UTILIZAÇÃO DO ZONEAMENTO AMBIENTAL COMO INSTRUMENTO PARA CONTROLE DO USO E MANEJO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO POLO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI

Antônio Jorge da Cruz Rodrigues[(1)]
Geólogo formado pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Possui mais de 12 anos de experiência na área de gerenciamento de áreas contaminadas desenvolvimento urbano sustentável e revitalização de brownfields. Atualmente, atua como Geólogo Sênior na empresa CETREL, no PGRH - Plano de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Polo Industrial de Camaçari, contribuindo para a gestão sustentável dos recursos hídricos na região.
Jordon Luiz Werlang[(2)]
Engenheiro Químico e Gerente de Projetos com 25 anos de experiência na Cetrel, liderando soluções ambientais para o maior polo industrial da América Latina. Atua com foco em sustentabilidade hídrica, inovação tecnológica e gestão de riscos ambientais. Coordena o PGRH do Polo de Camaçari e projetos estratégicos voltados à proteção dos recursos hídricos. Forte atuação em iniciativas integradas à agenda ESG.

Endereço[(1)]**:** Rua do Palame, 34 - Itapuã - Salvador - Bahia - CEP: 41610-200 - Brasil - Tel: +55 (71) 98156-9183 - e-mail: antonio.rodrigues@cetrel.com.br

RESUMO

O zoneamento dos recursos hídricos subterrâneos é uma ferramenta crucial para estabelecer critérios técnicos sustentáveis para a explotação de águas subterrâneas, promovendo o manejo sustentável deste recurso. Este trabalho apresenta os critérios para elaboração e aprimoramento do zoneamento hídrico (ZH) do Polo Industrial de Camaçari (PIC) na Bahia, mapeando elementos geográficos e de qualidade da água, combinados a estratégias econômicas, para controlar, gerir e planejar o uso dos recursos hídricos subterrâneos a longo prazo. A metodologia inclui o refinamento do Modelo Numérico de Fluxo Regional (MNFR) com dados de monitoramento dos principais usuários e cenários de escassez hídrica. A interpretação dos dados do balanço hídrico geral e por zonas hídricas indica as condições de explotação atuais e fornece recomendações práticas para gestão e controle do uso de água subterrânea. As principais recomendações incluem a calibração contínua do MNFR e a integração de estratégias de manejo adaptativo para cenários de stress hídrico. Os resultados mostram que, embora o Sistema Aquífero Marizal São Sebastião, utilizado pelo PIC, apresente condições de relativa estabilidade hidrodinâmica em escala regional, foram identificadas zonas com indício de desiquilíbrio local, ressaltando a importância do monitoramento contínuo e de ajustes nas estratégias de gestão para garantir a sustentabilidade hídrica no longo prazo.

PALAVRAS-CHAVE: Zoneamento Ambiental, Águas Subterrâneas; Gestão de Recursos Hídricos.

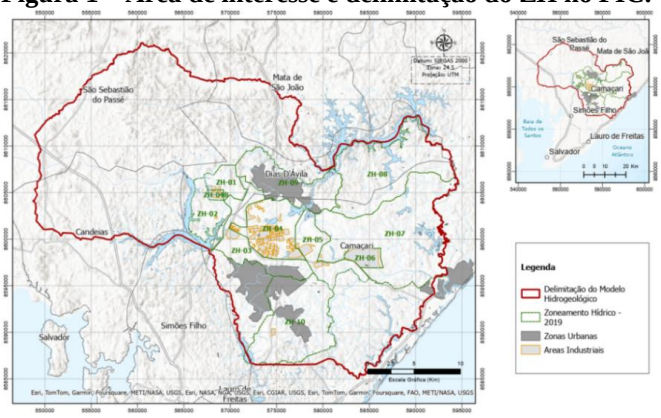
INTRODUÇÃO

O Zoneamento dos Recursos Hídricos Subterrâneos, na área do Polo Industrial de Camaçari (PIC) é utilizado como uma ferramenta para o estabelecimento de critérios técnicos sustentáveis para explotação de águas subterrâneas, na região. Esse trabalho apresenta o aprimoramento do zoneamento hídrico (ZH) do polo industrial de Camaçari (PIC), que tem a finalidade de mapear elementos geográficos e de qualidade da água subterrânea, combinados a estratégias econômicas e de uso do solo, delimitando as áreas que compartilham características similares para controle, gestão e planejamento do uso dos recursos hídricos subterrâneos a longo prazo (Roedel & Oliveira, 2021).

OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo atualizar o zoneamento dos recursos hídricos subterrâneos na área do PIC (Figura 1) e entorno, o qual é utilizado como ferramenta de gestão na análise preliminar para solicitação e renovação de outorga de direito de uso de água subterrânea no sistema aquífero Marizal/São Sebastião. Os objetivos específicos incluem: caracterização da condição atual de explotação das águas subterrâneas no PIC; atualização do MNFR do PIC e calibração dos cenários de fluxo, revisão do balanço hídrico e dos critérios para classificação das Zonas Hídricas.

Figura 1 – Área de interesse e delimitação do ZH no PIC.



METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia utilizada para aprimoramento e atualização do Zoneamento Hídrico considerou o refinamento do Modelo Numérico de Fluxo Regional (MNFR), com a integração dos dados de monitoramento dos principais usuários (uso industrial e doméstico), e inclusão de cenários de escassez hídrica nas simulações para vazões futuras explotáveis.

A metodologia utilizada para atualização do Zoneamento Hídrico do PIC, considera as seguintes etapas:
1. Compilação de dados e análise crítica dos dados do monitoramento do PGRH, dados de outorga obtidos da base de dados do INEMA, e dados resultantes do monitoramento da EMBASA;
2. Comparação das bases de dados disponíveis (PGRH, EMBASA e INEMA) de modo a caracterizar a condição atual de explotação das águas subterrâneas;
3. Seleção dos dados para atualização do MNFR e inserção das informações construtivas, vazão e nível dos poços em operação;
4. Verificação da calibração do MNFR e simulação dos cenários de fluxo;
5. Avaliação crítica do balanço hídrico nos diferentes cenários de fluxo e revisão dos critérios de explotação para cada zona hídrica.

O fluxograma indicado na Figura 2, mostra as etapas seguidas para atualização do Zoneamento dos Recursos Hídricos Subterrâneos. A Figura 3 apresenta o resumo dos cenários de fluxo considerados.

Figura 2 – Fluxograma de etapas para atualização do ZH.

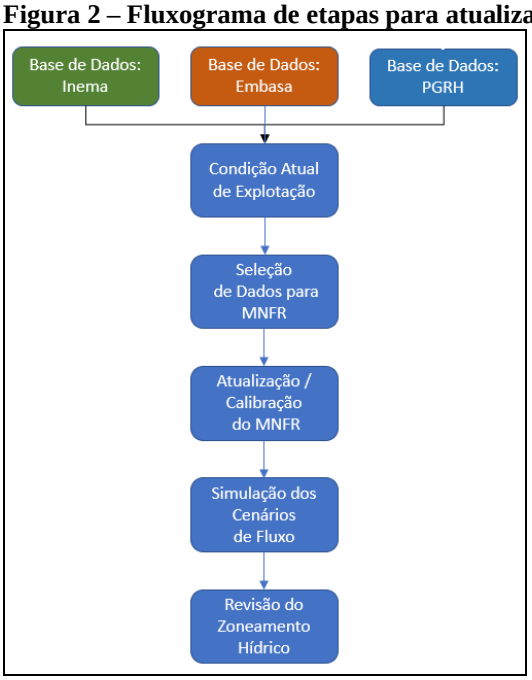


Figura 3 – Cenários avaliados para o balanço Hídrico, contemplando situações de stress hídrico, a relação recarga natural e volume explotado pelos poços.

