



AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA QUANTITATIVA NA PORÇÃO HIDROGRÁFICA DA BACIA DO RIO PARNAÍBA EM TIMON, MARANHÃO

DOI: 10.19177/rgsa.v7e42018240-260

Tiago Rodrigues da Silva¹
Beatriz Bacelar Barbosa²
Cristiano Jackson da Costa Coelho³

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo quantificar e analisar a sustentabilidade hídrica da porção hidrográfica da bacia do rio Parnaíba, localizada no município de Timon, Maranhão, Região Nordeste do Brasil, através da determinação dos indicadores de potencialidade, disponibilidade e demanda hídrica, bem como utilizando os seguintes índices de sustentabilidade hídrica: Índice de Ativação da Potencialidade, Índice de Utilização da Disponibilidade e Índice de Utilização da Potencialidade. Na determinação das variáveis hidrológicas foi utilizada uma metodologia para estudos básicos em hidrologia aplicados a pequenas bacias hidrográficas sendo os dados pluviométricos para a quantificação hidrológica obtidos a partir do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do Instituto Nacional de Meteorologia. Os resultados apresentaram um desequilíbrio entre a disponibilidade (0,019 Km³/ano) e demanda (0,150 Km³/ano) na porção hidrográfica da bacia analisada. Por outro lado, notou-se, que a área apresentou um potencial hídrico (1,253 Km³/ano), com possibilidades de suprir a demanda hídrica reprimida. Essas informações possibilitaram o diagnóstico da sustentabilidade hídrica da porção da bacia hidrográfica do rio Parnaíba e, desse modo, com a aplicação dos indicadores e índices de sustentabilidade foi permitido caracterizar o cenário hídrico em termos quantitativos, evidenciando um sub aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis, atualmente, na área. Diante disso, é sugerido ações de gestão de recursos hídricos, de maneira a apoiar a tomada de decisão pelas autoridades municipais.

Palavras-chave: Potencialidade Hídrica. Disponibilidade Hídrica. Demanda Hídrica. Sustentabilidade Hídrica. Gestão de Recursos Hídricos.

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão. E-mail: thiago2581@hotmail.com

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão. E-mail: beatrizbacelar@hotmail.com

³ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão. Bacharel em Ciências Aquáticas na UFMA. Licenciado em Informática no IFMA. Mestre em Sustentabilidade de Ecossistemas na UFMA. Doutor em Biotecnologia pelo RENORBIO ponto focal na UFPI. E-mail: crisjcc@ifma.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são constituídos pelas águas superficiais e subterrâneas caracterizando-se como um patrimônio de importante valor econômico e social. Entretanto, nos últimos anos alguns estudos, tais como Mello (2010), Augusto et al. (2012) e Venancio et al. (2015), entre outros, evidenciam uma crise hídrica a longo e curto prazo, que destacam que um dos principais problemas consiste na adequação entre a demanda por água nos setores industrial, agropecuário e público e a sua disponibilização, comprometida pelo agravamento da poluição nos mananciais.

Essas situações revelam também problemas nos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário das cidades, conjuntos de atividades interrelacionadas com a gestão dos recursos hídricos (MARTINS; PHILIPPI JUNIOR, 2005). Dessa forma, no âmbito municipal o gerenciamento das águas é fundamental, pois os problemas ambientais ocorrem em primeira instância em nível local. Em contrapartida, não existe um aparato legal de modelo para a aplicação de uma gestão hídrica nas cidades, mas as prefeituras devem buscar respaldo nas legislações nacionais e estaduais, além de propostas realizadas por instituições de pesquisas (MIRANDA, 2012; PIMENTEL et al., 2014).

Nessa óptica, o objetivo do artigo é a quantificação e análise da sustentabilidade hídrica da porção hidrográfica da bacia do rio Parnaíba, localizada no município de Timon, Maranhão, Região Nordeste do Brasil, através da determinação dos indicadores de potencialidade, disponibilidade e demanda hídrica, bem como utilizando os seguintes índices de sustentabilidade hídrica: Índice de Ativação da Potencialidade (IAP), Índice de Utilização da Disponibilidade (IUD) e Índice de Utilização da Potencialidade (IUP).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O desenvolvimento sustentável é compreendido como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”. O conceito preconizado foi proposto em 1987 através do Relatório *Brundtland*, documento nomeado de Nosso Futuro Comum (*Our Common Future*), elaborado pela Comissão Mundial sobre o

Meio Ambiente e o Desenvolvimento. Para tanto, essa abordagem remete a viabilidade de três dimensões indispensáveis e correlacionadas: econômico, ambiental e social (VAN BELLEN, 2006; SICHE et al., 2007; CARVALHO; BARCELLOS, 2010; DUARTE; MALHEIROS, 2014).

Nessa vertente, o Brasil promulgou a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (Lei das Águas) que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) tendo como princípios norteadores: a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão descentralizada e participativa; o reconhecimento do valor econômico da água e seus usos múltiplos e os Planos Estaduais de Recursos Hídricos e outorga de direito e cobrança pelo uso da água, Além disso, criou a base de dados dos recursos hídricos do país, o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (BRASIL, 2015).

O planejamento e gestão de recursos hídricos no país devem buscar adequação do suporte dos usos da água associado ao desenvolvimento da região com a manutenção dos meios biológicos, físicos e sociais, em conformidade com as legislações e normas pertinentes, assim podem ser entendidos de forma integrada (FERNANDES, 2002; MIRANDA, 2012; LACERDA; CÂNDIDO, 2013; DUARTE; MALHEIROS, 2014).

