

Análise das condições hidroclimáticas, hidrogeológicas e morfométricas da bacia hidrográfica do rio Guaribas, Ceará, Brasil: subsídios para a gestão ambiental local

Francisco Otávio Landim Neto

✉ otaviogeo@oi.com.br

Adryane Gorayeb

✉ adryanegorayeb@yahoo.com.br

Narcélio de Sá Pereira Filho

✉ narceliosapereira@gmail.com

Resumo

A bacia hidrográfica é reconhecida como unidade para o manejo e gestão dos recursos hídricos;. Por ser bem delimitada, facilita a identificação dos processos de funcionamento do sistema hídrico. Nesse sentido, este estudo realiza a caracterização das condições hidroclimáticas, hidrogeológicas e morfométricas da bacia do rio Guaribas, setor oeste do Estado do Ceará, região Nordeste do Brasil. Esta bacia passa por uma série de transformações ambientais, resultantes da ação inerente à instalação do Complexo Industrial Portuário do Pecém (CIPP). Para tanto, foram analisadas (i) médias pluviométricas e de temperatura do período de 1974 a 2010 do município de São Gonçalo do Amarante, (ii) zonas de descarga, recarga e sentido do fluxo subterrâneo em um aquífero e (iii) características morfométricas. Conforme os resultados obtidos, é possível afirmar que o período de maior intensidade pluviométrica acontece entre os meses de fevereiro e abril, quando ocorre a reposição da água no solo, propiciando a capacidade máxima de armazenamento. Já a deficiência hídrica ocorre durante nove meses, iniciando-se em maio e prolongando-se até janeiro. Em relação às condições hidrológicas, é possível afirmar que as cotas piezométricas na área têm valores médios que variam de 2 a 30 metros, indicando a grande variabilidade de cotas do aquífero livre na área, o que potencializa a utilização de recursos hídricos subterrâneos. Conforme análise das características morfométricas da bacia hidrográfica, é possível afirmar que ela se mostra pouco susceptível a enchentes em condições normais de precipitação, apresenta baixa capacidade de drenagem e que o canal principal da bacia tende a ser transicional, entre retilíneo e tortuoso.

* * *

PALAVRAS-CHAVE: bacia hidrográfica, hidroclimatologia, morfometria, hidrogeologia.

Introdução

A ação das condições climáticas em uma bacia hidrográfica se dá por meio da influência das chuvas e de seu ritmo espaço-temporal. Elas impõem renovação das reservas hídricas e, como fonte fundamental de suprimento, tendem a modificar, de modo temporário, a água em superfície, no solo e no subsolo. A natureza dos terrenos exerce seus efeitos através das condições geológicas e das formações superficiais (ATTANASIO, 2004; CAMPOS; SOUSA, 2001; LANNA, 2004).

O reconhecimento dos totais pluviométricos, balanço hídrico, entre outros, são aspectos de fundamental importância para qualquer política de planejamento de recursos naturais e econômicos de uma região, pois fornecem parâmetros para a avaliação do potencial hídrico de que podem dispor os programas de irrigação de terras e do abastecimento de água para o consumo da população e dos níveis de disponibilidade dos recursos hídricos (QUEIROZ, 2010).

Considerando-se que as condições climáticas influenciam diretamente na disponibilidade de água e visando compreender a dinâmica hidrológica local, foi realizada a análise morfométrica, que forneceu importantes indicadores para a compreensão dos recursos hídricos. Nesse sentido, realizou-se um estudo baseado na análise das condições hidroclimáticas, hidrogeológicas e morfométricas da bacia hidrográfica do rio Guaribas, localizada no setor oeste do Estado do Ceará, região Nordeste do Brasil. Esta bacia passa por uma série de transformações ambientais, resultantes da ação inerente à instalação do Complexo Industrial Portuário do Pecém (CIPP). Esta unidade hidrológica abrange um mosaico diversificado de paisagens, tendo como uma de suas principais características um grande potencial hídrico voltado ao abastecimento humano, às práticas agrícolas e industriais, dentre outras.

Procedimentos metodológicos

A caracterização das condições climáticas da bacia do rio Guaribas tem como base os dados referentes ao Município de São Gonçalo do Amarante, fornecidos pela Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME). Foram utilizadas as informações referentes à estação de São Gonçalo do Amarante, onde foram analisadas as médias pluviométricas e de temperatura do período de 1974 a 2010.

A análise do balanço hídrico é de considerável importância para definir a disponibilidade hídrica de uma certa região. O conceito de balanço hídrico avalia o solo como um reservatório fixo, onde a água armazenada somente é removida pela ação das plantas. Além da evapotranspiração potencial, o balanço hídrico

possibilita estimar a evapotranspiração real (ETR), o excedente hídrico (EX), a deficiência hídrica (DEF), e as fases de reposição (ARM) e retirada de água no solo. Para a análise do balanço hídrico da área, foram considerados apenas os dados referentes à série pluviométrica do posto de São Gonçalo do Amarante. O *software* SENTELHAS foi utilizado para a realização do balanço hídrico.

Uma das formas mais eficientes de obter informações de caráter hidrogeológico é a elaboração de um inventário. Com efeito, Lousada (2011) elaborou um cadastro de poços tubulares rasos e profundos, do tipo amazonas (cacimbões) e lagoas (representam a exposição do lençol freático) para comporem fonte de informação de extrema importância no que se refere às condições de ocorrência e circulação da água subterrânea nos Distrito do Pecém e Taíba. A partir das informações extraídas de Lousada (2011), procedeu-se a efetivação do mapa piezométrico da bacia hidrográfica do rio Guaribas, sendo possível o conhecimento de zonas de descarga, recarga e sentido do fluxo subterrâneo em um aquífero.

O mapa inerente ao sentido de fluxo foi obtido com base nos valores dos níveis estáticos (freáticos para o aquífero livre em questão) e da altimetria. Inicialmente, realizou-se um amplo cadastro de poços na área selecionada. Então, algumas dessas unidades (poços) foram submetidas a um nivelamento topográfico.

As características físicas de uma bacia hidrográfica constituem-se de grande importância na verificação de seu comportamento hidrológico. Visando uma caracterização mais detalhada do ponto de vista quantitativo e objetivando maior compreensão dos fatores e processos ocorrentes na bacia hidrográfica do rio Guaribas, optou-se por efetuar a análise morfométrica de alguns índices (Quadro 1), tendo por base estudos de Horton (1945), Strahler (1952), Miller (1953), Wisler e Brater (1964), Christofolletti (1980), Lima (1968) e Rocha (1997).

Quadro 1: Índices, fórmulas e conceituação dos índices morfométricos utilizados.

Índice	Fórmula	Conceituação
Relação de bifurcação (Rb)	$Rb = (Nu/Nu + 1),$ onde Rb = (Nu) relação entre o número total de segmentos de determinada ordem; (Nu + 1) número total de segmentos da ordem imediatamente superior.	Estes valores indicam o grau de dissecação da bacia hidrográfica. Quanto maior for o índice de bifurcação, maior será o grau de dissecação. Valores abaixo de 2 indicam relevo colinoso.
Relação entre comprimento médio dos canais de cada ordem (Lm)	$Lm = Lu/Nu,$ onde (Lu) comprimentos de canais de cada ordem; (Nu) número de canais de cada ordem.	Essa relação informa como se configura a composição da drenagem, sendo que os comprimentos médios dos canais de cada ordem estão organizados segundo uma série geométrica direta, cujo primeiro termo é o comprimento médio dos canais de primeira ordem, e a razão entre os comprimentos médios.