	Bombeamento Atual (BA)	Bombeamento Previsto* (BP)	Bombeamento Aumentado (BP+25%)
Recarga Atual (RA)	Base Case (Calibrado)	Cenário 1	Cenário 4
Recarga Reduzida (RR = RA – 25%)	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 5

Bombeamento Previsto*: Vazões Outorgadas INEMA

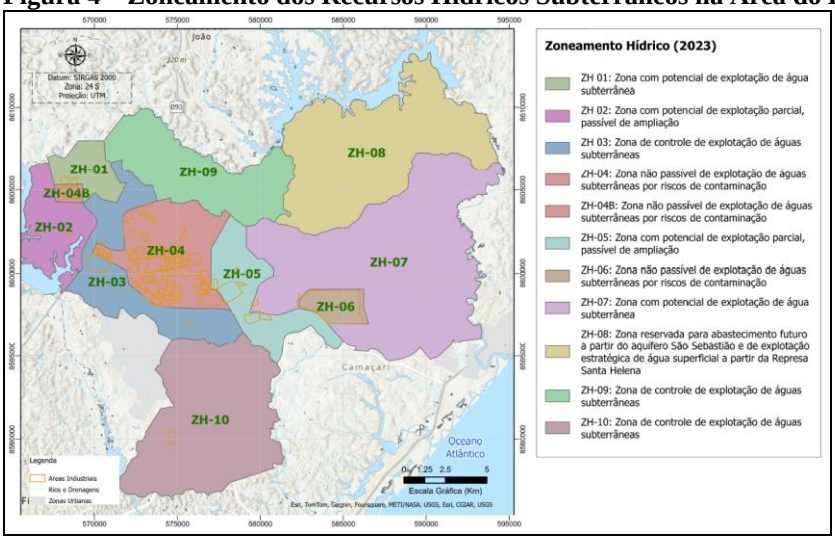
Aumento de Vazão

Os resultados obtidos para o balanço de massa do MNFR para cada Zona Hídrica (ZH), com os 05 (cinco) cenários de fluxo considerados, levou em consideração os seguintes indicadores de criticidade:
1. Se a recarga em relação ao total disponível é menor que as vazões explotadas pelos poços – (R/Total (%) < PP/Total (%));
2. Se a relação entre as vazões explotadas pelos poços e a vazão total é superior a 50% do total disponível - (PP/Total > 50%).

RESULTADOS OBTIDOS

Para as 10 (dez) zonas hídricas avaliadas para os 05 (cinco) cenários simulados, as zonas hídricas ZH-03 e 10, apresentaram volume total diário extraído pelos poços com valor superior a 50% do volume total disponível, além de registrar valores superiores aos volumes diários atribuídos à recarga. O balanço hídrico para as ZH-03 e 10 mostra também uma redução na descarga percentual atribuída aos rios e outros corpos hídricos, chegando a cerca de 20% de redução na ZH-10, para o cenário de "Base Case". Para as ZH-02 e 09 os volumes diários explotados pelos poços foram maiores que os volumes atribuídos à recarga para os cinco cenários considerados, mas não superam 50% do volume total disponível. A ZH-04 apresentou condição de criticidade apenas para os cenários 03 e 04, onde o PP/Total foi superior a R/Total observada. Vale observar que as zonas ZH-04 e ZH-06 considera restrição quanto à explotação, por riscos de contaminação por atividades industriais. Para as demais zonas, em termos quantitativos, e considerando as premissas apresentadas nesse trabalho, há excedente de água passível de ampliação da explotação de água subterrânea. A Figura 4 apresenta o novo mapa de zoneamento hídrico com as descrições atualizadas com base no atual estudo.

Figura 4 – Zoneamento dos Recursos Hídricos Subterrâneos na Área do PIC.



CONCLUSÕES

O uso das ferramentas de monitoramento e modelagem para atualização do mapa de zoneamento hídrico, e a utilização desse último como instrumento de avaliação das outorgas atuais e futuras, intensificam o controle e manejo sustentável do recurso hídrico subterrâneo. Como consequência, o planejamento no longo prazo tende

a ser beneficiado, prolongando a disponibilidade dos recursos subterrâneos para gerações futuras. Além disso, essa abordagem de gestão representa um avanço metodológico que pode ser utilizado para sistemas aquíferos similares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ROEDEL, R. M., & OLIVEIRA, I. B. Hydrogeological and Numerical Criteria for Groundwater Withdrawal Permission in the Marizal-São Sebastião Aquifer, State of Bahia, Brazil. Groundwater, 35(2). https://doi.org/10.14295/ras.v35i2.29990. 2021.