Além disso, deve integra-se aos sistemas de abastecimento de água e esgoto das cidades na medida em que constitui como um conjunto de ações para medidas de controle e monitoramento da qualidade da água (MARTINS; PHILIPPI JUNIOR, 2005). É, por isso, que os manuseios de recursos hídricos devem ocorrer no pleno significado etimológico do termo sustentabilidade que vem do latim *sustentare*, que significa manter, suportar, ou seja, estar correlacionada as possibilidades dos múltiplos usos da água na bacia hidrográfica, garantindo sua capacidade de potencialidade, disponibilidade e demanda hídrica a curto e longo prazo (GONDIM FILHO, 1994; FERNANDES, 2002; RIBEIRO, 2009; QUEIROZ; OLIVEIRA, 2013).

A sustentabilidade ambiental direcionada aos recursos hídricos envolve duas dimensões. A quantitativa referente a quantidade de água e a qualitativa que está relacionada à sua qualidade. Por isso, a sua definição traz consigo que toda gestão de águas tem a necessidade de manter a conservação de um balanço hídrico favorável, em quantidade e qualidade, entre a oferta da disponibilidade de água com os níveis de garantia e a demanda social para os usos múltiplos, não excedendo a capacidade de renovação natural da água (FERNANDES, 2002; MARTINS;

PHILIPPI JUNIOR, 2005; RIBEIRO, 2009; LACERDA; CÂNDIDO, 2013; QUEIROZ; OLIVEIRA, 2013).

A gestão de recursos hídricos, portanto, requer sua relação de interdependência com a avaliação da sustentabilidade, uma vez que propõe uma série de indicativos à adoção das atividades do planejamento e gerenciamento dos recursos naturais (LACERDA; CÂNDIDO, 2013; CAMPOS; RIBEIRO; VIEIRA, 2014). Como é o caso da construção de indicadores para uma avaliação da sustentabilidade de determinada região ou produto (VAN BELLEN, 2006; DUARTE; MALHEIROS, 2014).

O termo indicador é originado do latim *indicare*, que significa descobrir, apontar, anunciar, estimar e possui a função da quantificação das informações de conceitos teóricos para a melhoria dos processos de comunicação, a tornando mais clara e objetiva na formação de políticas públicas e/ou plano de ações para a tomada de decisões (VAN BELLEN, 2006; SICHE et al., 2007; CARVALHO; BARCELLOS, 2010, MIRANDA, 2012; DUARTE; MALHEIROS, 2014).

Os indicadores simplificam as informações sobre fenômenos complexos tentando melhorar, com isso, o processo de comunicação. Desse modo, os indicadores de sustentabilidade direcionados para a avaliação dos recursos hídricos são apropriados na medida em que seguem orientações e instrumentos técnicos como preconiza a PNRH ao destaca-los como importantes recursos para o planejamento envolvendo a gestão de águas (BRASIL, 2015).

Logo, são ferramentas que permitem o planejamento e gerenciamento das águas na óptica do desenvolvimento sustentável, através de sua aplicação em escala geográfica natural, as bacias hidrográficas, de modo que garante análises dos recursos hídricos superfícies e subterrâneos (GONDIM FILHO, 1994; FERNANDES, 2002; LACERDA; CÂNDIDO, 2013; CAMPOS; VIEIRA; RIBEIRO, 2014).

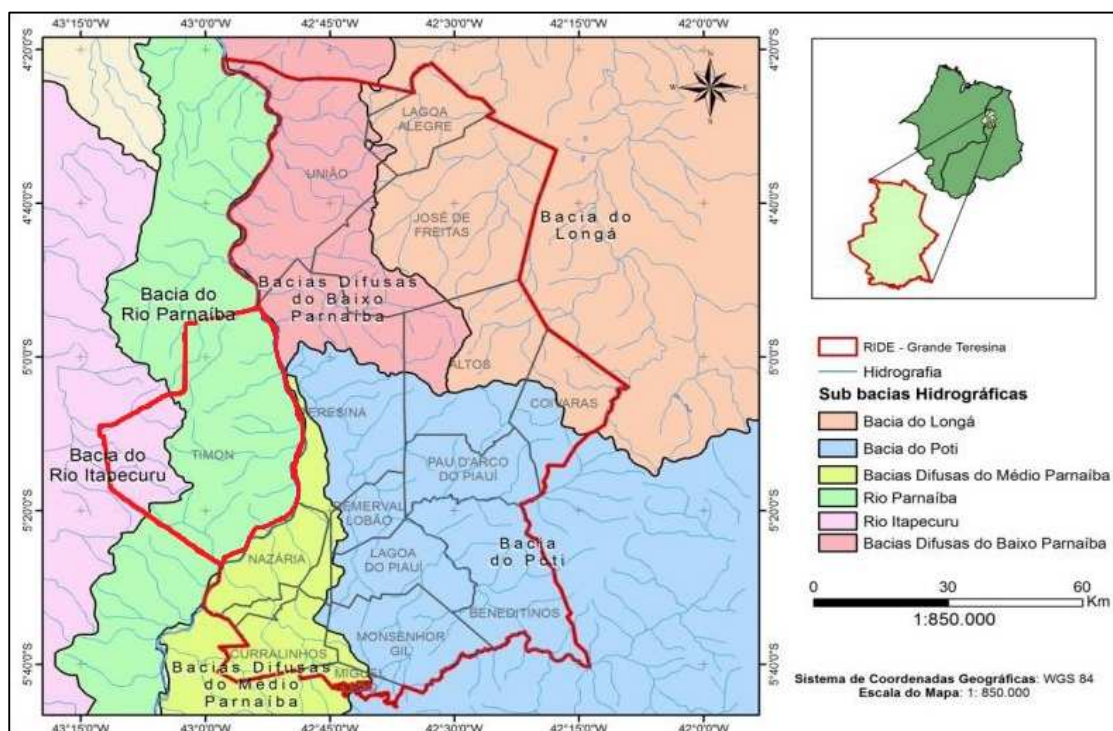
Na avaliação ambiental, de modo geral, o significado dos termos indicadores e índices são utilizados como sinônimos. No entanto, indicador é determinado por meio de um dado ou parâmetros isolados. Por sua vez, índice é um valor numérico construindo com procedimentos de cálculos, que de modo geral, utiliza os indicadores para representar o estado de um fenômeno ou sistema, facilitando, então, à interpretação dos resultados obtidos (VAN BELLEN, 2006; SICHE et al., 2007; CARVALHO; BARCELLOS, 2010).