Índice	Fórmula	Conceituação
Extensão do percurso superficial (Eps)-	$Eps = 1/2Dd,$ onde Eps= extensão do percurso superficial e Dd =densidade de drenagem.	Representa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente. O resultado obtido também serve para caracterizar a textura topográfica.
Índice de circularidade (Ic)	$Ic = 12,57.A/ P^2,$ onde A é a área total da bacia e Ac é a área do círculo de perímetro igual ao da área total da bacia.	Representa a relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da área total da bacia, que, na expansão areal, melhor se relaciona com o escoamento fluvial. Informa o quanto é circular ou alongada uma bacia hidrográfica. As bacias mais circulares apresentam maior risco de provocar enchentes súbitas no canal principal, quando precipitações extensas afetam toda a extensão da bacia. Já nas bacias mais alongadas, o mesmo fenômeno pluviométrico enseja um escoamento bem mais distribuído temporalmente no canal principal, o que diminui o risco de enchentes, embora o nível da vazão seja alto e durável.
Densidade hidrográfica (Dh)	$Dh = (n/A),$ onde n é o número de canais e A é a área total da bacia.	Esse parâmetro relaciona o número de rios ou canais com a área da bacia hidrográfica. Expressa a magnitude da rede hidrográfica indicando sua capacidade de gerar novos cursos d'água em função das características pedológicas, geológicas e climáticas da área. A densidade hidrográfica e a densidade de drenagem referem-se a aspectos diferentes da textura topográfica.
Densidade de drenagem (Dd)	$Dd = (c/A),$ onde C é o comprimento total dos canais e A é a área total da bacia.	Essa variável se relaciona com os processos climáticos atuantes na área estudada, os quais influenciam o fornecimento e o transporte de material dendrítico ou indicam o grau de manipulação antropogênica. Para um mesmo tipo de clima, a densidade de drenagem depende do comportamento hidrológico das rochas. Nas rochas mais permeáveis, as condições para o escoamento superficial são dificultadas, possibilitando maior infiltração da água no solo conseqüentemente, diminui a densidade de drenagem.
Coefficiente de manutenção (Cm)	$(Cm = 1/Dd \times 1000),$ onde Dd é a densidade de drenagem.	Onde Dd é a densidade de drenagem. Esse parâmetro fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. É considerado como um dos índices mais importantes do sistema de drenagem.
Coefficiente de compacidade (Cc)	$Kc = P/ \sqrt{A} \cdot 0,28$ Kc o coeficiente de compacidade; P o perímetro (m) e A a.	Constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho. Informa se a bacia é susceptível a enchentes.
Índice de sinuosidade (Is)	$Is = L/dv,$ onde L é o comprimento do canal principal e dv é a distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal	Relaciona o comprimento verdadeiro do canal (projeção ortogonal) com a distância vetorial (comprimento em linha reta) entre os dois pontos extremos do canal principal. Objetiva distinguir os canais que apresentam meandros. Os meandros crescem à medida que a corrente erode sua margem exterior e deposita alvíões no interior.

Fontes: Christofolletti (1980), Stralher (1952), Freitas (1952), Shumm (1963), Villela e Matos (1975).

Uma vez estabelecidas às relações e comparações entre os dados hidrológicos conhecidos, pode-se determinar seus valores em secções ou na área de uma bacia hidrográfica. Com efeito, pode-se afirmar que os elementos físicos constituem a mais conveniente possibilidade de se conhecer a variação no espaço dos elementos do regime hidrológico (VILLELA; MATTOS, 1975).

A área corresponde à projeção horizontal da superfície de uma bacia hidrográfica inclusa entre os divisores de água (VILLELA; MATOS, 1975). Este parâmetro foi calculado com arrimo nos dados extraídos de uma base cartográfica de 2007 fornecida pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), por leitura direta no programa ArcGis versão 10.0. Garcez e Alvarez (1988) informam que a área da bacia é um dos fatores determinantes do fluxo de água a uma seção específica de um canal fluvial.

A forma da bacia foi identificada por meio do índice de circularidade, que corresponde a uma relação entre a área de uma bacia e a área de um círculo de mesmo perímetro. As bacias hidrográficas com forma relativamente circular tendem a escoar as águas de modo mais equilibrado ao longo do tempo, com um aumento gradual da vazão após as chuvas. Ao contrário, bacias alongadas podem demonstrar aumento abrupto no regime fluvial, sugerindo a ocorrência de torrente sem uma determinada seção de um curso d'água após as chuvas (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O procedimento utilizado para a ordenação dos canais e identificação da hierarquia fluvial das redes hidrográficas segue a proposta de Strahler (1952). Ordenada desta forma, a rede hidrográfica de uma bacia reflete o grau de ramificação, que corresponde à ordem do trecho final do curso d'água principal, definindo a hierarquia do canal e de sua bacia. As bacias com extensas e densas redes hidrográficas possuem potencial superior de captar e transportar, em seus muitos e longos canais, as águas superficiais de suas respectivas áreas.

A densidade de drenagem é um índice determinado pela relação entre a extensão de uma rede hidrográfica e a área de sua bacia (SILVEIRA, 1997). Com a verificação do arranjo da rede hidrográfica de uma bacia, é possível estabelecer algumas relações entre a hidrografia e o substrato, de acordo com um critério geométrico e não genético, que classifica os padrões de drenagem (SUGUIO, 2003). A identificação do padrão de drenagem de uma bacia hidrográfica possibilita um reconhecimento geológico, como no padrão Dendrítico ou arborescente, onde o arranjo em planta da rede hidrográfica exprime aspecto de “ramos de árvores”, que normalmente indica uma resistência litológica uniforme.

A interpretação visual da geometria de bacias hidrográficas é muito subjetiva. Com o intuito de torná-la mais objetiva, foi elaborada uma série de parâmetros morfométricos com propostas de processos diferentes para a caracterização da forma de uma bacia hidrográfica, por meios quantitativos (VILLELA; MATTOS, 1975). Neste estudo, foram aplicados os dois últimos índices (Ic e Kc), na perspectiva de atenuar tal subjetividade circularidade (Ic), e o Coeficiente de Compacidade (Kc) com vistas a atenuar tal subjetividade geométrica que as bacias hidrográficas podem assumir.

Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponde a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1. Já um índice de circularidade igual a 0,51 representa um nível moderado de escoamento; maior que 0,51 indica que essa bacia tende a ser circular; menor que 0,51 que a bacia tende a ser mais alongada, o que favorece maior escoamento (SCHUMM, 1963).

