

IV-248 - PROPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS COMPLEMENTARES PARA CONCESSÃO DE OUTORA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: ESTUDO DE CASO POLO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI

Rosialine Marques Roedel⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal da Bahia (UFBA/BA). Mestranda em Engenharia Ambiental Urbana na UFBA/BA. Consultora Técnica na empresa CETREL.

Iara Brandão de Oliveira⁽²⁾

Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade de Michigan.

Endereço⁽¹⁾: Rua Lote Colonial Boa União, Reserva Parque Residencial, Condomínio Parque das Árvores, Torre Jacarandá, Apt.304 – Catu de Abrantes – Camaçari - Bahia - CEP: 41842-000 - Brasil - Tel: +55 (71) 98175540-3333 - e-mail: rosialine1@yahoo.com.br.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi propor e avaliar critérios técnicos para determinação de vazões outorgáveis para águas subterrâneas na região do entorno do Complexo Industrial de Camaçari, dentro do sistema de aquífero Marizal/São Sebastião. Os critérios propostos para avaliação técnica dos processos de outorga foram: Potencialidade hídrica total e real; Favorabilidade quanto à exploração; Avaliação qualitativa dos parâmetros hidráulicos; Vazão de base de drenagem superficial, Vazão do poço obtida em ensaio de bombeamento; Qualidade hidroquímica do poço. Para utilização desses critérios foram desenvolvidas / aprimoradas algumas ferramentas de análise, tais quais proposição de novo zoneamento hídrico, cálculo de reservas e potencialidades e a classificação das zonas hídricas quanto ao grau de favorabilidade. Posteriormente, foi proposta uma metodologia de avaliação do processo de outorga. Dentro do processo metodológico para avaliação das outorgas, foi incorporada a ferramenta do modelo numérico de fluxo existente para a região. Como resultados, dentre os critérios técnicos de avaliação da outorga propostos, o critério das reservas e potencialidades por zona hídrica foi o mais relevante, cujo objetivo foi delimitar as vazões de segurança (vazões máximas explotáveis) que podem ser outorgadas para determinada zona. Foi proposto ainda um novo zoneamento hídrico com o objetivo de integrar a gestão da água subterrânea das áreas industriais (poligonal do polo) com a circunvizinhança dos municípios de Dias D'Ávila e Camaçari, cujo crescimento populacional têm aumentado a demanda por água subterrânea, cada vez mais próximas às atividades industriais do Polo. Destaca-se também a inclusão da ferramenta do modelo numérico de fluxo regional (MFNR) existente num processo metodológico de análise mais consistente. Buscou-se agregar novas informações hidráulicas / hidrogeológicas obtidas em campo às premissas de simulação das condições de rebaixamento e zonas de captura dentro do MFNR. A utilização mais consistente do MFNR conduz à locação mais adequada de futuros poços, reduzindo o risco de interferência entre os mesmos. Para continuidade de uma gestão consistente, é recomendada a constante atualização do banco de dados com novas informações que possam contribuir com as avaliações técnicas exigidas para outorga.

PALAVRAS-CHAVE: Outorga, água subterrânea, hidrogeologia.

INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos no Brasil está suportada pela Lei Federal no. 9.433/97 (BRASIL, 1997) que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Um dos instrumentos para controle e gestão dos recursos hídricos, suportada pela Lei Federal 9.433/97, é a outorga de direito de uso, cujos critérios e procedimentos são definidos pelas autoridades gestoras da bacia hidrográfica / hidrogeológica considerada.

Os Estados vêm, paulatinamente, consolidando suas respectivas legislações estaduais para inserção de critérios para outorga, porém no caso dos recursos hídricos subterrâneos os processos muitas vezes são subjetivos, não tendo aplicabilidade prática para os órgãos outorgantes.

Para que o processo de outorga ocorra conforme as premissas da Lei Federal nº. 9.433/97, deve haver uma sinergia entre questões técnicas (hidrologia, hidráulica, ecologia, qualidade ambiental, etc.), legais (competências, direito e

responsabilidade dos usuários, etc.) e políticas (mobilização social, acordos entre setores e governos para o desenvolvimento integrado e sustentável da bacia, articulação institucional, etc.) (COSTA, 2009).

Quando se trata de disponibilidade hídrica subterrânea, a definição de vazões a serem outorgadas se torna complexa, pois é difícil estimar o volume de água presente no sistema aquífero e seu aporte regular, o qual é uma função da sua área de contribuição (CAMPOS & CORREA, 2013). Além disso, para determinação da área de contribuição é necessário um profundo conhecimento da hidrogeologia da região, que nem sempre dispõe de dados suficientes para as estimativas, como explicitado por Arraes & Campos (2007) apud Campos & Correa (2013).

A região do Complexo Industrial de Camaçari (PIC), área objeto desse estudo (Figura 1), está inserida em uma extensa planície que abrange bacias hidrográficas sensíveis e com complexas relações de carga e descarga com as águas subterrâneas e sistemas estuarinos próximos, mananciais de grande importância social e econômica para a população da região metropolitana de Salvador/BA.

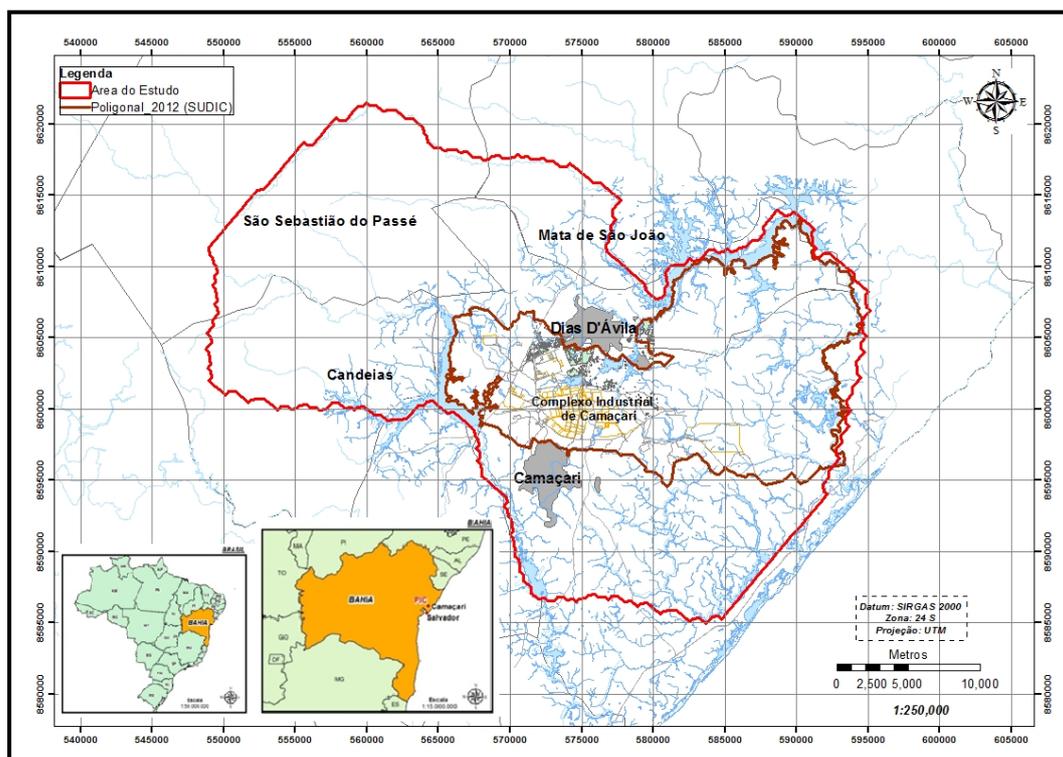


Figura 1: Localização da Área Objeto do Estudo.