A distinção se encontra no nível de agregação dos dados para a construção de ambos, uma vez que os indicadores são considerados referências para a elaboração dos índices, compreendidos, desse modo, como uma agregação de indicadores e em nível mais alto de tomada de decisão eles são necessários, pois são mais fáceis de entender e utilizar no processo decisório (VAN BELLEN, 2006). Em todo caso, os dois são amplamente aceitos pela comunidade científica e utilizados para a avaliação da sustentabilidade (SICHE et al., 2007; CARVALHO; BARCELLOS, 2010).

3 METODOLOGIA

O estudo foi realizado no município de Timon, localizado na região leste no Estado do Maranhão, e abrange uma área de 1.764,610 km², com uma população estimada em 166.295 habitantes (IBGE, 2017). Sedo conurbado à capital do vizinho Estado do Piauí, Teresina, fazendo parte da Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina (RIDE), conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 - Localização da RIDE Grande Teresina e de suas porções das bacias hidrográficas que a compõem com destaque ao município de Timon



Fonte: Adaptado de Pimentel et al., 2014.

Como verificado, na Figura 1, as águas superficiais do município de Timon correspondem as porções hidrográficas das bacias contribuintes do rio Itapecuru e Parnaíba, compreendendo respectivamente uma área de 320,7 Km² e 1443,91 Km² (BRASIL, 2006). Para o estudo foi selecionada a porção da bacia do rio Parnaíba na justificativa de que ela é a principal responsável pelo abastecimento público de água na cidade e pela localização na sua área da zona urbana do município (TIMON, 2014).

Os dados pluviométricos para a determinação da potencialidade hídrica foram coletados no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) que contém dados meteorológicos diários em forma digital, e séries históricas de inúmeras estações meteorológicas convencionais, que seguem as normas técnicas internacionais da Organização Meteorológica Mundial (INMET, 2016).

Dessa forma, coletaram-se as precipitações médias mensais para o município de Timon nos períodos de 2005 a 2015 com a finalidade da construção de série histórica dos últimos dez anos. Esses dados obtidos junto a estação meteorológica do Aeroporto Petrônio Portela de Teresina (TERESINA (AER. PETRONIO PORTELA); Código WMO: 82579; Código ICAO: SBTE; Latitude Sul: -5,03°; Longitude Oeste: -42,82°; Altitude: 69m) (INMET, 2016), uma vez que é a mais próxima que se encontra da cidade.

3.1 Cenário de sustentabilidade hídrica quantitativa

Para a mensuração quantitativa da sustentabilidade hídrica da área de estudo se utilizou a metodologia proposta por Gondim Filho (1994) que destaca a potencialidade hídrica (Q_p) como o volume de água apresentado pelo escoamento médio anual passível de ocorrer, sem interferência humana, abrangendo a soma dos escoamentos de superfície e subterrâneos. A disponibilidade hídrica (Q_o) sendo a parcela das potencialidades hídricas ativadas pela ação do homem para adequar às necessidades ou demandas. E as demandas hídricas (Q_d) correspondem ao volume de água que devem satisfazer a determinados usuários. Dessa forma, o cenário ideal da sustentabilidade hídrica descrita pelo autor é dado pela seguinte relação: $Q_p > Q_o > Q_d$, ou seja, a potencialidade (Q_p) deverá ser superior à disponibilidade (Q_o) que deve ser maior que a demanda (Q_d) hídrica.

Gondim Filho (1994) com base nas comparações entre os indicadores hídricos é possível estabelecer os seguintes índices de sustentabilidade hídrica: (i) Índice de Ativação da Potencialidade (IAP): nível de ativação do potencial hídrico da região hidrográfica obtido pela relação: Q_o/Q_p e varia entre 0 e 1. Indicando que quanto mais próximo de 1, mais ativados estarão os recursos potenciais da região hidrográfica; (ii) Índice de Utilização da Disponibilidade (IUD): grau de utilização da disponibilidade obtido pela relação: Q_d/Q_o . Indicando quando o seu valor é menor que 1 que a disponibilidade satisfaz as demandas e, quando é maior que 1, significa que a não está sendo suficiente para atender as demandas, existindo uma demanda reprimida; (iii) Índice de Utilização da Potencialidade (IUP): grau de utilização do potencial dado pela relação Q_d/Q_p . Indicando que quanto mais próximo for o seu valor de 0,8, mais próxima estará a unidade de planejamento de atingir o limite máximo da utilização do seu potencial.

3.1.1 Potencialidade Hídrica (Q_p)

A potencialidade hídrica na porção hidrográfica da bacia do rio Parnaíba foi determinada através do somatório do escoamento superficial com o escoamento subterrâneo anual, propostos por Alcântara e Santos (2002). De acordo com a seguinte fórmula (1):

$$Q_p = ES + q \quad (1)$$

Onde:

Q_p : Potencialidade hídrica (m^3/ano);

ES : Escoamento superficial (m^3/ano);

q : Escoamento subterrâneo (m^3/ano).

