

IV-056 - AVALIAÇÃO INTEGRADA DA QUALIDADE DA ÁGUA DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE CARAÚBAS – RN

Ana Cláudia de Araújo Fernandes

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais pelo Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN). Professora Substituta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido do Rio Grande do Norte (UFERSA).

Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva

Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Hidráulica e Saneamento pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Professora Assistente da Universidade Federal Rural do Semi-Árido do Rio Grande do Norte (UFERSA).

Cássio Kaique da Silva

Engenheira Civil Universidade Federal Rural do Semi-Árido do Rio Grande do Norte (UFERSA).

Endereço⁽¹⁾: Av. Universitária Leto Fernandes, S/N – Zona Rural – Caraúbas/RN - CEP: 597800-000 - Brasil
- Tel: (84) 3317-8505 - e-mail: anaclaudia.fernandes@ufersa.edu.br

RESUMO

A atual preocupação da população quanto aos recursos hídricos não está relacionada apenas à quantidade disponível, mas também à sua qualidade. O crescimento desenfreado da população tem gerado um aumento na demanda por esse recurso, e por outro lado, o desperdício, a poluição, entre outros, reduzem a quantidade desse recurso com boa qualidade. Nesse contexto, evidencia-se a necessidade da adoção e/ou desenvolvimento de novas técnicas para um manejo racional, objetivando atenuar os efeitos da falta de água. Um desses métodos consiste no armazenamento da água no perfil do solo, denominada de barragens subterrâneas, que representa uma solução de baixo custo de construção e manutenção. Assim, com o objetivo de analisar os aspectos construtivos e a qualidade da água de barragens subterrâneas construídas no município de Caraúbas – RN, foram selecionadas três barragens localizadas nos sítios: Timbaúba I, Timbaúba II e Boágua. Em seguida, foram realizadas as coletas de água dos poços das mesmas e encaminhadas ao laboratório para as análises físico-química. De posse dos resultados foram obtidos três índices de qualidade de água: i) Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea – IQNAS; ii) Índice de Qualidade Água Subterrânea – IQAS; e iii) Índice Relativo de Qualidade – IRQ. A classificação encontrada para o IQNAS e IRQ foram comparadas com o Índice de Qualidade da Água obtidos por Souza (2016), afim de melhor compreender a aplicação de diversas metodologias de classificação de qualidade de água. No geral, as barragens subterrâneas analisadas possuem poucas inconformidades, e atendem a finalidade de uso dos seus proprietários. Das três barragens analisadas apenas a barragem de Boágua é usada para o consumo humano, sendo as outras duas utilizadas para subirrigação da área e dessedentação de animais. Quanto a classificação, obteve-se ótima, boa e boa respectivamente para as barragens Timbaúba I, Timbaúba II e Boágua com o IQNAS. Para o IRQ foi possível obter as classificações de péssimo, ruim e razoável para mesmas respectivamente, e o IQAS classificou a barragem de Boágua com o maior grau de poluição, devido apresentar as maiores concentrações de nitrato e cloreto. Assim, pode-se concluir que o uso de índices de qualidade torna-se bastante útil na caracterização e quantificação de águas subterrâneas, entretanto deve-se atentar a seleção correta do índice que melhor analise as condições da localidade onde a barragem está inserida.

PALAVRAS-CHAVE: Índice de qualidade de água, Águas subterrâneas, Poluição.

INTRODUÇÃO

Objetivando combater a escassez de água nas regiões áridas e semiáridas do Brasil, várias medidas de enfrentamentos foram tomadas por órgãos governamentais e algumas Organizações Não Governamentais – ONG's. Dentre as medidas, destacam-se as barragens subterrâneas, por representarem uma solução simples em termos construtivos, baixos custos e chegando a produzir impactos ambientais positivos (FREITAS, 2001).

Essas estruturas que objetivam interceptar a água da chuva que escoar na superfície e dentro do solo, através de um septo impermeável construído transversalmente em relação ao sentido do fluxo de água de forma a favorecer o seu acúmulo dentro do solo (EMBRAPA, 2011). Ao passo que permite uma maior infiltração no solo, reduz o escoamento superficial e, conseqüentemente, a erosão do solo.

Para esse cenário de escassez, Silva et al. (2007) afirmam que esse tipo de barragem é uma alternativa tecnológica que contribui com a redução dos efeitos negativos dos longos períodos de estiagem, incrementando a disponibilidade de água no solo e reduzindo os riscos das explorações agrícolas, viabilizando a agricultura em pequenas e médias propriedades rurais.

No entanto, apesar de todos os esforços para armazenar e diminuir o consumo, a água tem-se tornado um bem escasso e sua qualidade se deteriora cada vez mais rápido (FREITAS, 2001). A sua degradação, principalmente oriunda da poluição, traz à tona a necessidade de uma interpretação eficaz de sua qualidade, uma vez que há locais onde a água subterrânea é a única fonte de água potável. Assim, verificar os principais poluentes presentes no meio e seu impacto na qualidade da água local é de extrema importância.