Nessa área, além da previsão de instalação de novas indústrias ou empresas, cuja atividade oferece algum potencial poluidor, já existe cerca de 90 empresas dos ramos petroquímico, químico, beneficiamento de minerais, dentre outros. Adicionalmente, as cidades de Camaçari e Dias D'Ávila vêm crescendo e aumentando a demanda por água subterrânea.

Na região do PIC o processo de outorga de poços de produção para a exploração de águas subterrâneas é conduzido pelo INEMA, com suporte técnico da empresa CETREL, sempre que solicitado, para avaliação das vazões outorgáveis através de critérios específicos elaborados para a região ao longo dos anos.

Dentre os critérios considerados estão: utilização das ferramentas do zoneamento hídrico e da modelagem numérica de fluxo regional (MFNR), ambos desenvolvidos para a região no ano de 2003 e atualizados a cada três anos, para avaliação das vazões e localizações requeridas para os novos poços.

Dentre as limitações do processo atual de outorga de águas subterrâneas para a região do PIC e entorno, pode-se citar:

- Ausência de uma instrução normativa do órgão ambiental, baseada em projeto de lei aprovado, que direcione a outorga de poços localizados na região do PIC e entorno;

- A utilização das ferramentas do Zoneamento Hídrico e do Modelo Numérico de Fluxo apenas pelos usuários associados ao Comitê de Fomento do Polo Industrial de Camaçari (COFIC) para avaliação técnica das vazões de outorga para águas subterrâneas na região;
- O processo de autorização de perfuração é dissociado do processo de pedido de outorga, o que dificulta a avaliação da localização adequada, considerando critérios de zoneamento, por exemplo;
- Ausência de banco de dados integrado com informações dos poços geridos / instalados pelos principais usuários na região (EMBASA, CERB, DNPM e CETREL), impossibilita a utilização de ferramentas de análise georrefenciadas, onde poderiam ser consideradas características hidráulicas, geológicas e de risco para determinação de vazões de segurança e distância mínima entre poços, por exemplo.

O presente trabalho buscou contribuir para a melhoria da gestão dos recursos hídricos subterrâneos na região o PIC e entorno, propondo critérios técnicos para os processos de outorga de águas subterrâneas e uma metodologia para aplicação desses novos critérios.

1. METODOLOGIA

Para escolha dos critérios técnicos para o desenvolvimento metodológico referente a outorga de águas subterrâneas na região objeto do estudo, considerou-se que para o sistema aquífero do recôncavo (Marizal / São Sebastião) os processos de avaliação de outorga deveriam levar em conta a potencialidade hídrica, além de critérios que garantam a utilização de vazões sustentáveis, conforme diretrizes gerais previstas na legislação.

Para isso, foi feita a análise crítica dos critérios considerados pelas legislações estaduais no Brasil e dos critérios propostos por Campos & Correa (2013) que poderiam ser aplicados, desde que avaliadas as especificidades de cada caso estudado.

Para aplicação dos critérios sugeridos, foi necessária a proposição, obtenção / cálculo de parâmetros importantes para o conhecimento da hidrogeologia regional, foram eles:

- ✓ Proposição de Novo Zoneamento Hídrico;
- ✓ Cálculo de Reservas e Potencialidades da bacia hidrogeológica;
- ✓ Classificação de Zonas Hídricas.

O objetivo do zoneamento hídrico é facilitar o processo de gestão e tomada de decisão quanto ao uso dos recursos hídricos. Para a proposição de novo Zoneamento Hídrico, utilizou-se o zoneamento existente proposto pela CETREL e suas premissas, associado às informações de trabalhos acadêmicos sobre a geologia e hidrogeologia local, bem como estudos de vulnerabilidade conduzidos para a área.

Após definido o Zoneamento Hídrico agregando o conceito de vulnerabilidade intrínseca do aquífero, uso e ocupação do solo e áreas de risco de contaminação, foram calculadas as disponibilidades hídricas por Zona Hídrica, utilizando os conceitos de Costa (1998), com as devidas adaptações em função das quantidades / qualidade dos dados hídricos / hidráulicos disponíveis.

Para estimativas das reservas e potencialidades foram levantados dados de perfis de poços, espessura da camada produtora e parâmetros hidráulicos (K, T, vazões médias, vazões máxima, capacidade específica, dentre outros). Foram levantados da biblioteca física e digital da CETREL e devidamente tabelados, resumindo-se as informações por zona hídrica.

A estimativa das recargas anuais do aquífero é um parâmetro importante no cálculo das reservas e potencialidades. Para obtenção desse parâmetro foi realizado novo balanço hídrico com dados atualizados de precipitação da região, sendo estimados valores associados ao escoamento superficial e evapotranspiração. Como metodologia para obtenção dos mapas de precipitação, escoamento superficial e evapotranspiração foram utilizados os conceitos de balanço e análise da hidrologia básica, no entanto agregando os mesmos à premissa de separá-los por zona hídrica, uma vez que se objetiva obter as recargas por zona.

Finalmente, para classificação das zonas hídricas foi proposta condição de favorabilidade quanto à exploração de águas subterrâneas baseado nos seguintes fatores:

- ✓ Áreas comprometidas em relação à qualidade da água e riscos de contaminação, como a proximidade com áreas industriais, levando-se em conta a conexão hidráulica existente entre aquíferos livres e confinados;
- ✓ Estudos de vulnerabilidade intrínseca do aquífero já realizados por Waterloo (2003) e Santos (2010);
- ✓ Densidade de poços existentes por zona e comprometimento da disponibilidade hídrica (calculada a partir da reserva reguladora e parte da reserva permanente).

Adicionalmente, considerando que para a região do estudo de caso já existe um modelo de fluxo numérico regional (MFNR) desenvolvido, utilizou-se a ferramenta ZBUD do Visual MODFLOW para realizar um balanço hídrico, considerando as novas condições de recarga e zoneamento hídrico obtidos nesse trabalho. Assim foi possível obter as disponibilidades hídricas provenientes das áreas adjacentes e verificar a proporcionalidade das entradas e saídas, auxiliando desta forma a avaliação qualitativa das condições de favorabilidade quanto à exploração.