Para o cálculo do escoamento superficial se executou a metodologia de hidrologia aplicada a pequenas bacias hidrográficas proposta por Alcântara e Santos (2002), determinado pela fórmula (2):

$$ES = V - d - ETP - I \quad (2)$$

Onde:

ES : Escoamento superficial (m^3/ano);

V : Volume precipitado (m^3/ano);

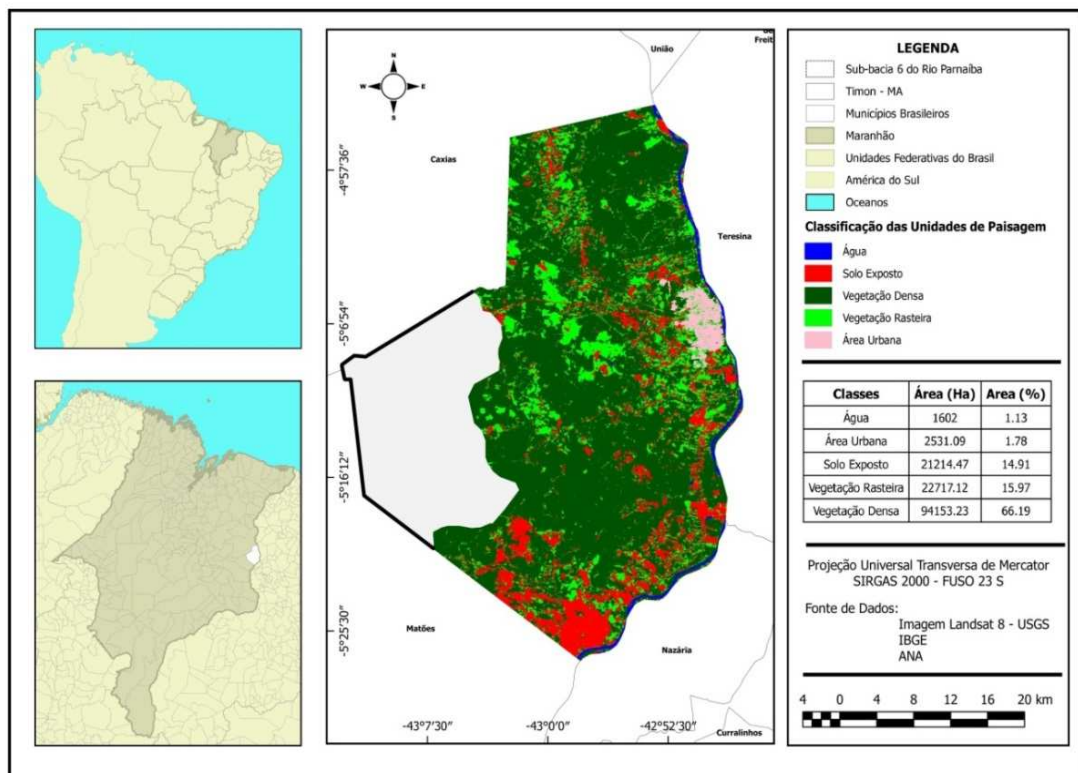
D : Infiltração (m^3/ano);

ETP : Evapotranspiração potencial (m^3/ano);

I: *Interceptação (m³/ano).*

A partir da série histórica de precipitação média mensal para o município de Timon, o escoamento superficial foi calculado para cada unidade de paisagem do mapa de uso e ocupação do solo da porção da bacia do rio Parnaíba, Figura 2.

Figura 2 - Unidades de Paisagem reconhecidas na porção hidrográfica da bacia do rio Parnaíba em Timon/MA



Fonte: Elaboração dos autores.

No cálculo do volume precipitado em cada unidade de paisagem foi utilizado não o volume do corpo de água, mas a lâmina de água que é gerada em decorrência da precipitação, bem como os valores dos tamanhos das áreas das unidades de paisagem da área de estudo presentes nas Figuras 2. Assim, com a fórmula (3) de Alcântara e Santos (2002) se determinaram os volumes para cada mês.

$$V = A.P \quad (3)$$

Onde:

V: *Volume da unidade de paisagem (m³/mês);*

A: Área da unidade de paisagem (m²);
P: Precipitação média mensal (m/mês).

Em seguida, efetuaram-se os cálculos de interceptação que corresponde a retenção da precipitação acima da superfície do solo (BLAKE, 1975). Tal fenômeno ocorre devido a vegetação ou outra forma de obstrução ao escoamento, nos quais foram utilizada a fórmula (4) abaixo modificada de Clark (1940).

$$I = \frac{(V \cdot (\%UP))}{100\%} \quad (4)$$

Onde:

I: Interceptação de chuva na unidade de paisagem (m³);

V: Volume da unidade de paisagem (m³);

%UP: É a percentagem de retenção da unidade de paisagem (%).

Como a interceptação pode ocorrer devido a vários fatores, para cada unidade de paisagem a metodologia atribuiu valores em porcentagem que cada uma pode reter (calibração do modelo). Então, baseado Alcântara e Santos (2002) calibrou-se a porcentagem de retenção da unidade de paisagem em: 0,5% para área urbana; 5% para solo exposto e área de vegetação rasteira; 20% para área de vegetação densa.

A evapotranspiração (ETP) é considerada como a perda de água por evaporação do solo e transpiração de plantas (VILLA NOVA; REICHARDT, 1989). Para sua determinação utilizou-se a fórmula (5) de Alcântara e Santos (2002).

$$ETP = \frac{(V \cdot Fc)}{P} \quad (5)$$

Onde:

P: Precipitação média mensal (m);

V: Volume da unidade de paisagem (m³);

Fc: Fator de correção(m);

ETP: Evapotranspiração na unidade de paisagem (m³).