No Brasil, segundo os dados da Agência Nacional de Águas - ANA (2007), as águas subterrâneas vêm sendo aproveitadas de forma crescente, principalmente nas áreas de influência dos grandes centros urbanos, como Recife, Natal e Fortaleza. Assim, frente a exploração crescente da água subterrânea para diversos fins, o uso de índices de qualidade torna-se uma ferramenta importante na caracterização e qualificação dessa fonte hídrica, por melhor traduzir os resultados de diagnóstico e monitoramentos qualitativos.

Dessa forma, este trabalho apresenta a aplicação de índices de qualidade de água subterrânea de três poços da zona rural do município de Caraúbas, no estado do Rio Grande do Norte, sendo eles: i) Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS); ii) Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQAS); e iii) Índice Relativo de Qualidade (IRQ). Cujo objetivo é caracterizar e classificar a qualidade da água para os devidos fins utilizados pelos proprietários com base nos valores permitidos pela Resolução 396/2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo da qualidade da água subterrânea foi desenvolvido em três barragens situadas no município de Caraúbas, no estado do Rio Grande do Norte. De acordo com o Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente – IDEMA, o município pertence à Microrregião da Chapada do Apodi no Rio Grande do Norte. Possui, de acordo com o diagnóstico realizado pelo Ministério de Minas e Energia (2005), um clima muito quente e semiárido, com estação chuvosa atrasando-se para o outono, temperaturas médias anuais entre 36,0 °C e 21,0 °C e umidade relativa média anual de 70%. Nos últimos 20 anos apresentou uma precipitação média pluviométrica anual de 710,9mm.

Foi realizado um levantamento das barragens subterrâneas do município junto a EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Caraúbas - RN. Até o mapeamento dessa pesquisa, o município contava com 37 barragens subterrâneas construídas com recursos próprios. Desse total, para o desenvolvimento deste trabalho, foram selecionadas três barragens (Timbaúba I, Timbaúba II, Boágua), levando em consideração a proximidade da zona urbana, a presença de poço escavados a montante da barragem e a existência de água, conforme apresentado na Figura 1. Nessa figura, pode verificar também a sua proximidade da zona urbana, destacada com contorno vermelho.

Com intuito de avaliar as barragens selecionadas foram identificadas as suas classificações, bem como avaliados seus aspectos construtivos, de acordo com o recomendado por cada metodologia. Além disso, através de visitas às barragens e conversas com os proprietários e funcionários da EMATER de Caraúbas – RN, foram identificados os seguintes aspectos: Tipo de material usado para impermeabilizar a parede; Profundidade e largura; Profundidade do poço; Material utilizado na construção do poço; Existência de dreno; A declividade do terreno e área de recarga, observado visualmente; Finalidade da água; Existência de plantações; e a Satisfação com a construção da barragem e benefícios.