A fisionomia que o rio exhibe ao longo do seu perfil longitudinal é descrita como retilíneo, anastomosado, meândrico e reticulado, constituindo o chamado padrão dos canais. Essa geometria do sistema fluvial resulta do canal à sua seção transversal e reflete a integração entre as variáveis, descarga líquida, carga sedimentar, declividade, largura, profundidade do canal, velocidade do fluxo e rugosidade do leito. A distinção entre os vários tipos de canais tem uma grande importância, porquanto que os processos de erosão, transporte e deposição ocorrem conforme o tipo de canal, onde a sua seção transversal reflete o inter-relacionamento da descarga com a carga sedimentar, declive, largura e profundidade, rugosidade do leito etc (CUNHA; GUERRA, 2003). De acordo com Schumm (1963), valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo, ao passo que valores superiores a 2,0 indicam que o canal tende a ser tortuoso. Os valores intermediários apontam formas transicionais, regulares e irregulares (Quadro 2). Para Guerra e Cunha (2003), as diferentes sinuosidades dos canais são determinadas muito mais pelo tipo de carga dendrítica do que pela descarga fluvial.

**Quadro 2: Classes de sinuosidade
(formas dos canais que compõem o sistema de drenagem)**

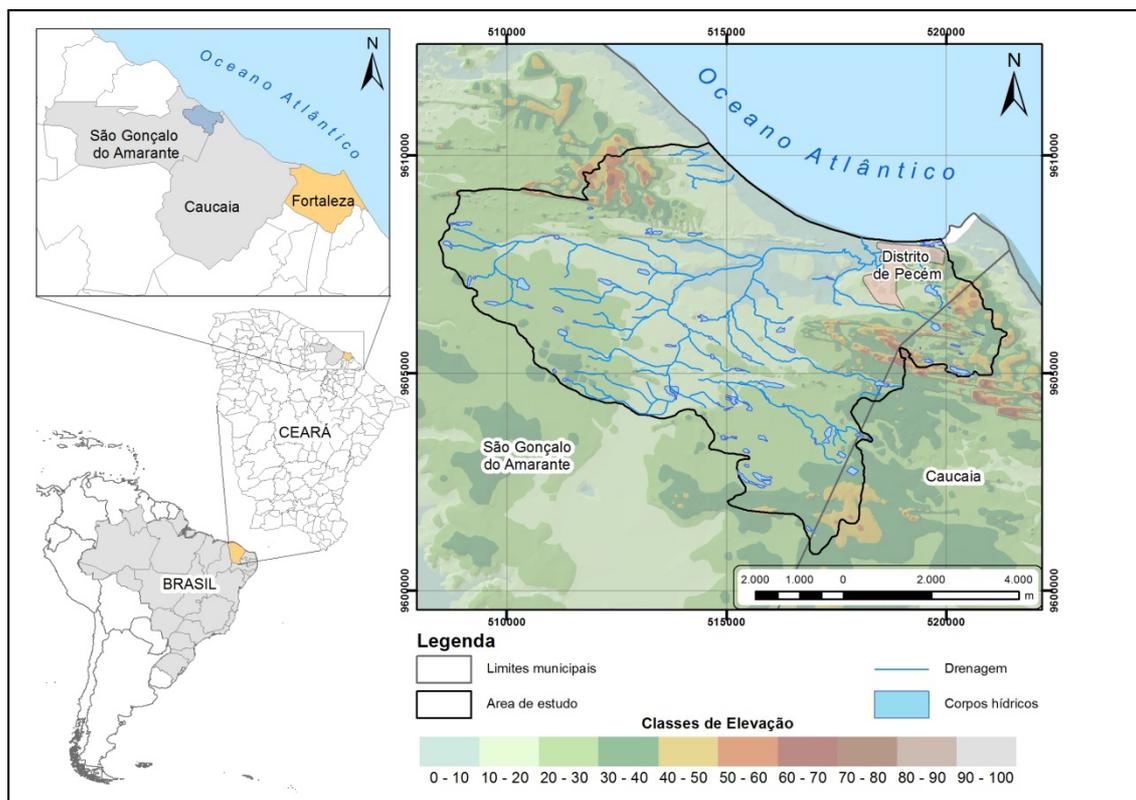
Intervalos	Forma
Is próximos a 1,0	Retilíneos
Is > 2,0	Tortuosos
Is entre 1,0 e 2,0	Transicionais

Fonte: Lana (2001).

Localização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Guaribas (Figura 1) possui 95% de área situada na porção nordeste do município costeiro de São Gonçalo do Amarante entre as coordenadas 3°36'40.75"S, 38°55'26.11"W e 3°31'32.37"S, 38°48'26.59"W, os outros 5% estão localizados a noroeste do município de Caucaia. A distância aproximada de Fortaleza é de 50km, sendo as principais vias de acesso às rodovias estaduais CE-085, que integra a área de estudo aos demais municípios litorâneos, e a CE-422, principal acesso entre Fortaleza, capital do Estado, e o Complexo Industrial Portuário do Pecém (CIPP).

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Guaribas



Fonte: Elaboração dos autores.

A área corresponde a 60,101km² e abrange três unidades de conservação: (i) a Área de Preservação Ambiental (APA) do Pecém, criada em 05 de junho de 1998 pelo Decreto Estadual nº 24.957, possui 1,2280km²; (ii) a Estação Ecológica do Pecém, criada pelo Decreto Estadual nº 30.895 de 20 de abril 2012, com área de 9,7309km²; e o (iii) Jardim Botânico instituído em 08 de março de 2003, através do Decreto Municipal nº 799/03, possuindo área de 0,1980km².

O rio Guaribas possui extensão linear de 11,596km, tem suas nascentes inter-dunares localizadas no Sítio Batateiras, e deságua no perímetro urbano da sede do

distrito do Pecém, na praia de Pecém Seus principais afluentes são: Caraúbas, Prata, Gregório que se ligam ao curso principal do rio citado.

A geologia da bacia hidrográfica é composta por um empilhamento estratigráfico da base para o topo, de rochas pré-cambrianas, sedimentos plio-pleistocênicos e quaternários (BRANDÃO, 1995). As porções norte e centro-sul da área são caracterizadas pelo domínio dos depósitos sedimentares cenozoicos, representados pelos tabuleiros litorâneos constituídos por sedimentos do Grupo Barreiras e pela planície litorânea (BRANDÃO, 1994). Esta última é caracterizada pelas feições da faixa de praia, campos de dunas móveis e fixas, paleodunas, planícies estuarinas, planícies e terraços fluviais, além de *beachrocks* e eolianitos aflorantes na faixa de praia (SOUZA, 2000).

O Terciário está representado pelos sedimentos do Grupo Barreiras, amplamente distribuídos ao longo da faixa costeira, representando uma das unidades mais importantes do Tércio-Quaternário. Como informa Brandão (1994), o Grupo Barreiras caracteriza-se por uma expressiva variação faciológica, com intercalações de níveis mais e menos permeáveis, o que lhe confere parâmetros hidrogeológicos diferenciados, de acordo com o contexto local.