Finalmente, considerando os dados hidráulicos e de potencialidades integrados, bem como as condições de favorabilidade quanto à exploração, separados por zona, foi possível desenvolver a metodologia de avaliação dos processos de outorga para a área objeto do estudo.

De posse do banco de dados disponível e das ferramentas existentes e desenvolvidas em etapas anteriores, a saber, novo zoneamento hídrico, cálculo de reservas e potencialidades e classificação das zonas hídricas, assim como a modelagem matemática, foi proposta uma metodologia para análises técnicas dos processos de outorga de águas subterrâneas na região do Complexo Industrial e entorno.

2. DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO E RESULTADO OBTIDOS

2.1. CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA OUTORGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

De forma resumida, buscou-se utilizar critérios compatíveis com a legislação federal e que poderiam ser aplicados à bacia hidrogeológica de interesse para o presente estudo. A Tabela 1 resume os critérios que foram aplicados ao Estudo de Caso, os quais estão detalhados na forma de metodologia nas próximas etapas do trabalho.

Tabela 1. Critérios Técnicos para Avaliação de Processos de Outorga de Recursos Hídricos Subterrâneos

Critérios	Descrição	Aplicabilidade para a Área de Estudo
Potencialidade Hídrica Total e Real	Critério utilizado em vários estados e diretriz básica da Lei Federal 9.433/97 (garantir a sustentabilidade em qualidade e quantidade para usos múltiplos)	Pode ser obtido a partir de estimativas já realizadas ou por novo balanço hídrico aplicado à área de interesse
Favorabilidade quanto à exploração	Critério adotado no Distrito Federal, e estados de Roraima e Pernambuco, baseado em parâmetros naturais do aquífero e condições de uso e ocupação da superfície	Na área de interesse já há uma classificação por zonas que poderia ser revisada e associada a um fator de favorabilidade
Avaliação Qualitativa dos Parâmetros Hidráulicos	Campos & Correa (2013) sugerem critérios baseados em avaliação qualitativa de informações de poços existentes (vazão média dos poços, capacidade específica, rebaixamentos)	A construção de banco de dados consistente poderia embasar o uso desse critério na região
Vazão de Base da Drenagem Superficial	Relação entre a descarga de base com potencial do aquífero (CAMPOS & CORREA, 2013). Em áreas onde a interação com as águas superficiais é intensa, como no caso do Urucuia (MAIA & RODRIGUES, 2012) é importante a adoção desse critério.	A ausência de dados históricos de vazão de rios para a região e entorno, bem como as dificuldades técnicas em se estimar as áreas de abrangência para os estudos dificultam o uso desse critério.
Vazão do Poço	Vazão obtida em ensaio de vazão é adotada pela maioria dos estados, inclusive na Bahia, como critério para determinação da vazão outorgável	A definição da vazão do poço deveria ter como premissa a utilização de dados de testes escalonados, em pelo menos três estágios, com medição de nível em poço de
Qualidade da Água	Alguns estados, como em São Paulo, o aspecto da qualidade da água pode ser um fator determinante para condição de uso para fins de potabilidade.	Considerando a presença de indústrias na área de Estudo, cujo subsolo em porções mais rasas está comprometido, esse passa a ser um critério também determinante.

Fonte: Elaborado pela autora.

2.2. NOVO ZONEAMENTO HÍDRICO

O Zoneamento Hídrico proposto para o Plano Diretor do Polo Petroquímico de Camaçari, em 2013 (BAHIA, 2013), foi elaborado de forma a coincidir com a área delimitada como a Poligonal do Polo Industrial, ou seja, a gestão dos recursos hídricos na região estaria limitada a área destinada a uso industrial.

Entretanto, este trabalho propôs um novo Zoneamento Hídrico, excluindo algumas áreas onde não se tinha informações da hidráulica de poços; privilegiando as zonas onde há maior quantidade de dados físicos (poços de

produção já instalados e monitorados na rotina do Programa de Monitoramento do PIC); e, estendendo a área para as zonas urbanas (Camaçari e Dias D'Ávila), onde já ocorre substancial exploração de águas subterrâneas que interfere na gestão da exploração dos recursos hídricos pelo PIC.

Para inserção de uma abogadagem hidrogeológica estrutural na proposta de zoneamento, foi elaborado um mapa de compartimentação hidrogeológica levando-se em conta as falhas geológicas mais profundas do São Sebastião. Foi considerado o prolongamento do sistema de falhas do Mapa Geológico da CPRM (BARBOSA & DOMINGUEZ, 1996), e das falhas Leandrino e Camaçari, detalhadas por LIMA (1999).

O novo Zoneamento Hídrico foi elaborado com o auxílio do software ArcGis, buscando associar as informações estruturais dos compartimentos hidrogeológicos e o zoneamento hídrico proposto em 2013 para o Plano Diretor do PIC, além de informações sobre a vulnerabilidade intrínseca do aquífero na região do PIC e entorno, detalhado no trabalho de Santos (2010). A Figura 2 mostra o zoneamento hídrico proposto para avaliação das disponibilidades hídricas.