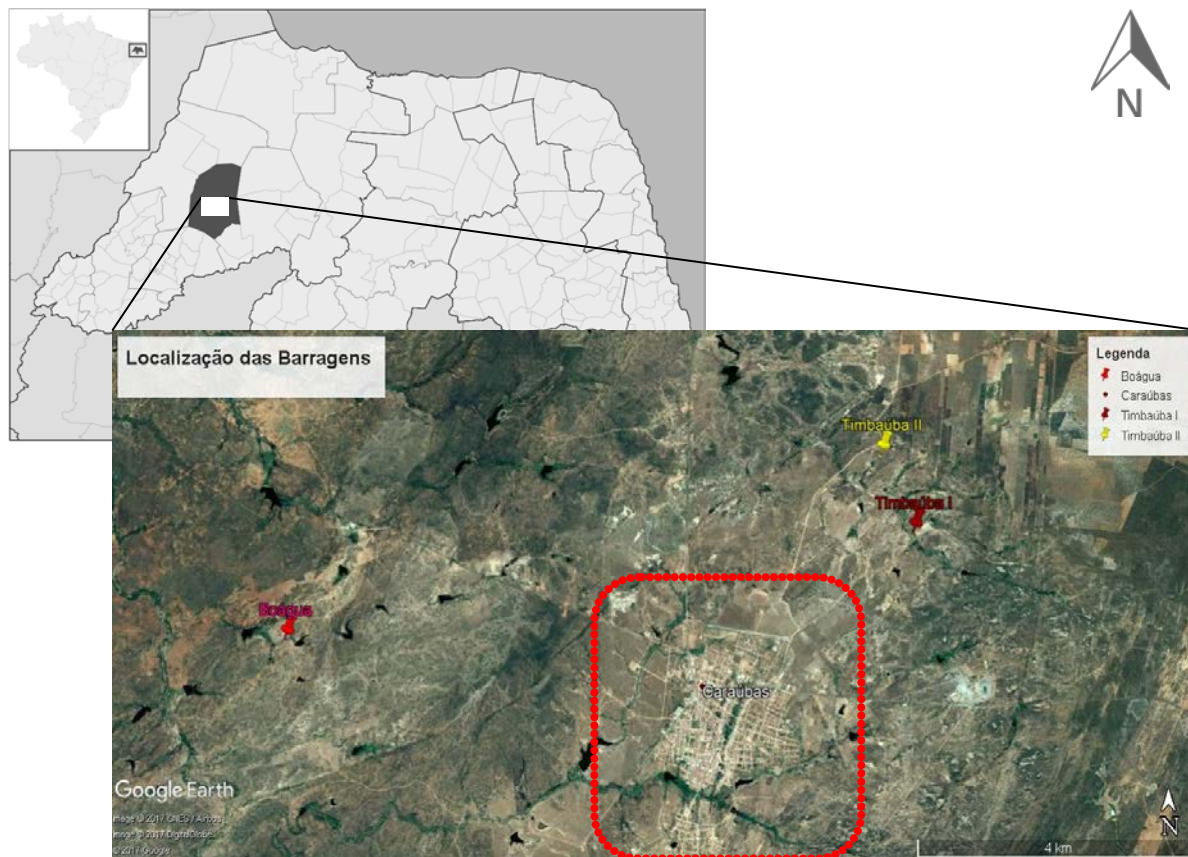


Figura 1: Localização das barragens subterrâneas.

Com o objetivo de analisar a água armazenada nos poços das barragens subterrâneas, situadas no Sítio Timbaúba I, Sítio Timbaúba II e Sítio Boágua, foram realizadas coletas matinais, com emprego de balde com auxílio de uma corda e coletores, seguidos do armazenamento em caixa térmica e envio aos laboratórios para análises físico-química e bacteriológicas. Os parâmetros analisados estão descritos na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1: Agrupamento dos parâmetros analisados.

Parâmetro	Grupo de alteração	Justificativa
Cloreto	Mineralização e Salinidade	-Pode afetar a aceitabilidade da água.
Dureza	Mineralização e Salinidade	- Indicado pelo CONAMA 396/08 para monitoramento.
Nitrato	Nitrato	- Pode afetar a aceitabilidade da água para diversos usos, inclusive o consumo humano. - Capacidade da água em neutralizar o sabão.
pH	Mineralização e Salinidade	- Pode gerar a metahemoglobinemia, que pode ser fatal em crianças.
Sólidos Totais	Mineralização e Salinidade	- Originário de fertilizantes; lixiviação de fossa séptica, esgotos, erosão de depósitos naturais;
Sólidos Totais Dissolvidos	Mineralização e Salinidade	- Indicado pelo CONAMA 396/08 para monitoramento.
		- Importante parâmetro operacional da qualidade da água;
		- Indicado pelo CONAMA 396/08 para monitoramento.
		-Pode afetar a aceitabilidade da água.
		- Indicado pelo CONAMA 396/08 para monitoramento.
		-Pode afetar a aceitabilidade da água.
		- Indicado pelo CONAMA 396/08 para monitoramento.

• **Cálculo dos índices de qualidade da água: Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea – IQNAS**

Baseado no do Índice de Qualidade de Água – IQA da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB/SP, o Índice de qualidade Natural de Água Subterrânea – IQNAS foi desenvolvido por especialistas da Universidade Federal da Bahia (UFBA), com o objetivo de analisar a influência da composição litológica das unidades hidrogeológicas na qualidade da água do aquífero da Bahia.

Para a quantificação deste índice é utilizado os seguintes parâmetros: pH, cloreto, sólidos totais, dureza, fluoreto e nitrato, aplicados na equação 1. Segundo Oliveira (2007), esses parâmetros foram selecionados devido à influência significativa de suas concentrações mediante a qualidade de água nos domínios hidrogeológicos do estado da Bahia.

$$\text{IQNAS} = \text{produto } (Q_i^{w_i}) = (Q_1^{w_1}) \cdot (Q_2^{w_2}) \cdot (Q_3^{w_3}) \dots (Q_n^{w_n}) \quad \text{equação (1)}$$

Onde: Q: concentração do parâmetro; W: peso para o parâmetro.

As equações matemáticas utilizadas nos parâmetros para a aplicação na Equação 1 podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2. Equações matemáticas para a obtenção do IQNAS.

