturação fordista na indústria, no baixo Jaguaribe, Ceará. *Revista Mercator*, v. 9, n. 18, p. 53-70, 2010.
<https://doi.org/10.4215/RM2010.0918.0005>
- PMSB. Plano Municipal de Saneamento Básico de Sobral-Ceará. Diagnóstico 2013.
- RAMAKRISHNAIAH, C. R.; SADASHIVAIAH, C.; RANGANNA, G. Assessment of Water Quality Index for the Groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. *Journal of Chemistry*, v. 6, Issue 2, p. 523-530, 2009.
<https://doi.org/10.1155/2009/757424>
- ROCHA, H. O lado esquerdo do Rio. São Paulo, Hucitec, 2003. 229 p.
- SÁ, M. C. O uso do território pelos serviços de saúde: um estudo de Sobral-Ceará. *Revista GeoUECE*, v. 3, n. 5, p. 233-234, 2014.
- SIMEONOV, V.; EINAX, J.; STANIMIROVA, I.; KRAF, J. Environmental modeling and interpretation of river water monitoring data. *Anal. Bioanal. Chem.* v. 374, p.898-905, 2002.
<https://doi.org/10.1007/s00216-002-1559-5>
- STRIEDER, M. N.; RONCHI, L. H.; STENERT, C.; SCHERER, R. T. Medidas biológicas e índices de qualidade da água de uma microbacia com poluição urbana e de curtumes no Sul do Brasil. *Revista Acta Biologica Leopoldensia*, v. 28, n. 1, p.17-24, janeiro/abril, 2006.
- TOLEDO, L. G. de; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. *Sci. agric. [online]*, v. 59, n. 1, p. 181-186, 2002.
<https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000100026>
- TONG, S. T. Y.; CHEN, W. Modeling the relationship between land use and surface water quality. *Journal of Environmental Management*, v. 66, p. 377-393, 2002.
<https://doi.org/10.1006/jema.2002.0593>
- VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgotos- Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte, UFMG. v.2. 1996.

Recebido em: 20/03/2018

Aceito para publicação em: 22/10/2018