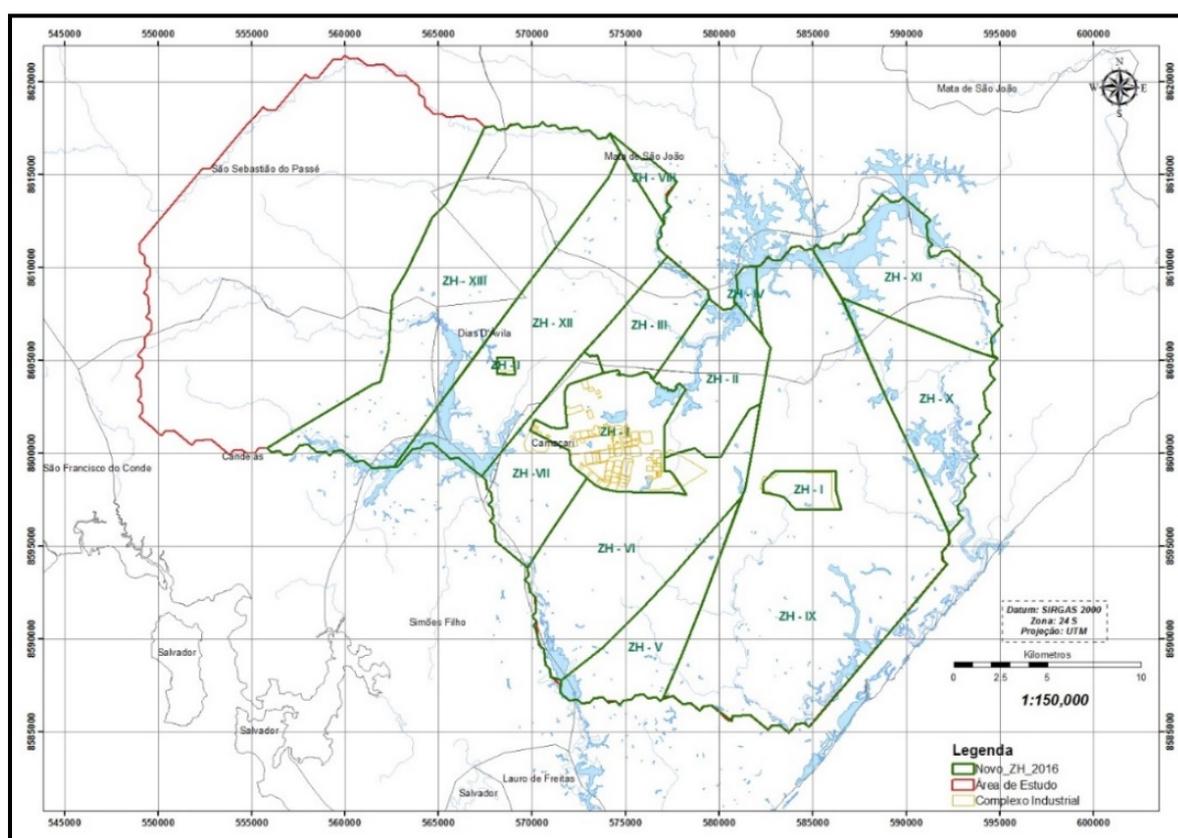


Figura 2: Novo Zoneamento Hídrico Proposto – 2016 (elaborado pela autora).

2.3. CÁLCULO DAS RESERVAS E POTENCIALIDADES

2.3.1. PARÂMETROS HIDRÁULICOS

A partir do banco de dados da CETREL foram levantados dados operacionais e hidráulicos dos poços de produção existentes na área de interesse. Poços não monitorados pela CETREL não foram considerados no levantamento, visto que haveria dúvidas quanto à efetiva operação do mesmo, bem como a qualidade dos dados coletados. Os valores absolutos / médios dos parâmetros hidráulicos estão apresentados por Zona Hídrica na Tabela 2.

Nessa tabela, além dos dados de vazão operacional obtidos a partir do monitoramento realizado pela CETREL, foram consultados os ensaios de vazão de poços realizados na instalação dos mesmos, existentes na biblioteca da CETREL.

Foram utilizados dados de vazão máxima obtida nos ensaios escalonados de vazão, rebaixamentos máximos, sendo calculados indiretamente dados de capacidade específica, transmissividade e condutividade hidráulica. Para algumas zonas não havia dados de poços disponíveis.

Tabela 2. Valores Absolutos / Médios dos Parâmetros Hidráulicos dos Poços de Produção por Zona Hídrica

Zona Hídrica	Quant. Poços	Quant. Poços em Operação	Vazão Média Operacional (m ³ /h)	Média das Vazões Máximas dos Ensaios (m ³ /h)	Média dos Rebaixamentos Máximos no Ensaio (m)	Média da Capacidade Específica (O/s) - m ² /h	Média da T máx (m ² /s)	Média da T min (m ² /s)	Média do K máx (T ^{*b}) - cm/s	Média do K min (T ^{*b}) - cm/s
ZH-I	97	26	43,82	86,34	24,50	3,66	1,54E-03	9,26E-04	1,06E-03	6,36E-04
ZH-II	3	2	8,54	68,63	55,40	1,26	5,25E-04	3,15E-04	5,05E-04	3,03E-04
ZH-III	12	8	89,20	136,81	32,18	4,44	1,85E-03	1,11E-03	1,30E-03	7,80E-04
ZH-IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZH-V	13	3	152,10	179,82	50,55	4,07	1,69E-03	1,02E-03	7,63E-04	4,58E-04
ZH-VI	28	20	158,23	187,53	35,53	5,53	2,30E-03	1,38E-03	9,38E-04	5,63E-04
ZH-VII	37	17	153,62	173,90	40,47	4,72	1,97E-03	1,18E-03	1,16E-03	6,98E-04
ZH-VIII	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZH-IX	4	1	5,00	157,92	42,55	3,51	1,46E-03	8,79E-04	7,22E-04	4,33E-04
ZH-X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZH-XI	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZH-XII	24	7	73,43	56,98	30,33	1,85	7,73E-04	4,64E-04	7,40E-04	4,44E-04
ZH-XIII	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pela autora.

2.3.2. ESTIMATIVA DA RECARGA

São diversas as metodologias conhecidas e aplicadas para quantificação de recargas, sendo dentre elas o balanço hídrico o mais aplicado. Estudos conduzidos ao longo dos anos para a região apresentam uma variabilidade de métodos e valores obtidos, como verificado na Tabela 3.

Para o sistema aquífero de interesse (Marizal / São Sebastião) o principal contribuinte de recarga é oriundo da precipitação, através da infiltração direta (LIMA, 1999; WATERLOO, 2003; SANTOS, 2010). O conhecimento desse parâmetro é forte atributo na avaliação das potencialidades hídricas na região.

Tabela 3. Quantificação de Recarga do Aquífero Marizal / São Sebastião

Autor	Premissa para determinação de Valores de Recarga	Valor Considerado (mm/ano)
HIDROCONSULT (1990) <i>apud</i> WATERLOO (2003)	Estimada vazão de estiagem dos rios Joanes e Jacuípe 40 m ³ /s	675
WATERLOO (2003)	Balanço Hídrico (P-EVT-ES) - aplicado ao modelo	550 (+arenoso) / 350 (+fino)
Para RHAMA, TUCCI (2009)	Vazão média específica das bacias Joanes e Jacuípe 14L/s.km ²	220 a 350
SANTOS (2010)	Três faixas: maior valor (250 mm/ano) ~ média dos valores estimados por TUCCI (2009) / menor valor 100 mm/ano	<100 / 100-250 / >250
PARA CETREL, VILELA (2012)	Média aproximada entre os valores da WATERLOO (2003) e TUCCI (2009)	370

Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando essa variabilidade (Tabela 3), optou-se nesse trabalho por agregar informações atualizadas de precipitação, estimar valores de evapotranspiração e escoamento superficial e efetuar um novo balanço hídrico, buscando atribuir um valor de recarga para cada zona hídrica.

Para quantificação da recarga (R), considerando os parâmetros disponíveis, foi utilizado o balanço hídrico, em regime estacionário, onde não há desequilíbrios relacionados ao armazenamento, através da expressão:

$$R = P - EVT - ES \quad (1)$$

Onde, P é a precipitação, EVT é a evapotranspiração e ES o escoamento superficial.