Parâmetros	Equações matemáticas	Intervalos de validade
pH	$Q_{pH} = 1,7354 \times (pH)^2$ $Q_{pH} = 16405 \times [(pH)^{-2,5}] - 17$ $Q_{CI} = 100$	$[2 \leq pH \leq 7,34]$ $[pH \geq 7,35]$ $[CI < 4,86]$
Cloreto*	$Q_{CI} = 138,9 \times (CI)^{-0,1951} - (CI)^{0,42}$ $Q_{CI} = 0$	$[4,86 \leq CI \leq 3000]$ $[CI > 3000]$
Sólidos Totais*	$Q_{ST} = 79 - 0,162728 \times (ST) + \exp[(ST)^{0,228}]$ $Q_{CI} = 27,7$	$[0 \leq ST \leq 1630]$ $[ST > 1630]$
Dureza*	$Q_{CI} = 100$ $Q_{DUR} = 101,1 \times \exp[-0,00212 \times (DUR)]$	$[DUR < 5,4]$ $[DUR \geq 5,4]$
Fluoreto*	$Q_F = 80 + 21 \times (F) - (F)^{11,6268}$ $Q_F = 0$	$[0 \leq F \leq 1,5]$ $[F > 1,5]$
Nitrato*	$Q_N = 100 \times \exp[-0,0994 \times (N)]$	$[N \geq 0,0]$

*Unidade (mg.L⁻¹)

FONTE: (OLIVEIRA, NEGRÃO, & SILVA, 2007)

Para a aplicação do IQNAS neste trabalho, foi necessária uma adaptação devido à ausência de análise de o parâmetro fluoreto, feita através da redistribuição do peso entre as variáveis existentes. Esse procedimento teve como base Coutinho et. al. (2013) e Lopes (2015), que aplicaram esse índice sem informações de todos os parâmetros, justificando que no trabalho base de Oliveira, Negrão e Silva (2007) não há informações sobre os critérios utilizados para determinação do intervalo de classes de qualidade. A Tabela 3 mostra os pesos originais e os pesos distribuídos.

Tabela 3: Redistribuição dos pesos dos parâmetros.

Parâmetros	Pesos originais	Pesos redistribuídos
pH	0,05	0,060
Cloreto	0,26	0,310
Sólidos totais	0,22	0,262
Dureza	0,16	0,190
Fluoreto	0,16	-
Nitrato	0,15	0,179
SOMATÓRIO	1,00	1,000

FONTE: Adaptado de Oliveira, Negrão & Silva (2007)

A aplicação da redistribuição de peso foi realizada por meio da média ponderada dos pesos originais, esse procedimento como recurso alternativo para a obtenção do IQNAS nos casos em que não se dispõe de todos os parâmetros tem sido utilizado de modo satisfatório, como pode ser observado nos estudos realizados por Coutinho et al. (2013) e Lopes (2015). O cálculo do valor de IQNAS, para cada amostra utilizada permite definir a qualidade da água, conforme a Tabela 4.

Tabela 4: Faixas de classificação.

Qualidade	Faixa
Ótima	80 – 100
Boa	52 – 79
Aceitável	37 – 51
Imprópria	0 - 36

FONTE: (OLIVEIRA et al. 2004)

- **Cálculo dos índices de qualidade da água: Índice de Qualidade Água Subterrânea – IQAS**

Desenvolvido segundo recomendações propostas pela Organização Mundial da Saúde – OMS, o Índice de Qualidade de Água Subterrânea – IQAS pode ser uma ferramenta de relação entre qualidade de água e vulnerabilidade de aquíferos. Para o cálculo desse índice foi utilizado a equação 2, proposta por Melloul e Collin (1998).

$$IQAS = \left(\frac{C}{n} \right) \times \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{W_i \times Y_i}{W_{max} \times Y_{max}} \right) \right]$$

equação (2)

Onde: C: constante = 10; N: número de parâmetros envolvidos; W_i: peso de cada parâmetro; W_{max}: peso máximo fornecido ; Y_{max}: igual a 10, o máximo atribuído ao parâmetro que é 3,5 vezes maior ou igual ao seu valor padrão de qualidade (AMORIM et al., 2011).

$$Y_i = -0,712 \times \left(\frac{P_{ij}}{P_{id}} \right)^2 + 5,228 \times \left(\frac{P_{ij}}{P_{id}} \right) + 0,484$$

equação (3)

Onde: P_{ij}: concentração obtida na análise química do parâmetro; P_{id}: padrão ambiental estabelecido em norma vigente na região de aplicação do índice.

Os parâmetros comumente utilizados nesse índice são: cloretos indicador de intrusão marinha e contaminação por esgoto doméstico ou águas de irrigação (NOBRE et. al., 2008); e nitrato, íon resultante da atividade microbiana sobre compostos e nitrogenados como os fertilizantes (COUTINHO et. al., 2013). No entanto, a simplicidade desses dois parâmetros pode resultar numa classificação não aplicável de qualidade da água.

Nesse índice a água subterrânea é classificada numa escala de 0 a 10, representando seu grau de poluição (quanto maior o índice, mais elevado seu grau de poluição) devido à importância dos parâmetros utilizado para a obtenção do mesmo. Logo, a atribuição dos pesos precede conhecimento dos maiores poluentes da região. Para sua aplicação, adotaram-se pesos iguais a 1 para ambos os parâmetros, uma vez que não havia dados suficientes para adotar um peso que traduzisse a influência dos mesmos.