Carvalho (2003) ressalta que o Grupo Barreiras pode ser definido como uma sucessão de camadas aluviais estratificadas, limitadas predominantemente por contatos gradacionais, muito embora contatos bruscos também estejam presentes. Este aspecto é marcado pela presença de canais constituídos por material cascalhoso, alternando com camadas areno argilosas e argilosas.

A planície costeira do Estado do Ceará e, conseqüentemente, a do Pecém estão vinculadas diretamente com flutuações do nível do mar durante o Quaternário, as quais controlaram a distribuição das areias, a posição e intensidade da deriva litorânea e, como consequência, o nível de erosão/deposição e a disponibilidade de material para a formação dos depósitos eólicos (MEIRELES; MAIA, 1998).

Essa unidade de paisagem, quando analisada com seus componentes intimamente integrados com os demais sistemas ambientais do rio Guaribas, evidenciou recursos ambientais fundamentais para a continuidade das práticas produtivas. Conforme Meireles, Brissac e Schettino (2012), os componentes ecológicos mostraram-se de elevada fragilidade quando analisados de modo a serem apropriados para a instalação e operação das indústrias projetadas para o Complexo Industrial Portuário do Pecém.

Condição hidroclimática e hidrogeológica da bacia hidrográfica do rio Guaribas

Os sistemas atmosféricos da região Nordeste do Brasil atuam, principalmente, nas áreas equatoriais de baixa latitude, provocando, habitualmente, estabilidade atmosférica, no período do inverno e primavera, e instabilidade na quadra sazonal do verão e outono, com a ocorrência de chuvas concentradas no quadrimestre de fevereiro a maio (MOURA, 2008).

O setor norte do Nordeste brasileiro concentra seu período chuvoso entre os meses de fevereiro e maio. Durante esta época, o principal sistema responsável pelas chuvas é a chamada Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Outros sistemas secundários, como, por exemplo, os vórtices ciclônicos de altos níveis, as linhas de instabilidade e as brisas marinhas (estas duas últimas atuam principalmente ao longo da zona costeira), são também responsáveis pelos episódios de precipitações sobre a região. Após este período, a ZCIT se desloca até o hemisfério norte e as chuvas sobre a região cessam totalmente, iniciando-se um longo período de estiagem (QUADRO et al., 1997; MARENGO e UVO, 1997).

A sazonalidade climática é bem definida e a qualidade da estação de chuvas (invernos regulares) sobre a área de estudo dependem, preponderantemente, das condições atmosféricas e oceânicas, à pequena escala, que modulam a intensidade, a fase e o movimento da ZCIT. A verificação das condições climáticas da região é importante, à medida que o clima reflete nos processos de formação geomorfológica, no regime dos rios, na disponibilidade dos recursos hídricos, na formação dos solos e na distribuição da cobertura vegetal.

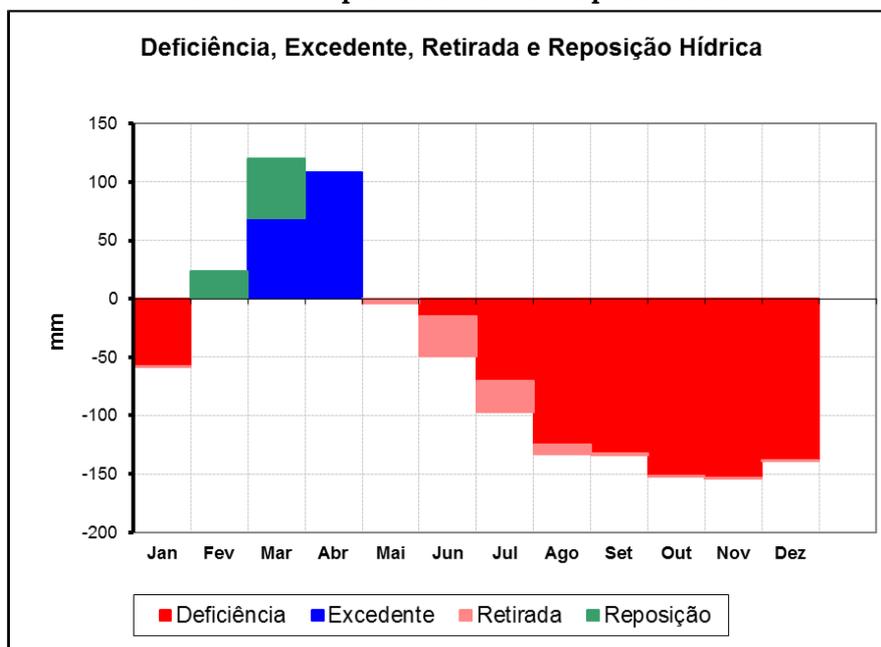
Conforme o IPECE (2012), a temperatura média do Município de São Gonçalo do Amarante corresponde a 28 °C, com tempo de insolação de 269,4 dias/ano. Exprime período chuvoso entre os meses de janeiro e maio. A localização da área, próxima à linha do equador, favorece a intensa insolação durante grande parte do ano, caracterizando-a como uma área típica de clima quente. A atuação da Zona de Convergência Intertropical estabelece a sazonalidade da precipitação, enquanto a altitude e a proximidade do oceano influenciam as condições do clima local.

O conceito de balanço hídrico avalia o solo como um reservatório fixo, no qual a água é armazenada, até o máximo da capacidade de campo, e somente é removida pela ação das plantas. Este conceito é muito utilizado em processos de zoneamento agroclimático, demanda de água para irrigação e até mesmo classificação climática (THORNTHWAITE, 1955).

A figura 2 exhibe o gráfico que apresenta variação mensal do volume de água

presente nos aquíferos, considerando-se os dados de temperatura e precipitação em série histórica de 1974 a 2010 registradas na estação meteorológica implantada no Município de São Gonçalo do Amarante.

Figura 2: Gráfico do Balanço hídrico do município de São Gonçalo do Amarante a partir da série histórica de 1974 a 2010 registradas na estação meteorológica da FUNCEME implantada no município citado.



Elaboração dos autores.

Segundo os dados do balanço hídrico do município de São Gonçalo do Amarante, percebe-se que o período de maior intensidade pluviométrica acontece entre os meses de fevereiro e abril, quando ocorre a reposição da água no solo. Conforme o grau de reposição, sucede o excedente hídrico, quando os solos já têm capacidade máxima de armazenamento.

Há uma deficiência hídrica durante nove meses, iniciando-se em maio e prolongando-se até janeiro. No município, os maiores deficit são registrados em novembro e outubro. A partir de fevereiro, têm-se um aumento nos valores de precipitação, iniciando-se um novo período de excedente hídrico.

Ao longo de toda a história da humanidade, o desenvolvimento econômico e a diversificação da sociedade resultaram em usos múltiplos e variados dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. O aumento e a diversificação dos usos da água na bacia hidrográfica do rio Guaribas resultaram numa multiplicidade de impactos, e produziu conflitos em razão de suas finalidades diversas, como agricultura de subsistência, pesca continental, consumo humano e atividades industriais e portuárias, as quais demandam quantidades e qualidades diferentes. Consoante

Vasconcelos (1999), a proibição em áreas portuárias de uso das águas para lazer e recreação vem causando a fuga de banhistas e turistas para outras praias. Água para abastecimento público, hidroeletricidade, agricultura, transporte, recreação, turismo, disposição de resíduos, indústria, todos esses usos são conflitantes (TUNDISI, 2003).