Como o objetivo do trabalho foi a obtenção dos parâmetros hídricos / hidráulicos por zona hídrica, todo o desenvolvimento da estimativa da recarga foi realizado utilizando ferramentas de geoprocessamento (GIS), tendo sido determinada a recarga, assim como os demais parâmetros, por zona hídrica.

Dados de precipitação foram obtidos pelo banco de dados da CETREL, onde são monitoradas oito (08) estações pluviométricas dentro da área de interesse, e banco de dados do INEMA, onde uma (01) estação da EMBASA é monitorada. Os dados de precipitação anual das estações foram então avaliados, sendo selecionado o período mínimo de 10 anos para obtenção das médias anuais, ficando excluídas algumas estações. Após seleção das estações, preenchimento de falhas e análise de consistência dos dados obteve-se dados de precipitação para geração de isoietas (Tabela 4).

De posse dos dados de precipitação anual foi construído o mapa de isoietas para a região através de ferramentas de geoprocessamento do ArcGis. Foi utilizado o método de interpolação pelo inverso da distância (IDW), que consiste na interpolação de valores de precipitação das estações, possibilitando criação de isolinhas equidistantes entre as estações.

Os valores de Evapotranspiração não são monitorados na região, mas em determinado período (1994 e 1996) foram medidos e os dados foram utilizados pela Waterloo (2003) no seu balanço hídrico. Foi obtida assim, uma média anual de 1.085 mm equivalente a evapotranspiração, que correspondeu naquele período o equivalente a 58% da precipitação anual total. Com base nessa premissa, construiu-se um Mapa de Evapotranspiração, extrapolando-se nos pontos das estações 58% dos valores de precipitação como de evapotranspiração. Tal premissa pôde ser adotada para a região, visto que os dados de precipitação e temperatura não variam muito de uma estação para a outra.

Tabela 4. Estações Pluviométricas Utilizadas para Geração das Isoietas

Intervalo Monitorado	Estação	Coordenadas UTM - SIRGAS 2000		Pluviometria média anual (mm)
		X (m)	Y (m)	
2006-2015	CETREL ETE	584.637,000	8.590.545,000	1.457
2006-2015	EE-COBRE	569.625,837	8.603.622,155	1.271
2006-2015	EE-COMPLEXO	575.015,000	8.601.528,000	1.451
2006-2015	EMBASA JOANES II	578.893,855	8.603.038,153	1.446
2006-2015	GRAVATA	572.316,842	8.597.409,142	1.168
2006-2015	LAMARAO	565.286,829	8.607.478,162	1.254

Fonte: Elaborado pela autora.

Para o cálculo do Escoamento Superficial considerou-se que esse volume é diretamente proporcional à intensidade da precipitação e ao coeficiente de escoamento C (adimensional), que depende das condições de cobertura, declividade e tipo de solo, segundo a equação:

$$ES = C \times P \quad (2)$$

Onde,

P = Precipitação

$$C = 1 - (C'_1 + C'_2 + C'_3) \quad (3)$$

Onde, C'₁ = coeficiente relacionado à declividade do terreno; C'₂ = coeficiente relacionado ao tipo de solo e C'₃ = coeficiente relacionado ao tipo de cobertura

Para o cálculo dos coeficientes atribuiu-se valores de C' para cada classe de feição dos mapas de vegetação, solo e declividade, obtidos do IBGE e CPRM, nas escalas de 1 : 1.000.000, recortados para área de interesse, conforme premissas da Tabela 5.

Tabela 5. Valores de C' para o Cálculo de C, adaptados para a Área de Interesse do Estudo.

Mapa de Declividade (Topografia)	Coefficientes (C') (C' ₁)
Plano / Suave / Ondulado (0 a 8%)	0.3
Ondulado / Forte Ondulado (8 a 45%)	0.2
Mapa de Solos (Material Predominante)	Coefficientes (C') (C' ₂)
Argilas arenosas	0.3
Areias	0.4
Cobertura (Material Predominante)	Coefficientes (C') (C' ₃)
Áreas cultivadas, brejo, restinga, etc.	0.1
Florestas	0.2
Áreas urbanas	0.3 ¹

Fonte: Adaptado WILLIAMS (1949) *apud* TUCCI (2001).

Posteriormente, utilizando as ferramentas algébricas de geoprocessamento no GIS, aplicando-se a equação (3) operacionalizaram-se os mapas de vegetação, solo e declividade para obtenção do coeficiente de escoamento

¹ Valor de C adotado pela Prefeitura de São Paulo para zonas urbanas com edificação não muito densa: 0,6 a 0,7 (WILKEN, 1978 *apud* TUCCI, 2001). De forma a adaptar para o cálculo do coeficiente de escoamento total, utilizando a equação $1 - C' = 0,7$, logo $C' = 0,3$.

superficial (C). Assim, o coeficiente C, juntamente com o mapa de precipitação, foi aplicado na equação (2), resultando no mapa do escoamento superficial.

Em uma segunda etapa, utilizando novamente as ferramentas algébricas de geoprocessamento, e aplicando a equação do balanço hídrico (1) aos mapas de precipitação, evapotranspiração e escoamento superficial obteve-se o mapa de recarga (Figura 3).

Finalmente, a partir do mapa de recarga, foram determinados os valores médios de recarga para cada Zona Hídrica, cujos resultados se aproximaram bastante dos valores calculados por outros autores, representando um resultado consistente em escala local (Tabela 6).

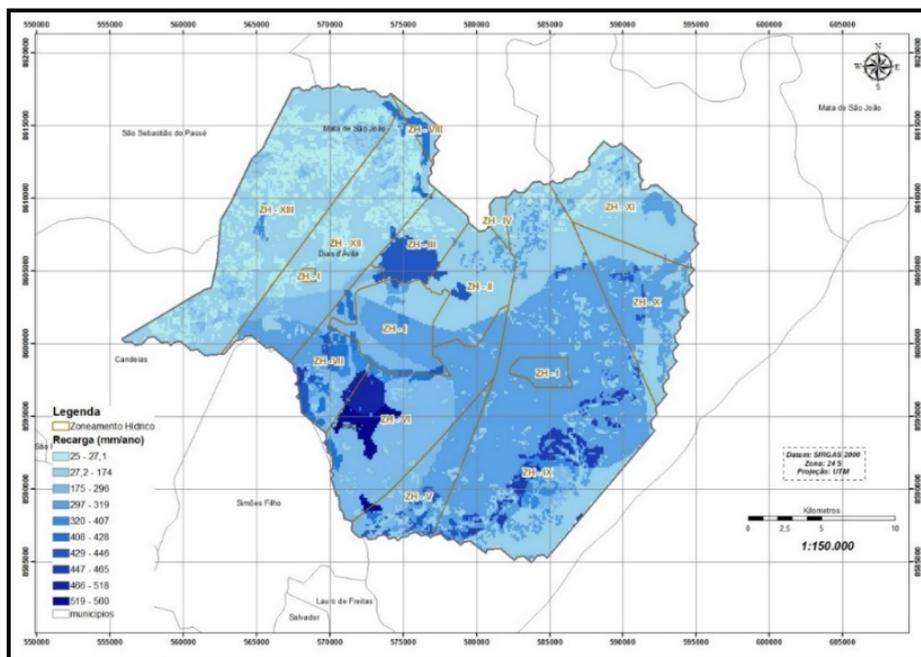


Figura 3: Mapa de Recarga na área de Interesse (elaborado pela autora)