- **Cálculo dos índices de qualidade da água: Índice Relativo de Qualidade – IRQ**

O Índice Relativo de Qualidade – IRQ desenvolvido por Fernandes & Loreiro (2006), caracteriza e hierarquiza o potencial de qualidade de água subterrânea. De acordo com Coutinho et. al. (2013), originalmente utilizam-se cloretos, nitratos e sólidos totais dissolvidos como parâmetros por estarem associados à interferência antrópica.

Para os desenvolvedores desse índice, não há problemas caso outros parâmetros sejam utilizados, desde que sejam conhecidos seus respectivos valores de padrão estabelecidos por normas ou portarias. Seu cálculo é realizado através da média aritmética dos IRQ_{méd} de cada parâmetro, dados pelas equações 4 e 5:

$$IRQ_{méd} = \frac{V_i}{VMP_i}$$

equação (4)

$$IRQ = \frac{\sum IRQ_{méd}}{n}$$

equação (5)

Onde: V_i : valor médio da análise do parâmetro; VMP: valor máximo permitido; n: número de parâmetros.

Com esse índice é possível classificar a água subterrânea para consumo humano a partir de faixas escalares de variação que estão na Tabela 5.

Tabela 5: Faixas escalares de variação do IRQ.

Variação do IRQ	Qualidade para consumo humano	Caracterização Geral
$0,0 < IRQ \leq 0,3$	Excelente	Águas subterrâneas sem indicativo de perda de qualidade por parte de qualquer dos parâmetros considerados. Neste caso, sem recomendação de tratamento prévio, mas com indicação de monitoramento periódico.
$0,3 < IRQ \leq 0,6$	Boa	Águas subterrâneas sem problemas de perda de qualidade, mas podendo apresentar um indicativo em função dos valores médios estarem se aproximando do valor máximo permitido para potabilidade das águas, segundo os parâmetros de interesse. Neste caso, sem recomendação de tratamento prévio para utilização, mas chama-se a atenção para a necessidade de manter um monitoramento constante.
$0,6 < IRQ \leq 0,9$	Razoável	Águas subterrâneas, em princípio, sem problemas sérios mas com forte indicativo de perda de qualidade, dados os valores medidos muito próximos do valor máximo permitido para potabilidade das águas, segundo os parâmetros de interesse. Neste caso, comumente um dos parâmetros pode se apresentar com valor medido pouco acima do máximo permitido. Caso isto, ocorra, recomenda-se o tratamento prévio para utilização.
$0,9 < IRQ \leq 1,2$	Ruim	Águas subterrâneas com qualidade comprometida (perda de qualidade) em função de um ou mais parâmetros analisados. Neste caso, constata-se que os valores medidos comumente são pouco superiores ao valor máximo permitido para potabilidade das águas, segundo os parâmetros de interesse. Dessa maneira, recomenda-se o tratamento prévio para utilização e a continuação do monitoramento constante.
$IRQ > 1,2$	Péssima	Águas subterrâneas com qualidade comprometida em função de um ou mais parâmetros analisados. Neste caso, constata-se que os valores medidos comumente são muito superiores ao valor máximo permitido para potabilidade das águas, segundo os parâmetros de interesse. Recomenda-se o tratamento prévio para utilização e a continuação do monitoramento constante.

FONTE: Adaptado de Fernandes & Loureiro (2006).

Por fim, após obter todos os índices realizou-se um comparativo das classificações obtidas com o IQNAS, IRQ deste trabalho com a classificação obtida por Souza (2016) ao calcular o Índice de Qualidade da Água - IQA. Já para IQAS, realizou-se uma análise separadamente entre os valores obtidos das três barragens, uma vez que o mesmo não possui um padrão de classificação como os demais índices selecionados.

RESULTADOS

As principais características das barragens estudadas estão dispostas na tabela 6, apresentado a seguir. as barragens de Timbaúba I e Timbaúba II estão relativamente próximas, podendo afetar no seu armazenamento hídrico, diferente da barragem da comunidade de Boágua localizada na região distinta.

Tabela 6: Características das barragens.

CARACTERÍSTICA		BARRAGEM: TIMBAÚBA I	BARRAGEM: TIMBAÚBA II	BARRAGEM: BOÁGUA
BARRAGEM	Localização/Coordenadas	9362540 S 662627 L	9363624 S 662177 L	9361098 S 653513 L
	Classificação/Tipo	COSTA & MELO	COSTA & MELO	COSTA & MELO
	Comprimento	82,3 m	60 m	48 m
	Profundidade	1,53 m	2 m	1 m
	Material utilizado para impermeabilizar a parede	Lona plástica	Lona plástica	Lona plástica
POÇO	Profundidade	3 m	3,5 m	2,5 m
	Material	Alvenaria	Anéis de concreto	Alvenaria

A finalidade da água da barragem Timbaúba I é apenas para umedecimento da área a ser cultivada, ficando a água acumulada no poço sem utilização, com elevada quantidade de algas. A segunda barragem analisada está localizada no Sítio Timbaúba II, apresenta uma boa profundidade (acima do mínimo recomendável), em sua área havia plantações no período em que essa pesquisa foi realizada. Seu terreno possui uma leve inclinação, fato que torna a área de aproveitamento mais ampla. O material utilizado para a construção do poço nessa barragem foram anéis de concreto que é não é um tipo de material mais indicado, pois recomenda-se a utilização de materiais mais porosos, como é o caso da alvenaria, que facilita a passagem de água, e, conseqüentemente, o acúmulo de água. A água armazenada não é retirada para nenhuma finalidade.