As condições hidrológicas da área de estudo estão ligadas, sobretudo, aos aspectos geoambientais. Dentre as múltiplas funções da água, destaca-se seu papel como agente modelador do relevo da superfície terrestre, controlando tanto a formação como o comportamento mecânico dos mantos de solos e rochas. As condições climáticas exercem função primordial no quadro hidrológico da bacia. Por meio das chuvas, há o abastecimento dos mananciais e a alteração da água na superfície e subsuperfície.

No que se refere aos recursos hídricos subterrâneos, os aquíferos possuem relação direta com a estrutura geológica da área, sendo que o campo de dunas composto por sedimentos arenosos inconsolidados constitui um aquífero raso, que tem como principal fonte de recarga a contribuição direta das chuvas (LISBOA, 2002). Com efeito, o Grupo Barreiras representa uma unidade de permeabilidade reduzida e compõe a base do aquífero do campo de dunas.

Conforme exposição de Lousada (2011), a recarga para o Grupo Barreiras pode ocorrer em áreas mais elevadas, com o fluxo hídrico em direção à costa, ou ainda pode ser abastecido pelo excesso de carga hidráulica presente no sistema dunas/paleodunas associada a condições satisfatórias de porosidade e permeabilidade da rocha do Grupo Barreiras, permitindo, assim, o acúmulo de água subterrânea e a consequente formação do sistema aquífero médio.

O sistema dunas/paleodunas é também caracterizado pela presença de lagoas intermitentes que, nos períodos chuvosos, com a elevação das cotas piezométricas (níveis freáticos), o aquífero assume caráter efluente, contribuindo para o aumento do volume de água das lagoas, rios e riachos (LISBOA, 2002).

O levantamento realizado no Município de São Gonçalo do Amarante registrou a presença de 421 poços, dos quais 94 são públicos e 327 particulares. No que concerne à distribuição desses poços por unidades aquíferas, verificou-se que existem 38 nas dunas. Em áreas de paleodunas, tem-se a presença de 45 poços, no Grupo Barreiras são 42 poços e o domínio cristalino é composto por 296 poços (GOLDER; PIVOT, 2005).

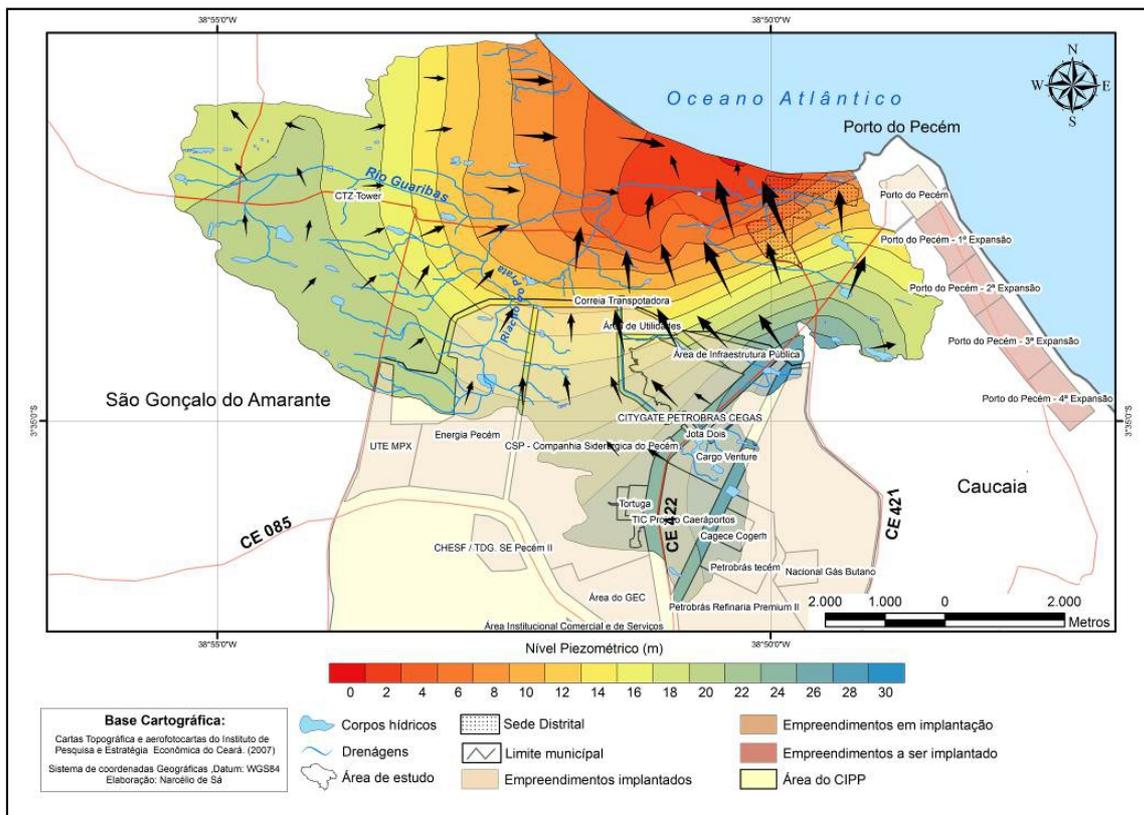
As cotas piezométricas na área têm valores médios que variam de 2 a 30 m. Esses dados indicam a grande variabilidade de cotas do aquífero livre na área,

algumas praticamente ao nível do mar. Podem, ainda, ser abordadas as profundidades rasas para os níveis freáticos verificados em muitos dos poços levantados, indicando sua tendência em aflorar quando da estação das chuvas – fato que ocorre nas lagoas presentes, as quais representam uma exposição do nível freático da região quando se encontra em sua carga hidráulica máxima (LOUSADA, 2011).

Destaca-se o fato de que na bacia hidrografia do rio Guaribas há um aproveitamento intenso do recurso hídrico subterrâneo, seja por captação em poços tubulares ou do tipo amazonas, ou ainda, por meio de captações diretas instaladas nas várias lagoas (com destaque para a Lagoa do Pecém), que expõem o nível freático à superfície.

Nas áreas topograficamente mais elevadas (dunas), os níveis piezométricos também se mostram a altitudes mais elevadas (da ordem de 30m). Nas áreas de depressões, representadas pelas calhas das principais drenagens, os níveis piezométricos mostram suas altitudes menores (da ordem de 2m). A figura 3 demonstra o fluxo da bacia hidrográfica do rio Guaribas.