O Fator de correção é atribuído em função de cada unidade de paisagem. Dessa forma, área urbanizada foi de 1 mm; solo exposto e área de vegetação rasteira de 5mm e vegetação densa 30mm (ALCÂNTARA; SANTOS, 2002).

Os cálculos das infiltrações foram realizados para verificar como se comporta a infiltração por unidades de paisagem, além de fazer parte da determinação do escoamento superficial e verificar como elas contribuem para a recarga dos aquíferos. Para seu cálculo se aplicou a fórmula (6) de *Soil and Conservation Service* (SCG) (1957) com valor do escoamento subterrâneo (q), uma vez que o que infiltra é o que está recarregando os aquíferos. Portanto, (d) é igual à (q), ou seja:

$$d = \frac{(Q \cdot S)}{P} \quad (6)$$

Onde:

d: Volume infiltrado na unidade de paisagem (m³);

Q: Precipitação efetiva (m);

S: Coeficiente de armazenamento de água na camada superior do solo (adimensional).

P: Precipitação média mensal (m).

A precipitação efetiva é a parcela da chuva que é capaz de gerar ou produzir escoamento em determinada região (GRAY, 1970). Por consequência, em cada unidade de paisagem foi calculada a precipitação efetiva. Para tanto, usou-se as fórmulas (7 e 8) de Kohler e Richards (1962).

$$Q = \frac{(P - (0,2 \cdot S))^2}{P + (0,8 \cdot S)} \quad (7)$$

Onde:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (8)$$

Q: Precipitação efetiva (m);

P: Precipitação média mensal (m);

S: Coeficiente de armazenamento de água na camada superior do solo (adimensional);

CN: Parâmetro de Adequação a Unidades de Paisagem (adimensional).

Nessas fórmulas são necessários à obtenção do coeficiente de armazenamento de água na camada superior do solo (s) (adimensional) e um

parâmetro de adequação para diferentes unidades de paisagem, chamado *Curve Number* ou Número de Curva (CN) (adimensional). Esse número, de acordo com Tucci (2001) é definido em função da tipologia do solo predominante e da cobertura vegetal existente na bacia hidrográfica, correlacionando à chuva eficaz e a chuva efetiva.

Assim, cada tipo de solo possui seu determinado (CN) por utilização ou cobertura do solo, assim calibrou-se, conforme Tucci (2001), os cálculos de escoamento superficial em função das unidades de paisagem e dos tipos de solo descritos pelo autor: (i) Solos A: produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila; (ii) Solos B: menos permeáveis do que o A. Solos arenosos menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade superior à média; (iii) Solos C: geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo; (iv) Solos D: contém argilas expansivas e pouco profundas com muito baixo escoamento superficial.

A partir de valores de CN para bacias hidrográficas urbanas e suburbanas defino por Tucci (2001), foram utilizados os seguintes parâmetros de adequação a unidades de paisagem: (i) área urbana, lotes com solo do tipo C (CN=90); (ii) solo exposto, média entre o CN dos tipos C de bosques e cobertura ruim (CN=77), pastagens em más condições (CN=86) e terrenos baldios de terra (CN=80) resultando em (CN=81); (iii) vegetação rasteira, média dos tipos C do prado em boas condições (CN=71) e de espaços abertos relvados em mais de 75% da área (CN=74) ocasionando em (CN=73); (iv) vegetação densa (vegetação de médio e grande porte), florestais de cobertura boa, com tipo de solo C (CN=70).

3.1.2 Disponibilidade hídrica (Qo)

Para determinar a disponibilidade hídrica (Qo) do município se considerou os dados da vazão anual total dos subsistemas de abastecimento de Timon, disponibilizados no sitio eletrônico (<http://www.aguasdetimon.com.br>) da concessionária de água da cidade, Águas de Timon.

3.1.3 Demanda hídrica (Qd)

O consumo *per capita* utilizado para o cálculo da demanda hídrica foi obtido no Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil (PLIRHINE) (BRASIL, 1980), que estabelece para o consumo *per capita* da população em uma cidade com mais de 100 mil habitantes e menor ou igual 500 mil habitantes um coeficiente de demanda de 330 L/hab/dia, o que equivale a 120,45 m³/hab/ano.

As informações sobre a população timonense foram obtidas a partir do censo do IBGE que estima, atualmente, a população timonense em 164.869 habitantes. Porém, tais dados referem-se não somente à população urbana, mas à população total do município de Timon. A partir disso, foram efetuadas as relações para a determinação da demanda populacional urbana anual, bem como a industrial, segundo Brasil (1980) corresponde a 25% da demanda populacional, e a ecológica, quantidade mínima necessária para a manutenção da vida aquática nos rios, que equivale a 10% do escoamento superficial (SOUSA, 1998).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Potencialidade e disponibilidade hídrica

A partir dos cálculos hidrológicos propostos na referente metodologia a Tabela 1 apresenta valores das variáveis hidrológicas na porção da bacia hidrográfica do rio Parnaíba em Timon.

Tabela 1 – Valores descritivos da potencialidade e demanda hídrica da área de estudo

Variáveis hidrológicas	Volume (Km ³ /ano)
Escoamento superficial	1,252
Escoamento subterrâneo	0,00090
Potencialidade hídrica	1,253
Disponibilidade hídrica	0,016

Fonte: Dados da pesquisa.

O potencial hídrico (1,253 Km³/ano) corresponde a capacidade de produção da porção hidrográfica analisada através do ciclo hidrológico, responsável pelo reabastecimento natural dos mananciais. Por isso, é estabelecido pelo somatório do escoamento superficial (1,252 Km³/ano) e subterrâneo (0,00090 Km³/ano), como verificado na Tabela 1.