A terceira das barragens selecionadas localiza-se no Sítio Boágua, diferente demais, apresenta profundidade inferior ao mínimo recomendado que é de 1,5m, o que pode prejudicar o barramento do fluxo de água, e conseqüentemente o acúmulo de água. Além disso, a montante da barragem há um barramento superficial, o que pode inviabilizar a recarga da barragem subterrânea. Em sua área não havia plantações no período em que essa pesquisa foi realizada. Seu terreno, assim como as demais, possui uma leve inclinação, tornando a área de aproveitamento mais ampla.

Após a coleta da água, realizou-se os procedimentos laboratoriais, seguido dos cálculos de cada índice obtendo os resultados exemplificados na Tabela 7.

Tabela 7: Índices de qualidade das barragens.

Parâmetros	Timbaúba I	Timbaúba II	Boágua
Cloreto (mg/L)	40,62	43,75	56,25
Dureza (mg/L)	6,45	8,1	3,3
Nitrato (mg/L)	2,55	3,13	4,49
Ph	7,5	7,2	6,9
Sólidos Totais (mg/L)	2,22	0,744	0,616
Sólidos Totais Dissolvidos (ppm)	58000	2700	1200
IQNAS	83,28	76,52	72,96
IQAS	1,54	1,71	2,16
IRQ	2,07	1,06	0,625

Para o cálculo do IRQ de Timbaúba I obteve-se um índice igual a 2,07, caracterizando-se como de qualidade péssima. Resultado influenciado principalmente pelo elevado teor de sólidos totais dissolvidos, que é bastante superior ao permitido atualmente pela legislação vigente. Dessa forma, para o consumo humano recomenda-se um tratamento prévio para utilização e a continuação do monitoramento constante.

Com um valor de IQNAS igual a 76,52 a barragem de Timbaúba II, recebe uma classificação de qualidade boa para esse índice. Se comparado com a barragem anterior, percebe-se que a classificação da qualidade diminuiu devido à elevação da concentração de todos os parâmetros, com exceção aos sólidos totais (ST) e do potencial hidrogeniônico (pH). E, como o somatório dos pesos dos demais parâmetros é superior ao do ST e pH, era esperado essa redução.

Com relação ao IQAS da barragem de Timbaúba II, ao seguir procedimento para o cálculo deste índice foi possível obter um IQAS igual a 1,71, valor esse de pequeno grau de poluição. Já o IRQ para essa barragem foi igual a 1,06, o que a classifica como de qualidade ruim. Esse resultado, assim como no IRQ da barragem de Timbaúba I, é oriundo do elevado teor de sólidos totais dissolvidos, que também se encontra superior ao permitido atualmente pela legislação vigente. Dessa forma, para utilização da barragem para o consumo humano recomenda-se um tratamento prévio e a continuação do monitoramento constante.

Com um valor de IQNAS de 72,96, a água de Boágua fica classificada como de qualidade boa. Vale ressaltar que nessa barragem foram encontradas as maiores concentrações de nitrato e cloretos, e que mesmo com a redução dos outros parâmetros se comparado às duas outras barragens, o índice não conseguiu atingir uma classificação maior.

Assim, como descrito que nessa barragem foram encontradas as maiores concentrações de nitrato e cloreto, consequentemente o IQAS que utiliza apenas esses dois parâmetros seria bem superior às demais barragens analisadas nesse trabalho, chegando a um índice igual a 2,15. Os valores encontrados ainda permanecem inferiores aos valores máximos permitidos pela Resolução do Conama 396/2008, estando enquadradas como pequeno grau de poluição.

O cálculo do índice relativo de qualidade da barragem de Boágua seguiu o mesmo procedimento descrito na metodologia base. Dessa forma, obteve-se um IRQ igual a 0,625, o que a classifica como de qualidade razoável. Diferente das outras barragens onde a concentração de sólidos totais dissolvidos era responsável por elevar o indicador, por serem bastante superior ao valor máximo permitido, nessa barragem isso não ocorre. A concentração de sólidos dissolvidos é bem próxima do valor máximo permitido, o que reduz o indicador e eleva sua qualidade.

Nesse sentido, a princípio, água do poço de Boágua não apresenta problemas sérios, mas com forte indicativo de perda de qualidade, dados os valores medidos muito próximos do valor máximo permitido para potabilidade das águas, segundo os parâmetros de interesse. Assim, recomenda-se o tratamento prévio para utilização.