Tabela 6. Recargas Calculadas por Zona Hídrica

Zonas Hídricas	Recarga (mm) / ano			
	Máxima	Mínima	Média	DP (desvio padrão)
ZH - I	446	26	274	67,51
ZH - II	446	27	185	93,26
ZH - III	446	27	257	165,83
ZH - IV	299	27	160	47,23
ZH - V	560	159	294	70,51
ZH - VI	558	27	325	91,07
ZH - VII	519	27	336	87,89
ZH - VIII	426	26	266	143,48
ZH - IX	466	27	265	93,88
ZH - X	439	27	235	88,14
ZH - XI	300	27	145	76,35
ZH - XII	429	26	165	101,31
ZH - XIII	423	25	123	78,07

Fonte: Elaborado pela autora.

2.3.3. RESERVAS E POTENCIALIDADES

Para o cálculo das reservas permanentes considerou-se, de forma simplificada, a equação 4, indicada para aquíferos livres, mas que também pode ser utilizada em aquíferos confinados. Onde, R_{p1} é a reserva permanente no aquífero

intersticial de bacia sedimentar (m^3), A_1 é a área de ocorrência do aquífero (m^2) e b a espessura saturada do aquífero (m) e η_{ef} a porosidade eficaz do aquífero (adimensional).

$$R_{p1} = A_1 b \eta_{ef} \quad (4)$$

Também se calcula as reservas permanentes com o parâmetro de carga potenciométrica do aquífero confinado e coeficiente de armazenamento. Contudo, devido à natureza imprecisa dos parâmetros disponíveis, e considerando que os valores de armazenamento específico estimados são bem menores que o termo “ $b\eta_{ef}$ ”, optou-se por utilizar apenas o parâmetro de espessura saturada e porosidade efetiva.

O valor de porosidade efetiva utilizado foi de $\eta_{ef} = 0,21$, média considerada para sedimentos finos arenosos por Johnson (1967) *apud* Fetter (1994).

O cálculo das reservas reguladoras foi realizado com base nas recargas anuais do aquífero. Com base na equação 5 o termo $\Delta s \eta_{ef}$ foi substituído pela recarga anual do aquífero, resultando na equação 6:

$$R_{r1} = A_3 \Delta s \eta_{ef} \quad (5)$$

$$R_{r1} = A_3 \Delta R \quad (6)$$

Onde, R_{r1} é a reserva reguladora no aquífero intersticial de bacia sedimentar (m^3), A_3 é a área de ocorrência do aquífero (m^2) e ΔR a recarga anual obtida através de balanço hídrico.

Para o cálculo da Potencialidade Hídrica (P_o), considerando que não há indícios de superexploração do aquífero na região, na atualidade, e que a espessura estimada do aquífero São Sebastião é de cerca de 1.000 m (LIMA, 1999), em uma área bastante superior à área de estudo, optou-se por utilizar o volume da reserva reguladora mais uma porcentagem da reserva permanente, equivalente a 30% dessa reserva em 50 anos (CETREL, 2012). A premissa dessa porcentagem da reserva permanente no cálculo da potencialidade hídrica é algo que suscita discussão no meio técnico, portanto, é recomendado que o presente trabalho seja atualizado futuramente, à medida que os parâmetros utilizados sofram processo de aprimoramento.

A Tabela 7 resume os resultados obtidos para os parâmetros Reserva Permanente, Reserva Reguladora e Potencialidade Hídrica por zona hídrica e cujo valor total para todas as zonas está na mesma ordem de grandeza dos cálculos apresentados por Lima (1999) e ANA (2005), obtidos através das mesmas expressões teóricas, mas por metodologias diferentes.

Neste trabalho foi considerado que os volumes de contribuição de zonas limítrofes, por terem a função de garantir a manutenção do equilíbrio dos volumes que entram e saem de uma determinada zona, não devem estar inclusas no valor calculado para a Potencialidade Hídrica.

Um critério de maior importância para o gestor que controla as condições de outorga é acompanhar a potencialidade real da zona hídrica, descontando-se as vazões já comprometidas com a outorga.

Dessa forma, a Potencialidade Hídrica Real (P_{oreal}), leva em consideração o volume que já está sendo explorado pelos usuários. A Tabela 8 mostra a Potencialidade Hídrica Real para as condições de poços outorgados até o ano de 2015, considerando o banco de dados da CETREL. A proposta para uma gestão consistente dos recursos hídricos subterrâneos é que esse parâmetro deva ser controlado na avaliação das outorgas solicitadas, ou seja, a vazão a ser descontada para obtenção da P_{oreal} será àquela já outorgada, não necessariamente a efetivamente explorada, garantindo assim a disponibilidade dos volumes já outorgados.

Tabela 7. Reservas e Potencialidades por Zona Hídrica

Zona Hídrica	Área (m ²)	Reserva Permanente (m ³ /ano)	Reserva Reguladora (m ³ /ano)	Potencialidade (Po) (m ³ /ano)
ZH - I	4,20E+07	1,24E+09	1,15E+07	1,90E+07
ZH - II	3,39E+07	6,69E+08	6,29E+06	1,03E+07
ZH - III	2,21E+07	5,97E+08	5,69E+06	9,27E+06
ZH - IV	3,17E+06	-	5,07E+05	5,07E+05
ZH - V	3,19E+07	1,37E+09	9,39E+06	1,76E+07
ZH - VI	7,48E+07	3,59E+09	2,43E+07	4,59E+07
ZH - VII	2,96E+07	1,05E+09	9,94E+06	1,63E+07
ZH - VIII	4,90E+06	-	1,30E+06	1,30E+06
ZH - IX	2,02E+08	9,86E+09	5,35E+07	1,13E+08
ZH - X	4,46E+07	-	1,05E+07	1,05E+07
ZH - XI	4,35E+07	-	6,30E+06	6,30E+06
ZH - XII	7,90E+07	1,80E+09	1,31E+07	2,39E+07
ZH - XIII	1,16E+08	-	1,42E+07	1,42E+07
TOTAL	7,28E+08	2,02E+10	1,67E+08	2,88E+08
Lima (1999)	Estimada aquífero SS-Marizal	6E+11	5E+08	5E+08
ANA (2005)	Estimada aquífero SS-Marizal		2,49E+09	4,9E+09

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 8. Potencialidade Real por Zona Hídrica

Zona Hídrica	Potencialidade (Po) (m ³ /ano)	Quan. Poços em Operação	Q média comprometida (m ³ /ano)	Potencialidade Real (P _{oreal}) Atual - 2015 (m ³ /ano)
ZH - I	18.951.428	26	8.060.514	10.890.914
ZH - II	10.305.613	2	74.810	10.230.803
ZH - III	9.271.973	8	6.250.961	3.021.012
ZH - IV	506.845	-	-	506.845
ZH - V	17.632.067	3	3.997.276	13.634.791
ZH - VI	45.864.449	20	29.107.728	16.756.721
ZH - VII	16.262.628	17	21.531.554	-5.268.927
ZH - VIII	1.304.791	-	-	1.304.791
ZH - IX	112.663.148	1	43.800	112.619.348
ZH - X	10.473.952	-	-	10.473.952
ZH - XI	6.299.888	-	-	6.299.888
ZH - XII	23.872.579	7	4.502.903	19.369.676
ZH - XIII	14.248.389	-	-	14.248.389

Fonte: Elaborado pela autora.