Ao abrir um parêntese para análise do escoamento superficial e subterrâneo, pode-se inferir alguma alteração antrópica no ciclo hidrológico, o que pode ocasionar problemas relacionados à recarga dos aquíferos, utilizados no abastecimento público de água da cidade de Timon. Conseqüentemente, os processos de urbanização, criam áreas impermeáveis que reduz a capacidade da infiltração do solo.

Logo, este volume retido na superfície aumenta o escoamento superficial diminuindo o nível do lençol freático por falta de alimentação (MENDES; TUCCI, 2006; RIBEIRO, 2009). Como resultado, os aumentos das áreas urbanas possibilitam interferências na produtividade natural da água, podendo causar valores menores de escoamento subterrâneo quando comparados ao superficial, considerando o tamanho da área analisada.

Como o potencial provoca naturalmente a recarga das reservas de águas superficiais e subterrâneas, o sistema de abastecimento de água de Timon por meio do aquífero Poti-Piauí através de poços tubulares apresenta uma potencialidade hídrica de média alta (BRASIL, 2010).

Na prática os 69 poços utilizados no abastecimento (ÁGUAS DE TIMON, 2016) representam 1,2% da capacidade da potencialidade hídrica, o que evidencia que a cidade ainda possui recursos hídricos em potencial para serem explorados, neste caso, o rio Parnaíba. Tal como em outras cidades da RIDE, por exemplo, Teresina e União (PIMENTEL et al., 2014).

Além disso, o sistema de abastecimento de água de Timon é resultante da menor parcela da potencialidade hídrica, o escoamento subterrâneo. De acordo com Brasil (2013) o município de Timon está inserido no percentual dos 80% das municipalidades maranhenses que utilizam a água subterrânea para satisfazer as demandas, sobretudo, as de consumo humano, tanto na zona urbana como na zona rural. O que para Mendes e Tucci (2006), não tem muita eficácia para o atendimento a grandes consumidores, devido à alta demanda.

Diante disso, para a ampliação do sistema de abastecimento de água urbano da cidade, a concessionária responsável implantou em junho de 2016 uma estação de tratamento de água com captação no rio Parnaíba e capacidade de produção de 0,004 km³/ano (ÁGUAS DE TIMON, 2016). Portanto, na captação dos recursos hídricos superficiais é possível verificar o aumento da disponibilidade hídrica para 0,019 km³/ano levando a cidade a possuir apenas 1,5% de ativação de sua potencialidade hídrica.

4.2 Demandas hídricas

Por meio do consumo *per capita* de água por população e a estimativa populacional de Timon foram obtidas as seguintes demandas hídricas, que não contemplam os volumes provenientes de poços e pequenas captações superficiais privadas, expressas na Tabela 2:

Tabela 2 - Demandas hídricas na porção da bacia do rio Parnaíba em Timon

Demandas hídricas	Km³/ano
Populacional urbana	0,020
Industrial	0,005
Ecológica	0,125

Fonte: Dados da pesquisa.

A demanda populacional urbana (0,020 Km³/ano) representa os usos consuntivos e não consuntivos do recurso por parte da população timonense. Os usos múltiplos da água não consuntivos constituem naqueles em que a água serve apenas como veículo para certa atividade, como por exemplo, recreação. Por sua vez, os consuntivos se referem aqueles que durante o uso, uma determinada quantidade de água é retirada dos mananciais e depois de utilizada, uma quantidade menor é devolvida, tais como o abastecimento público (BRASIL, 2010).

A demanda industrial (0,005 Km³/ano) corresponde a fração da água usada no setor industrial da cidade caracterizado, sobretudo, pelo comércio e a prestação de serviços (CORREIA FILHO et al., 2011; TIMON, 2014). Para Ribeiro (2009), o abastecimento para esse consumo está ligado diretamente para o volume de água necessário para produzir uma determinada quantidade de mercadorias e os

números de funcionários da unidade produtiva. A demanda ecológica (0,125 Km³/ano) constitui um fator importante para a preservação do *habitat* natural da fauna e flora aquática, assim, permite o equilíbrio e a manutenção dos ecossistemas associados ao curso de água (FERNANDES, 2002; RIBEIRO, 2009).

4.3 Cenário de sustentabilidade hídrica

Com base nas relações dos valores de potencialidade, disponibilidade e demanda hídrica total obtiveram-se, conforme Tabela 3, os indicadores de sustentabilidade hídrica.

Tabela 3 - Índices e indicadores de sustentabilidade hídrica obtidos para a porção hidrográfica da bacia do rio Parnaíba em Timon

Indicadores	Km ³ /ano
Potencialidade hídrica (Qp)	1,253
Disponibilidade hídrica (Qo)	0,019
Demanda total hídrica (Qd)	0,150
Índices	
Índice de Utilização da Disponibilidade (IUD)	7,895
Índice de Ativação da Potencialidade (IAP)	0,015
Índice de Utilização da Potencialidade Hídrica (IUP)	0,120

Fonte: Dados da pesquisa.

Nesse sentido, observa-se que a cidade de Timon apresenta a relação de $Q_p > Q_o < Q_d$. Desse modo, não possui atualmente um cenário ideal de sustentabilidade hídrica em termos quantitativos, pois o volume de sua disponibilidade é inferior à demanda hídrica. O resultado é a falta de água para o abastecimento público na cidade, o que ocasiona a necessidade de aproximadamente 62% dos usuários do sistema armazenarem água em suas residências (NERI, 2015).

Outro ponto destacável que exerce influência para a falta de água na cidade é o seu crescimento urbano desorganizado, por meio da falta de estrutura e investimentos do sistema de abastecimento de água (BRASIL, 2013; PIMENTEL et

al., 2014; NERI, 2015). Assim, havendo um desequilíbrio entre a demanda e disponibilidade de água na região.