Entretanto, um fato preocupante nas três barragens está relacionado à ausência de acompanhamento e assistência técnica, uma vez que as instruções sobre o uso adequado das barragens quanto às técnicas de irrigação afim de evitar o desperdício de água, adequando as técnicas com o tipo de solo como também as culturas adequadas são indispensáveis para a utilização dessa tecnologia.

Além disso, Cirilo (1998) afirma que apesar de não requerer tratamentos complexos quanto às barragens superficiais, é preciso monitorar os níveis de salinidade da água nesse tipo de barramento com fim de evitar o processo de salinização da água, como também do solo.

A fim de melhor compreender os resultados das classificações obtidas nos índices de qualidade da água, realizou-se o comparativo das classificações obtidas com o IQNAS, IRQ e com dados através da obtenção IQA de Souza (2016) para as mesmas barragens analisadas, onde os resultados encontram-se de forma visualmente comparativa na figura 2.

Em termos das escalas estabelecidas por cada índice, percebe-se que o comparativo direto entre eles pode induzir conclusões precipitadas no sentido da divergência entre eles. Ocorre que, cada método tem uma aplicação específica e considerações (pesos) que privilegiam alguns poluentes, em detrimento de outros. Assim, a escolha do método adequado para classificação da água subterrânea deve passar por escolha da metodologia e o acompanhamento da influência de cada parâmetro analisado no meio ambiente no qual a barragem está inserida. Reforçando o que foi explicado nos trabalhos estudados.

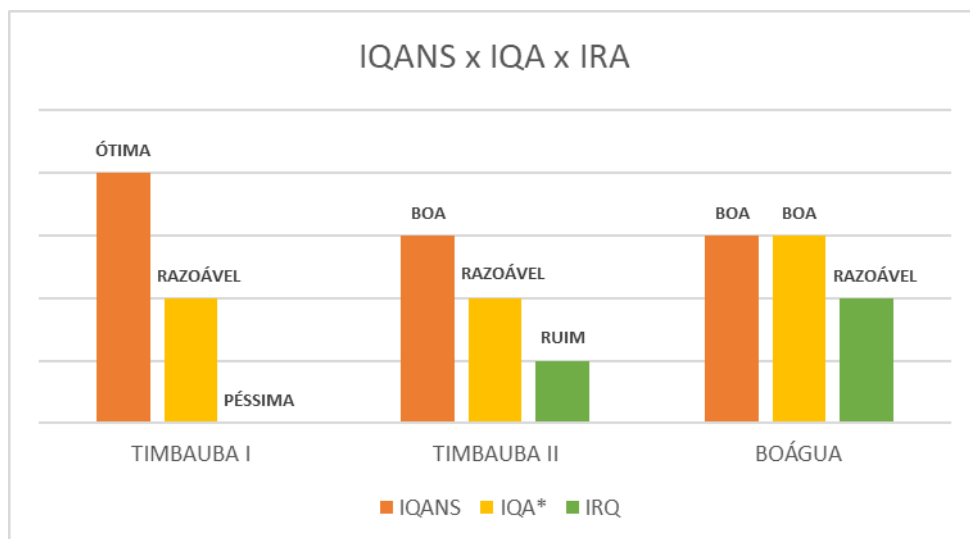


Figura 2: Comparativo entre IQNAS, IRQ e IQA.

Em relação ao IQAS, como o mesmo não possuiu um padrão de classificação como os outros índices fez-se necessário realizar sua análise separadamente. Dessa forma, o Gráfico 2 apresenta os o resultado deste índice para as barragens selecionadas. Visualiza-se que os índices obtidos estão bem abaixo do limite máximo atribuído para a poluição, corresponde a 10.

A barragem que apresenta um maior grau de poluição é a barragem localizada no Sítio Boágua que é usada para o consumo humano. Esse resultado é divergente dos resultados dos outros índices que a caracteriza com classificação entre boa e razoável, reforçando a importância de selecionar um índice realista com as condições pelas quais a barragem está exposta.

CONCLUSÕES

Quanto aos aspectos construtivos foi possível detectar algumas inadequações, como é o caso da barragem localizada no Sítio Boágua que apresenta profundidade inferior ao mínimo indicado, e presença de barramento superficial situada a montante da barragem subterrânea, características que podem comprometer a capacidade de recarga da barragem. Em relação a localização das demais barragens, todas estão situadas em áreas com bom potencial de recarga.

Os resultados dos parâmetros analisados, principalmente, se tratando das concentrações de nitrato, que podem ser oriundas de ações antropogênica através de fertilizantes e efluentes, demonstram a importância do monitoramento e qualificação das barragens subterrâneas pela possibilidade de informar aos proprietários as condições atuais da água.

O Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas verificando os reflexos das unidades hidrogeológicas na água subterrânea, classificou a água de Timbaúba I, Timbaúba II e Boágua respectivamente como ótima, boa e boa.

O Índice Relativo de Qualidade ao caracteriza e hierarquizar a qualidade da água das barragens subterrâneas, classificou Timbaúba I como de qualidade péssima, Timbaúba II como qualidade ruim e Boágua com qualidade razoável.