Figura 3: fluxo subterrâneo da bacia hidrográfica do rio Guaribas

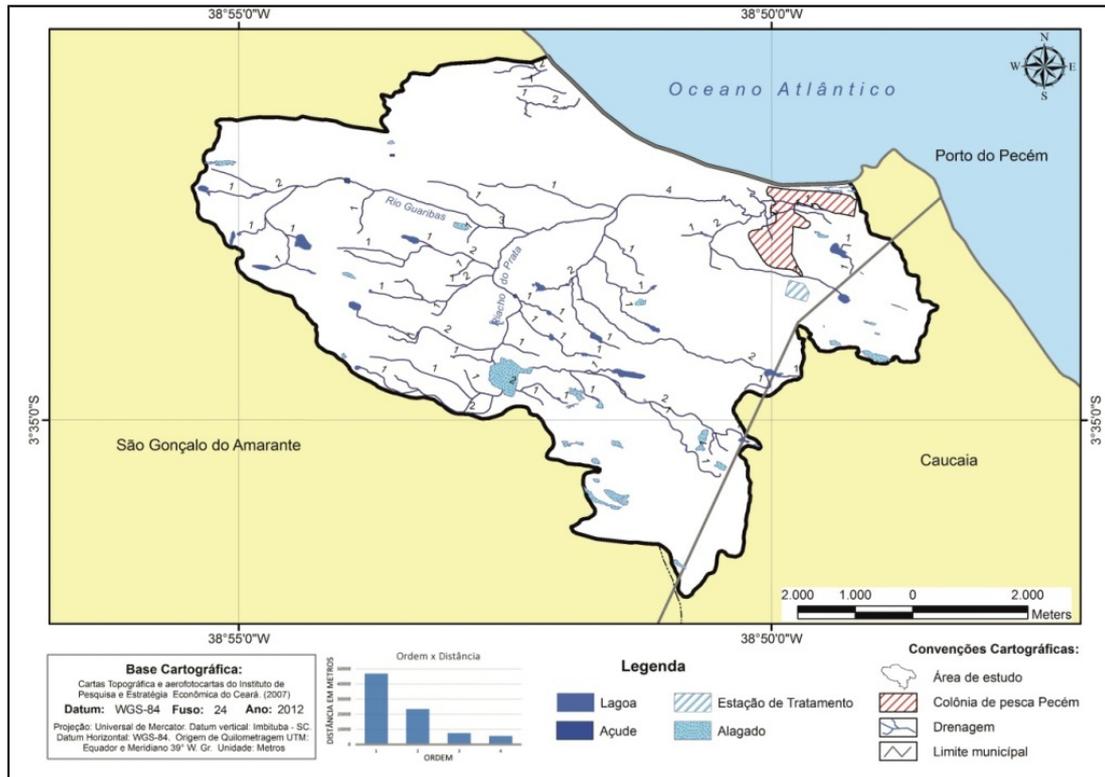


Adaptado de Louzada (2011).

Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do rio Guaribas

Em relação às características morfométricas a hierarquia fluvial corresponde ao processo de estabelecer a classificação de determinado curso de água (ou área drenada a que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica (CHISTOFOLLETI, 1980). A figura 4 espacializa a hierarquia do sistema de drenagem da bacia do rio Guaribas.

Figura 4: Hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do rio Guaribas



Elaboração dos autores.

De acordo com Fernandes (1999), os canais de drenagem de uma bacia constituem a base da hierarquização do sistema. Cada bacia hidrográfica se liga com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Com efeito, a hierarquia fornece indícios do grau de desenvolvimento de um determinado sistema de drenagem, quando a confluência entre canais resulta em aumento da ordem; por conseguinte, traz maior evolução da dinâmica hidrológica. Quanto maior a hierarquia da rede de drenagem, maior a complexidade hidrológica.

No que concerne às características morfométricas da rede de drenagem da bacia hidrográfica desse rio, os resultados demonstram que a magnitude total da área é composta por 106 canais de escoamento onde 70 são perenes e 36 apresentam-se intermitentes.

Para a bacia do rio Guaribas, foram calculados índices e valores que foram interpretados, ou seja, a análise inicia-se pela ordenação dos canais fluviais, onde se obteve um total de 106 canais com um comprimento total de 83,423 km de extensão. Desses 106 canais, 64 segmentos são de primeira ordem, 31 de segunda, 10 de terceira e 1 de quarta ordem, o curso principal. Os segmentos de primeira ordem possuem um comprimento total de 46,933 km, os de segunda 23,406 km, os de terceira 7,482 km e os de quarta ordem 5,602 km. A tabela 1 sintetiza os parâmetros lineares. Em relação ao índice de bifurcação, os resultados foram iguais ou superiores a dois (R_b maior que 2), sugerindo que a bacia hidrográfica estudada é equilibrada no que tange ao escoamento fluvial natural.

Tabela 1: Síntese dos parâmetros lineares da bacia hidrográfica do rio Guaribas

Ordem	Nº de segmentos	Comprimento Total dos Canais (Km)	Comprimento médio dos Canais (unidade)	Índice de Bifurcação
1ª	64	46.933	0,733	-
2ª	31	23.406	0,755	2
3ª	10	7.482	0,748	2,81
4ª	1	5.602	5,602	5,0
Total	106	83.423	7,838	-

Fonte: Adaptado de IPECE (2009).

Sobre a análise areal, de acordo com os resultados obtidos ($K_c = 0,156$ e $I_c = 0,409$), pode-se afirmar que a bacia hidrográfica mostra-se pouco susceptível a enchentes em condições normais de precipitação, pelo fato de o coeficiente de compacidade demonstrar o valor acima da unidade e o índice de circularidade ser menor do que 0,51. Dessa forma, tem-se a indicação de que a bacia não tem forma circular, possuindo, portanto, uma tendência de forma alongada.

Na área, esse índice é em torno de 505m de extensão. Conforme Rocha (1997), em termos ambientais, a determinação deste parâmetro é de fundamental importância, podendo ser relacionado ao indicativo de erosão. Dessa maneira, quanto maior o resultado, mais extensa é a predisposição à erosão, e vice-versa, pois o sistema está buscando ajustamento às condições naturais.

Para um mesmo tipo de clima, a densidade de drenagem depende do comportamento hidrológico das rochas. Assim, nas rochas mais impermeáveis, as condições para o escoamento superficial são melhores, possibilitando a formação de canais e, conseqüentemente, aumentando a densidade de drenagem.

A quantidade de rios, bem como as condições para a manutenção e formação de canais na bacia, estão diretamente associadas às características climáticas, geológicas e pedológicas e indiretamente vinculadas a outros fatores, como a vegetação. Este é um fator importante no manejo de bacias hidrográficas, pois indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem. Um alto índice de densidade de drenagem significa que existe mais água circulando na bacia, porque há a capacidade de erodir e estabelecer mais cursos d'água. A esse respeito, Christofolletti (1980) informa: à medida que aumenta o valor numérico da densidade, há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem.

A determinação da densidade de drenagem da bacia hidrográfica do rio Guaribas visou conhecer o potencial da bacia e de seus afluentes em permitir maior escoamento superficial da água, o que resulta em maior intensidade dos processos erosivos na esculturação dos canais. O padrão de drenagem é do tipo dentrítica, pois o canal principal se assemelha à configuração de uma árvore, sendo que os tributários são os seus ramos, e as correntes tributárias se unem, formando ângulos agudos de graduações variadas, mas sem chegar nunca ao ângulo reto.