2.3.4. CLASSIFICAÇÃO DAS ZONAS HÍDRICAS

Para simular um balanço hídrico pelo MFNR para as zonas hídricas propostas neste trabalho, foi preciso realizar um ajuste da condição de contorno da recarga, atribuída sempre a primeira camada. Esse ajuste foi feito de modo a não alterar significativamente as condições de calibração e estabilidade do MFNR, uma vez que não é objeto desse estudo uma nova calibração e análise de sensibilidade do modelo existente. Assim, o melhor ajuste da recarga que não causou instabilidade no MFNR e manteve o RMS² inferior a 10% foi de 360 mm/ano, atribuída a toda área do modelo. Esse

² RMS – *Normalized Root Mean Squared*, representa o desvio padrão entre os valores medidos e os valores calculados pelo modelo, no Visual Modflow é um indicador do grau de calibração de um modelo, recomendados valores < 10%

valor se aproxima das médias de Tucci (2009) e Vilela (2012), ainda que superestimada em relação ao valor médio da recarga (233 mm/ano), calculada no balanço hídrico elaborado neste trabalho.

Na Tabela 9 estão resumidos os dados do balanço hídrico por zona hídrica. Os dados do balanço hídrico são comparados aos valores de disponibilidade por recarga direta (Reserva Reguladora = $Rr1$), Potencialidade Hídrica ($Po = Rr1 + 0.006 \cdot Rp1$: 30% de $Rp1$ em 50 anos) e Potencialidade Hídrica Real ($Po_{real} = Po - \text{Descarga Poços}$). O potencial de exploração indicado por zona, se refere apenas ao fator quantitativo de disponibilidade, sem considerar parâmetros de qualidade e vulnerabilidade intrínseca do aquífero.

Tabela 9. Avaliação do Potencial de Exploração com Base em Dados de Disponibilidade Hídrica

Zonas Hídricas	Vazão de entrada/saída (m ³ /ano)	Recarga (m ³ /ano)			Descarga (m ³ /ano)			Reserva Reguladora (m ³ /ano)	Potencialidade (Po) (m ³ /ano)	Potencialidade Real (Po _{real}) (m ³ /ano)	Potencial de Exploração*
		Recarga Direta	Rios / Drenagens	Entorno + áreas externas	Poços (m ³ /ano)	Rios / Drenagens	Entorno + área externa				
ZH-I	34.787.055	44%	0%	56%	27%	16%	57%	11.493.079	18.951.428	10.890.914	Alto
ZH-II	16.118.765	75%	0%	25%	9%	38%	53%	6.290.825	10.305.613	10.230.803	Alto
ZH-III	14.277.340	54%	0%	46%	17%	41%	42%	5.692.307	9.271.973	3.021.012	Médio
ZH-IV	1.597.240	68%	0%	32%	0%	62%	38%	506.845	506.845	506.845	Médio
ZH-V	19.697.955	59%	0%	41%	55%	19%	26%	9.385.890	17.632.067	13.634.791	Baixo
ZH-VI	45.654.200	58%	0%	42%	64%	15%	21%	24.297.247	45.864.449	16.756.721	Baixo
ZH-VII	36.386.120	28%	0%	71%	54%	25%	21%	9.942.067	16.262.628	-5.268.927	Baixo
ZH-VIII	7.193.055	20%	0%	80%	0%	100%	0%	1.304.791	1.304.791	1.304.791	Médio
ZH-IX	79.091.850	86%	0%	14%	0%	71%	29%	53.508.991	112.663.148	112.619.348	Alto
ZH-X	27.450.920	59%	0%	41%	3%	82%	15%	10.473.952	10.473.952	10.473.952	Alto
ZH-XI	19.397.195	74%	0%	26%	9%	75%	16%	6.299.888	6.299.888	6.299.888	Alto
ZH-XII	57.053.150	47%	1%	52%	9%	30%	61%	13.061.047	23.872.579	19.369.676	Alto
ZH-XIII	55.775.650	56%	0%	44%	0%	49%	51%	14.248.389	14.248.389	14.248.389	Alto

Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 10 descreve cada zona hídrica quanto a favorabilidade considerando tanto o potencial de exploração, como fatores ambientais de qualidade e vulnerabilidade.

Para a zona hídrica ZH-I, que representa as áreas ocupadas por unidades industriais dos ramos químico e petroquímico, verificou-se bom potencial de exploração, com mais de 50% de suas descargas para zonas hídricas adjacentes. Contudo, historicamente há registro de superexploração e de contaminação do aquífero em níveis mais profundos, tendo sido recomendada a paralisação de uma série de poços nessa região. Dessa forma, a ZH-I foi considerada não favorável à exploração de recursos hídricos subterrâneos. Como nessa área ainda está em operação 24 poços, recomenda-se que no processo de renovação de outorga, estes poços sejam reavaliados, considerando os critérios locais de risco por contaminação.

Analogamente, a ZH-II apresenta bom potencial de exploração, com mais de 50% de suas descargas para zonas hídricas adjacentes, contudo trata-se de uma área identificada como de alta vulnerabilidade intrínseca para o aquífero, sendo desta forma pouco favorável à exploração.

A zona hídrica ZH-III, tem potencialidade real relativamente baixa, entretanto, boa parte da descarga se dirige a rios e drenagens (~41%) e zonas adjacentes (~42%). Essa zona pode ser considerada como pouco favorável à exploração, mais ainda passível de ampliação.