Por outro lado, o potencial hídrico é maior, possibilitando oportunidades para a reversão dessa problemática. Nesse sentido, o processo de reforma, expansão e modernização do sistema de abastecimento de água realizado por meio da dupla captação: superficial, do Rio Parnaíba, e subterrânea, do aquífero Poti-Piauí (ÁGUAS DE TIMON, 2016) permite compreender que o potencial hídrico pode ser utilizado para soluções definitivas sobre a falta de água na cidade.

Entretanto, apesar de se verificar a universalização da água na zona urbana para atender a demanda populacional, conforme a concessionária de saneamento responsável, os estudos de Neri (2015), afirmam que somente 91% dos domicílios da cidade são abastecidos com água potável. Isso significa dizer que, possivelmente ocorrem perdas de água durante a distribuição, principalmente, por meio de vazamentos nas adutoras.

Desse modo, as médias brasileiras de taxas de perda de água nas cidades são cerca de 40% (MENDES; TUCCI, 2006; MELLO, 2010). Torna-se, assim, essencial realizar ponderações e monitoramento que visem diminuir a perda de água na distribuição do recurso pela cidade, assim, garantir a chegada do recurso aos domicílios.

Em relação ao número do IUD está maior que 1 (um) significa que a atual disponibilidade hídrica não atende as demandas da cidade, caracterizando um estado de demanda reprimida de água em Timon. Tal situação é uma desproporção do volume consumido de água em relação à quantidade que é ofertada à população. Por isso, ainda reconhece-se problemas referentes à disponibilidade de água para o abastecimento público na cidade (CORREIA FILHO et al., 2011; BRASIL, 2013; TIMON, 2014; PIMENTEL et al., 2014; NERI, 2015).

A análise do valor maior que 1 (um) do IAP indica que os recursos hídricos estão poucos ativados. Então, há possibilidades de aumentar a disponibilidade hídrica no município, pois representa o grau de eficiência da disponibilização dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica (FERNANDES, 2002). Por sua vez, o IUP apresenta seu valor afastado de 0,8 indicando que a unidade de planejamento, área de Timon da porção da bacia do rio Parnaíba, está distante de atingir o limite máximo da utilização do seu potencial hídrico.

5 CONCLUSÃO

Na sustentabilidade hídrica quantitativa da porção hidrográfica do rio Parnaíba no município de Timon, MA se constata um balanço negativo entre a sua disponibilidade e demanda de água. Porém, o potencial hídrico, principalmente, superficial apresenta possibilidade de utilização com o objetivo de suprir a demanda hídrica reprimida da cidade.

Diante disso, ocorre a necessidade de uma gestão de recursos hídricos com mais eficiência na cidade, por meio de definições que priorizem os aspectos de disponibilidade e demanda para a melhoria do cenário de sustentabilidade hídrica apresentado nesse estudo. Por mais, a aplicação dos índices de sustentabilidade permitiram verificar a adequação do sistema de abastecimento de água da cidade, bem como evidenciaram um sub aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis, atualmente, na porção da bacia do rio Parnaíba. Logo, refletindo que os dados, obtidos pelo uso dos indicadores e índices, possuem potencial para indicar ações prioritárias para os recursos hídricos.



EVALUATION OF THE QUANTITATIVE SUSTAINABILITY OF WATER IN THE HYDROGRAPHIC PORTION OF THE PARNAÍBA RIVER BASIN IN TIMON, MARANHÃO

Abstract

The objective of this study was to quantify and analyze the quantitative water sustainability in the portion of the Parnaíba river basin, located in the municipality of Timon, Maranhão, Northeast Region of Brazil, by determining the indicators of potentiality, availability and water demand, as well as using the following sustainability indexes: Potential Activation Index (IAP), Availability Utilization Index (IUD) and Potential Utilization Index (IUP). In the determination of the hydrological variables, a methodology was used for basic studies in applied hydrology in small hydrographic basins and the pluviometric data for the hydrological quantification obtained from the Meteorological Database for Teaching and Research of the National Institute of Meteorology. In the quantitative water sustainability, the results showed an imbalance between the availability (0.019 Km³/year) and demand (0.150 Km³/year) in the hydrographic portion of the basin analyzed. On the other hand, it

was observed that the region presented a water potential (1,253 Km³/year), with possibilities of supplying repressed water demand. This information enabled the diagnosis of the water sustainability of the portion of the Parnaíba river basin and, therefore, with the application of indicators and sustainability indexes, it was possible to characterize the water scenario in quantitative terms, evidencing an underutilization of water resources currently available in the area. Therefore, it is suggested actions of water resources management, in order to support the decision making by the municipal authorities.

Keywords: Water potential. Water availability. Water demand. Water Sustainability. Management of water resources.

REFERÊNCIAS

ÁGUAS DE TIMON. *Água*. Disponível em: <<http://www.aguasdetimon.com.br/>>. Acesso em: 15 out. 2016.

ALCÂNTARA, E.H; SANTOS, M.C.F.V. *Metodologia para estudos básicos em hidrologia aplicados a pequenas bacias hidrográficas*. UFMA. São Luís, 2002.

AUGUSTO, L. G. S. et al. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. *Ciência & Saúde Coletiva*. Recife PE, p. 1511-1522, 2012.

BLAKE, G.J. The interception process. In: T.G. Chapman and F.X. Dunin (eds.). *Prediction in Catchment Hydrology*. Australian Academy of Science, Canberra, p. 59-81, 1975.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. *Plano de Ação Integrado e Sustentável para a RIDE Grande Teresina*. Teresina: CODEVASF, 2013.

_____. Ministério do Interior Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste-Sudene. *Plano de aproveitamento integrado dos recursos hídricos do Nordeste do Brasil (PLIRHINE)*. Recife: Sudene, 1980.