Para a área de estudo, o valor da densidade de drenagem (Dd) encontrado é de 1,390 km de canais por km², considerado regular dentro da classificação de Villela e Mattos (1975). Sendo classificada como área de baixa capacidade de drenagem, isso ocorre, porquanto a bacia está assentada em relevo suavizado com as condições de alta permeabilidade em decorrência do predomínio de litologias arenosas.

No que tange à análise da densidade de rios (Dr) que, assim como a densidade de drenagem, tende a refletir os processos de controle no desenvolvimento da rede hidrográfica, sejam eles naturais ou artificiais, a relação citada revela densidade de rios que expressa, em seu resultado, a frequência (ou quantidade) com que os cursos d'água aparecem em uma área (CHRISTOFOLETTI, 1980). Na área estudada, a densidade hidrográfica encontrada foi de 1,766 curso de água por km², indicando baixa tendência à formação de canais, haja vista a baixa declividade aliada a permeabilidade das formações arenosas que favorece à infiltração das águas precipitadas. O índice de sinuosidade encontrado para a área foi de 1,233. Este valor informa que o canal principal da bacia tende a ser transicional, entre retilíneo e tortuoso.

As características relacionadas aos recursos hídricos, bem como o escoamento superficial e subterrâneo da bacia do rio Guaribas, têm uma intrínseca relação com as condições climáticas, estrutura geológica, cobertura vegetal, características

pedológicas, seus aspectos geomorfológicos, bem como os mais diversos tipos de usos exercidos na área. As condições climáticas exercem função primordial no quadro hidrológico da bacia. Por meio das chuvas, há o abastecimento dos mananciais e a alteração da água na superfície e subsuperfície. Em relação às características geológicas, as estruturas permeáveis do embasamento sedimentar favorecem a infiltração da água, tendendo à diminuição das ramificações na rede de drenagem, o que se verificou no alto e médio curso da bacia.

Considerações finais

A bacia hidrográfica do rio Guaribas deve ser adotada como unidade física de reconhecimento, caracterização e avaliação, a fim de facilitar a abordagem de planejamento ambiental. Considera-se que o comportamento da bacia hidrográfica ao longo do tempo ocorre por fatores de ordem natural, responsáveis pela suscetibilidade do meio a degradação ambiental, e antropogênica, sendo as atividades humanas que interferem de forma direta ou indireta no funcionamento da bacia.

Este estudo apresentou uma análise hidroclimática, sendo constatado que o período de maior intensidade pluviométrica acontece entre os meses de fevereiro e abril, quando ocorre a reposição da água no solo propiciando a capacidade máxima de armazenamento. Já deficiência hídrica ocorre durante nove meses, iniciando-se em maio e prolongando-se até janeiro, os maiores deficit são registrados em novembro e outubro. A partir de fevereiro têm-se um aumento nos valores de precipitação, iniciando-se um novo período de excedente hídrico.

Em relação às condições hidrológicas, é possível afirmar que cotas piezométricas na área têm valores médios que variam de 2 a 30m. Esses dados indicam a grande variabilidade de cotas do aquífero livre na área, algumas praticamente ao nível do mar. Podem, ainda, ser abordadas as profundidades rasas para os níveis freáticos verificados em muitos dos poços levantados, indicando sua tendência em aflorar quando da estação das chuvas – fato que ocorre nas lagoas, e proporciona a utilização do manancial hídrico subterrâneo pela população que habita a área de estudo.

Em relação às características morfométricas analisadas constatou-se que: (i) a hierarquia fluvial sendo que se obteve um total de 106 canais com um comprimento total de 83,423 km de extensão. Desses 106 canais, 64 segmentos são de primeira ordem, 31 de segunda, 10 de terceira e 1 de quarta ordem, o curso principal; (ii) análise areal de acordo com os resultados obtidos ($K_c = 0,156$ e $I_c = 0,409$), pode-se afirmar que a bacia hidrográfica mostra-se pouco susceptível a

enchentes em condições normais de precipitação, pelo fato de o coeficiente de compacidade demonstrar o valor acima da unidade e o índice de circularidade ser menor do que 0,51; (iii) densidade de drenagem 1,390km de canais por km², sendo classificada como área de baixa capacidade de drenagem, porquanto a bacia está assentada em relevo suavizado com as condições de alta permeabilidade em decorrência do predomínio de litologias arenosas; (iv) densidade hidrográfica encontrada foi de 1,766 curso de água por km², indicando baixa tendência à formação de canais, haja vista a baixa declividade aliada a permeabilidade das rochas que favorece à infiltração das águas precipitadas e (v) índice de sinuosidade encontrado para a área foi de 1,233, que denota que o canal principal da bacia tende a ser transicional, entre retilíneo e tortuoso.

Referências

- ATTANASIO, C.M. *Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade*. 2004. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- BRANDÃO, R. L. *Diagnóstico Geoambiental e os Principais Problemas de Ocupação do Meio Físico da Região Metropolitana de Fortaleza*. Fortaleza: Projeto SINFOR/CPRM, 1995.
- CARVALHO, A. M. *Dinâmica Costeira entre Cumbuco e Matões – Costa NW do Estado do Ceará. Ênfase nos Processos Eólicos*. Tese (Doutorado). Universidade Federal da Bahia (UFBA). Instituto de Geociências, 2003.
- CAMPOS, J. N. B.; SOUSA, R. O. de. Planos de Bacias Hidrográficas. In: CAMPOS, J.N.B., STUDART, T. (orgs). *Gestão das Águas: princípios e práticas*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Análise de Sistemas em Geografia*. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1980.
- CUNHA, S. B; GUERRA, A. J. T.. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. 4. ed. Bertrand. Rio de Janeiro. Brasil. 2003.
- FERNANDES, A. *Temas Fisiográficos*. Stylus Fortaleza Comunicação: 1999.
- FREITAS, R. O. Textura de Drenagem e sua aplicação geomorfológica. *Boletim Paulista de Geografia*, n. 11, 1952.
- GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. *Hidrologia*. 2. ed. São Paulo, SP: Edgard- Blücher, 1988.
- GOLDER, A. J; PIVOT, P.B. *Sistema de Monitoramento/Gestão de Água Subterrânea de Micro-Áreas Estratégicas da Região Metropolitana de Fortaleza*. Relatório Final do Projeto. 2005.
- GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. da. *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull. Geol. Soc. Am. Colorado*, 1945..
- IPECE. Instituto de Planejamento e Estratégia Econômica do Ceará. *Perfil básico municipal de São Gonçalo do Amarante*. Disponível em <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm2012/Sao_Goncalo_do_Amarante.pdf>. Acesso em 02 de novembro de 2013. 2012.
- IPECE. Instituto de Planejamento e Estratégia Econômica do Ceará. *Nota Técnica nº 35 Base Cartográfica do Pólo Ceará Costa do Sol*. Disponível em <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/notas_tecnicas/NT-35.pdf>. Acesso em 13 de março de 2013. 2009.
- LANA, C. E; ALVES, J. M. de P; CASTRO, P.T.A. *Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do rio Tanque*, MG-BRASIL. REM. Ouro Preto – MG, 2001.
- LANNA, A. E. Gestão dos Recursos Hídricos. In: TUCC I, C.E.M. (Org). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, 3. ed. UFRGS/ABRH, 2004.
- LIMA, W.P. *Princípios de Hidrologia Florestal para o Manejo de Bacias Hidrográficas*. São Paulo: Universidade de São Paulo. 1968.