A comparação entre os resultados obtidos pelo IQNAS, IRQ e IQA's revelaram que os mesmos são tratados de uma perspectiva diferente. Uma vez o IQNAS e o IRQ consideram como grande relevância para a classificação da água o meio hidrogeológico onde a barragem está inserida, diferentemente do IQA, resultando assim em valores distintos que precisam ser interpretados de forma diferente.

O Índice de Qualidade de Água Subterrânea que identifica a relação entre a qualidade e a vulnerabilidade do aquífero, classificou com maior grau de poluição a barragem de Boágua seguido de Timbaúba II e Timbaúba I.

Dessa forma, foi possível concluir que a barragem de Timbaúba I e Timbaúba II atendem à finalidade dos proprietários, uma vez que os mesmos não utilizam para consumo humano, e apenas para subirrigar a área de plantio e dessedentação de animais. E a barragem de Boágua, mesmo recebendo classificações boa/razoável na maioria dos índices necessita de cuidados, já que ela é usada para consumo humano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMORIM, H. J. C. A. L.; LOPES, M. B. L.; OLIVEIRA, R. K. S.; NOBRE, R.C.M.N. Mapeamento da qualidade das águas subterrâneas em Maceió – AL. XIX simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió (2011).
2. ANA - Agência Nacional de Águas Disponibilidade e Demanda de Recursos Hídricos no Brasil. Caderno de Recursos Hídricos. 2007. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/planejamento/estudos/cadernoderecursos.aspx>>. Acesso em: 09 de out. 2017.
3. COUTINHO, J. V., ALMEIDA, C. N., GADELHA, C. L., TARGINO, D., LINHARES, F. M., & COELHO, V. R.. Avaliação Integrada da Qualidade da Água Subterrânea em uma Bacia Hidrográfica Representativa do Litoral da Região Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 18(4), p. 197-212, 2013.
4. BRASIL. Resolução CONAMA nº 396/2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Valores máximos permitidos para consumo humano.
5. CIRILO, J. A, COSTA, W. D., PONTES, M., MAIA, A. Z. (1998). Barragem Subterrânea: Uma Forma Eficiente de Conviver com a Seca. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, São Paulo, SP.
6. EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Degradação dos Recursos Naturais – Solo, ar, água e biodiversidade. Boletim Informativo: Instruções técnicas da Embrapa Semiárido: Barragens Subterrâneas. nº 49, Petrolina, 2011.
7. FERNANDES, R.A.; LOUREIRO, C.O. Índice Relativo de Qualidade (IRQ): Um Método para Caracterização e Hierarquização do Potencial Qualitativo das Águas Subterrâneas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, 14., 2006, Curitiba. Anais...Curitiba: ABAS, 2006.
8. FREITAS, P.L. de; MANZATO, C.V.; COUTINHO, H.L. da C. A crise de energia e a degradação dos recursos naturais - solo, ar, água e biodiversidade. Boletim Informativo, Viçosa - MG, v.26, n.4, p.7-9, 2001.
9. MELLOUL, A. J., & COLLIN, M. (March de 1998). A proposed index for aquifer waterquality assessment: the case of Israel's Sharon region. Journal of Environmental Management., pp. 31–142.
10. LOPES, Raynner Menezes. ÍNDICES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DA ILHA DO MOSQUEIRO, MUNICÍPIO DE BELÉM - PA. 2015. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.
11. NOBRE, R. C. M.; NOBRE M. M. M.; MANSUR, W. J. Mapeamento do índice de perigo ao consumo de águas subterrâneas vulneráveis à contaminação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 13, n.2, p. 101-111, 2008.
12. OLIVEIRA I. B.; NEGRÃO, F. I.; SILVA, A. G. L. S. Mapeamento dos aquíferos do estado da Bahia utilizando o índice de qualidade natural das águas subterrâneas — IQNAS. Águas Subterrâneas, v.21, n.1, p.123-137, 2007.
13. OLIVEIRA, I. B., NEGRÃO, F. N., & SILVA, A. (2007). Mapeamento dos aquíferos do estado da Bahia utilizando o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas – IQNAS. Revista Águas Subterrâneas, 21(1), 123-137.
14. OLIVEIRA, J. B. Manual técnico operativo do PRODHAM. Fortaleza: SRH, 2001.
15. SILVA, M. L. da; MENDONÇA, C. E. S.; ANJOS, J. B. dos; HONÓRIO, A. P. M.; SILVA, A. de S.; BRITO, L. T. L. Barragem Subterrânea: água para produção de alimentos. In EMBRAPA. Potencialidades da água de chuva no semiárido brasileiro. Petrolina - PE, 2007. ap. 6. p. 121-137.
16. SOUZA, Alice Andrade. QUALIDADE DA ÁGUA DAS BARRAGENS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE CARAÚBAS-RN. 2016. 74 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas - RN, 2016.