_____. Ministério do Meio Ambiente. *Caderno da região hidrográfica do Parnaíba*. Brasília: MMA, 2006.

_____. Agência Nacional de Águas (ANA). *Atlas Brasil: abastecimento urbano de água*. Brasília: ANA, 2010.

_____. Senado Federal. *Coleção Ambiental: Água*. Brasília: Coordenação de Edições Técnicas, 2015.

CAMPOS, M. V. C. V.; RIBEIRO, M. M. R.; VIEIRA, Z. M. C. L. A gestão de recursos hídricos subsidiada pelo uso de indicadores de sustentabilidade. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 19, n.2, p. 209-222, abr./jun., 2014.

CARVALHO, P. G. M.; BARCELLOS, F. C. Mensurando a sustentabilidade. In: MAY, P. H. (Org.). *Economia do Meio Ambiente: teoria e prática*. 2. ed. Rio de Janeiro, p. 99-132, 2010.

CLARK, O. R. Interception of rainfall by grasses weeds and certain crop plants. *Ecological Monographs*. v.10, n. 2, p. 243-277, 1940.

CORREIA FILHO, F. L. et al. *Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Timon*. Teresina: CPRM, 2011.

DUARTE, C. G.; MALHEIROS, T. F. Avaliação de Sustentabilidade e Gestão Ambiental. In: PHILIPPI JUNIOR, A.; ROMÉRIO, M. A.; BRUNA, G. C. (Orgs.). *Curso de Gestão Ambiental*. 2. ed. Barueri, SP: Manole, p. 883-914, 2014.

FERNANDES, R. J. A. R. *Instrumentos para a avaliação da sustentabilidade hídrica em regiões semi-árida*. 2002. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

GONDIM FILHO, J. G. C. *Sustentabilidade do desenvolvimento do semi-árido sob o ponto de vista dos recursos hídricos*. Brasília: SEPLAN-PR, 1994.

GRAY, D. M. (ed). *Handbook of the principles of hydrology*. Huntington: Water Information Center. 1970.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Dados da população estimada e área da unidade territorial e mapas*. 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/v3/cidades/municipio/2112209>> Acesso em: 26 out. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa (BDMEP)*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: 16 jan. 2016.

KOHLER, M.A; RICHARDS, M. M. Multi-Capacity Basin Accounting for Predicting Runoff from Storm Precipitation. *Journal of Geophysical Research*. Washington, p. 5187-97, 1962.

LACERDA, C. S.; CÂNDIDO, G. A. Modelos de indicadores de sustentabilidade para gestão de recursos hídricos. In: Cândido, G. A.; LIRA, W. S. (Orgs.). *Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa*. Campina Grande: EDUEPB, p. 13-30, 2013.

MARTINS, G. PHILIPPI JUNIOR, A. Águas de Abastecimento. In: PHILIPPI JUNIOR, A. (Org.). *Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável*. Barueri, SP: Manole, p. 117-180, 2005.

MELLO, M. C. S. *A crise hídrica no cenário mundial: análise de suas causas, consequências e proposição de solução que possibilitem a reversão desse quadro*. 2010. 156f. Monografia (Graduação em Gestão Ambiental) Universidade Cândido Mendes. Rio de Janeiro, 2010.

MENDES, C. A.; TUCCI, C. E. M. *Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica*. Brasília: MMA, 2006.

MIRANDA, G. M. *Indicadores do potencial de gestão municipal de recursos hídricos*. 2012. 96f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual Paulista. Centro de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro/SP, 2012.

NERI, G. V. A. *Diagnóstico da situação do saneamento no perímetro urbano da cidade de Timon-MA*. 2015. 108 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente). Fundação Oswaldo Cruz. Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2015.

PIMENTEL, V. M. P. et al. Caracterização dos rios que compõem as bacias hidrográficas dos municípios da região integrada de desenvolvimento – RIDE Grande Teresina para o abastecimento d'água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 5., 2014. *Anais*. Belo Horizonte, 2014.

QUEIROZ, A. T; OLIVEIRA, L. A. Relação entre produção e demanda hídrica na bacia do rio Uberabinha, estado de Minas Gerais, Brasil. *Soc. & Nat.* Uberlândia, v. 25, n. 01, p. 191-204, jan./abr. 2013.

RIBEIRO, C. R. *Avaliação da sustentabilidade hídrica do Município de Juiz de Fora/MG: um subsídio à gestão sustentável dos recursos hídricos em âmbito municipal*. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2009. Monografia (Especialização em Análise Ambiental).

SICHE, R.; et al. Índices *versus* Indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. *Ambiente & Sociedade*. Campinas, v. 10, n. 2, jul./dez., p. 137-148, 2007.

SOIL AND CONSERVATION SERVICE (SCG). Engineering Handbook: Section 4, *Hydrology*. Supplement A. United States Department of Agriculture. Washington, D.C, 1957.

SOUSA, S. B. Sustentabilidade hídrica da ilha do Maranhão. *Pesquisa em Foco*. São Luís, v. 6, n.7, jan./jun., p.143-158, 1998.

TIMON. Secretaria Municipal de Planejamento. *Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB)*. Timon, 2014.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

VAN BELLEN, H. M. *Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa*. Rio de Janeiro: FVG, 2006.

VENANCIO, D. F. V. et al. A crise hídrica e sua contextualização mundial. *Enciclopédia Biosfera*. Goiânia, v.11, n. 22, 2015.

VILLA NOVA, N.A, REICHARDT, K. Evaporação e Evapotranspiração. In: Vila Nova, N.A, Reichardt, K, Magalhães, P.C., et al. (Ed.). *Engenharia Hidrológica*. Rio de Janeiro: UFRJ, p. 145-97, 1989.