- LISBOA, M. S. *Estudos geoeletricos/hidrogeológicos da porção costeira da bacia do rio São Gonçalo-CE*. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE. Dissertação (Mestrado). 2002.
- LOUSADA, E. O. *Avaliação hidrogeológica qualitativa dos campos de dunas de Pecém/Paracuru, no estado do Ceará*. (Relatório Final). Fortaleza, 2011.
- MARENGO, A.J. E; UVO, C.B. *Viabilidade e mudança climática no Brasil e América do Sul*. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), São Paulo, 1997.
- MEIRELES, A. J. A. & MAIA, L. P. Indicadores morfológicos de los cambios del nivel del mar em llanura costeira Ceará – Nordeste de Brasil. In: V Reunião Nacional de Geomorfologia. Granada – ES: Geoforma Ediciones, Logroño, 1998.,
- MEIRELES, A. J. A. ; BRISSAC, S. G. T. ; SCHETTINO, M. P. O povo indígena Anacé e seu território tradicionalmente ocupado. *Cadernos do LEME*, v. 4. 2012.
- MILLER, V.C. *A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area*. Technical Report. Dept. Geology, Columbia University. 1953.
- MOURA, M.O. O Clima de Fortaleza sob o Nível do Campo Térmico. (Dissertação de Mestrado) UFC, 2008.
- QUADRO, M.F.L; MACHADO, L.H.R; CALBETE, S; BATISTA, N. N. M e OLIVEIRA, G. S. *Climatologia de precipitação e temperatura*. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. CPTEC/INPE, 1997.
- QUEIROZ, P.H.B. *Planejamento Ambiental Aplicado a um Setor da Bacia Hidrográfica do Rio Pacoti-CE*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará, 2010.
- ROCHA, J.S.M. *Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas*. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1997.
- SCHUMM, S. A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. *Bulletin of Geological Society of America*. v. 74 , n. 9, 1963.
- SILVEIRA, A. L. L. da. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. (org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Editora da Universidade/ABRH, 1997.
- SOUZA, M. J. N; de. SANTOS. J.O. Bases Naturais e Esboço do Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará. In: SOUZA, M.J.N. MORAES J. O. de e LIMA, L. C. *Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará*, Parte I. Fortaleza Editora FUNECE. 2000.
- STRAHLER, A. “Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography”. *Geol. Soc. América Bulletin*, 1952.
- SUGUIO, K. Tópicos de geociências para o desenvolvimento sustentável: As regiões litorâneas. *Revista do Instituto de Geociências da USP*, 2003.
- THORNTHWAITE, C.W; MATHER, J.R. The water balance. *Publications Climatology. Centerton*. New Jersey, v. VIII, 1955.
- TUNDISI, J. G. *Água no século XXI: Enfrentando a escassez*. São Carlos: Rima, Iie, 2003.
- WISLER, C. O. BRATER, E. F. *Hidrologia*. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1964.
- VASCONCELOS, F.P., ALBUQUERQUE, M.F.C., PINHEIRO, L. de S. Impactos ambientais adversos na área de construção do porto do Pecém – Ceará. *Revista de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará – UECE*. vol. 1, n. 2, 1999.
- VILLELA, M.M.; MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

Sobre os autores

Francisco Otávio Landim Neto: doutorando em Geografia na Universidade Federal do Ceará (UFC).

Adryane Gorayeb: professora do Departamento de Geografia da UFC.

Narcélio de Sá Pereira Filho: mestrando em Geografia na UFC.

* * *

ABSTRACT

Analysis of hydroclimatic, hydrogeological and morphometric conditions of Guaribas river basin, Ceará, Brazil: grants for local environmental management

The river basin is recognized as a unit for water resources management, because is well-defined it facilitates the process of the identification of water system's operating process. In this sense this study performs the characterization of hydroclimatic, hydrological and morphometric conditions of the Guaribas river basin, western sector of the state of Ceara , northeastern Brazil, that goes through a series of environmental changes resulting from the inherent action of the installation of Port Industrial Complex of Pecém - CIPP . For that, were analyzed (i) the rainfall and temperature averages for the period from 1974 to 2010 in the municipality of São Gonçalo do Amarante, (ii) areas for unloading, reloading and direction of groundwater flow in an aquifer and (iii) morphometric characteristics. According to the results it is clear that the period of greatest rainfall intensity is between the months of February and April, when the replenishment of soil water occurs providing maximum storage capacity, as water deficiency occurs for nine months, beginning in May and lasts until January. In relation to hydrological conditions it can be claimed that piezometric levels in the area have average values ranging from 2 to 30 meters, indicating the large variability of the unconfined aquifer levels in the area which enhances the use of groundwater resources. As analysis of the morphometric characteristics of the watershed is possible to say that it presents low susceptibility to flooding under normal rainfall conditions, has low drainage capacity and that the main channel of the basin tends to be transitional between straight and crooked.

KEYWORDS: River Basin, Hydroclimatology, Hydrogeology and Morphometrics.

RESUMEN

Análisis de las condiciones hidroclimáticas, hidrogeológicas y morfométrico de la cuenca del río Guaribas, Ceará, Brasil: subvenciones para la gestión ambiental local

La cuenca es reconocida como una unidad para la gestión y administración de los recursos hídricos, como procesos bien definidos facilita la identificación de la operación del sistema de agua. En este sentido, este estudio lleva a cabo la caracterización hidroclimáticas, hidrológicas y morfológicas de la cuenca del río Guaribas sector occidental del estado de Ceará, nordeste de Brasil, pasa por una serie de cambios ambientales que resultan de la acción inherente de la instalación Complejo Industrial Portuario Pecém - CIPP. Se analizaron: (i) la precipitación y la temperatura para el período 1974-2010 del municipio de São Gonçalo do Amarante, (ii) áreas para la descarga, recarga y la dirección del flujo del agua subterránea en un acuífero y (iii) las características morfométricas. Según los resultados, es evidente que el período de mayor intensidad de las lluvias es entre los meses de febrero y abril, cuando la reposición de agua en el suelo se produce proporcionando una capacidad máxima de almacenamiento, ya que se produce la deficiencia de agua durante nueve meses, a partir de mayo hasta enero. Con relación a las condiciones hidrológicas es claro que las cuotas piezométricos de la zona tienen valores medios oscilan entre 2 y 30 metros, lo que indica la gran variabilidad de las cuotas de los acuíferos no confinados en la zona que mejora el uso de los recursos hídricos subterráneos. Conforme análisis de las características morfométricas de la cuenca es posible decir que es poco probable que haya inundaciones con precipitaciones normales, tiene una baja capacidad de drenaje y que el canal principal de la cuenca tiende a ser de transición entre rectas y torcidas.

PALABRAS CLAVE: Cuenca, Hidroclimatología, Hidrogeología y Morfometría.