Tabela 10. Classificação de Favorabilidade quanto à Exploração por Zona Hídrica

Zona Hídrica	Descrição	Classificação de Favorabilidade
ZH - I	Não passível de exploração por riscos de contaminação por processos industriais.	Não favorável
ZH - II	Zona passível de exploração parcial, vulnerabilidade alta	Pouco favorável
ZH - III	Zona passível de exploração parcial, vulnerabilidade alta	Pouco favorável
ZH - IV	Zona passível de exploração parcial, vulnerabilidade alta	Pouco favorável
ZH - V	Zona passível de exploração, com recomendação de controle da disponibilidade	Pouco favorável
ZH - VI	Zona passível de exploração parcial, alta densidade de poços, com recomendação de controle da disponibilidade	Pouco favorável
ZH - VII	Não passível de exploração, disponibilidade por recarga direta comprometida, recomenda-se redução da vazão	Não favorável
ZH - VIII	Zona passível de exploração, necessita de estudos adicionais para cálculo de reservas	Favorável
ZH - IX	Zona passível de exploração, com potencial de ampliação	Muito favorável
ZH - X	Zona passível de exploração, necessita de estudos adicionais para cálculo de reservas	Favorável
ZH - XI	Zona passível de exploração parcial, vulnerabilidade moderada	Favorável
ZH - XII	Zona passível de exploração, com potencial de ampliação	Muito favorável
ZH - XIII	Zona passível de exploração, com potencial de ampliação, necessita de estudos adicionais para cálculo de reservas	Muito favorável

Fonte: Elaborado pela autora.

As zonas hídricas ZH-V, VI e VII tem a maior parte de sua descarga realizada por poços (> 50%), sendo classificadas como áreas para controle / redução de exploração. Além disso, o cálculo de potencialidade hídrica real para a ZH-VII indicou disponibilidade de reserva extrapolada, apresentando fortes indícios de superexploração do recurso, o que a classifica como não favorável à exploração futura, com recomendação para redução da vazão explorada.

O balanço hídrico conduzido pelo MFNR, ainda que em condições de contorno de recarga direta superestimadas, indica que 70% da recarga da ZH-VII advém de zonas hídricas vizinhas (Tabela 9), ou seja, boa parte do recurso está sendo disponibilizado por zonas vizinhas ou pelas porções inferiores do aquífero. Assim, do ponto de vista da gestão dos processos de outorga, derivada da metodologia aqui proposta, seria recomendado, a não autorização para perfuração de novos poços e a não renovação de processos de outorga antigos, ou pelo menos, a redução de vazões já outorgadas, para que se utilize de forma sustentável as disponibilidades hídricas calculadas para a ZH-VII.

As zonas hídricas ZH-IX, X, XI, XII e XIII, as maiores em termos de extensão, representam cerca de 76% da potencialidade total real da região, ou seja, uma excelente reserva hídrica passível de ampliação para futuros empreendimentos. Enquanto, ZH-IX, X, XI, têm boa parte da descarga indo para rios e drenos, ou áreas alagadas, as zonas ZH-XII e XIII têm maior parte da descarga indo para as ZHs adjacentes (>50%).

As zonas hídricas ZH-IV e VIII são as menores em termos de extensão, da quantidade de água disponível, além de seus falhamentos geológicos poderem representar instabilidade estrutural. Assim, ambas as áreas têm pouca relevância em termos de disponibilidade e reserva hídrica para a região. A ZH-IV está localizada em uma região de alta vulnerabilidade, sendo considerada como pouco favorável à exploração.

Finalmente, para as zonas classificadas como não favoráveis (ZH-I e VII) por apresentarem riscos potenciais de contaminação por atividades industriais ou potencialidade hídrica comprometida, a proposta deste trabalho é que a outorga seja automaticamente indeferida.

Para as demais zonas propõe-se que vazões máximas outorgáveis sejam uma fração da vazão nominal esperada para aquela zona, relativa ao grau de favorabilidade quanto à exploração a que o poço está submetido. Nesse sentido, a metodologia apresentada é similar àquela aplicada no Distrito Federal pela ADASA (2006).

Os fatores de favorabilidade propostos para classificar as zonas hídras são o seguinte: pouco favorável (60% da vazão nominal do poço); favorável (80% da vazão nominal do poço); e, muito favorável (90% da vazão nominal do poço). Esses fatores são definidos considerando a premissa de sustentabilidade em se explorar menores volumes que a capacidade de exploração do aquífero (Tabela 11).

Tabela 11. Classificação de Favorabilidade quanto à Exploração por Zona Hídrica

Zona Hídrica	Classificação de Favorabilidade	Fator de Favorabilidade (%)
ZH - I	Não favorável	Não favorável
ZH - II	Pouco favorável	60
ZH - III	Pouco favorável	60
ZH - IV	Pouco favorável	60
ZH - V	Pouco favorável	60
ZH - VI	Pouco favorável	60
ZH - VII	Não favorável	Não favorável
ZH - VIII	Favorável	80
ZH - IX	Muito favorável	90
ZH - X	Favorável	80
ZH - XI	Favorável	80
ZH - XII	Muito favorável	90
ZH - XIII	Muito favorável	90

Fonte: Elaborado pela autora

2.4. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO TÉCNICA DOS PROCESSOS DE OUTORGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A metodologia proposta nesse trabalho sugere duas etapas para avaliação: a primeira etapa deve preceder a autorização de perfuração de poços com a finalidade de abastecimento humano ou industrial (concedida pelo órgão ambiental INEMA). Assim, somente após a avaliação prévia da outorga deverá ser concedida a autorização para perfuração de poços.

Nessa primeira etapa, ou avaliação prévia da outorga, devem ser avaliados os seguintes condicionantes: localização proposta, demandas e disponibilidade hídrica, favorabilidade quanto à exploração, possíveis interações com as águas superficiais, restrições em relação a riscos ambientais; além de ser feita a simulação de captura e rebaixamento utilizando o MFNR. Nessa etapa, é necessário utilizar as informações básicas de hidrogeologia e potencialidade de aquífero para cada zona hídrica da região objeto do estudo (Tabela 12, a seguir), em conjunto com ferramentas SIG.

Na segunda etapa, avaliação pós instalação do poço, o presente trabalho propõe que o requerente da outorga apresente os seguintes elementos: perfil construtivo final do poço; testes de vazão escalonados de 72 horas, com um ou mais poços de observação, para validar a vazão requerida e avaliada previamente. Uma vez avaliadas essas informações, pode-se determinar a vazão final a ser outorgada para o requerente.

Tabela 12. Condicionantes para Avaliação de Outorga para Águas Subterrâneas na Área de Estudo

Zona Hídrica	Classificação de Favorabilidade	Fator de Favorabilidade (%)	Potencialidade (Po) (m ³ /ano)	Potencialidade Real (P _{oreal}) Atual (m ³ /ano)
ZH - I	Não favorável	Não favorável	18.951.428	10.890.914
ZH - II	Pouco favorável	60	10.305.613	10.230.803
ZH - III	Pouco favorável	60	9.271.973	3.021.012
ZH - IV	Pouco favorável	60	506.845	506.845
ZH - V	Favorável	80	17.632.067	13.634.791
ZH - VI	Favorável	80	45.864.449	16.756.721
ZH - VII	Não favorável	Não favorável	16.262.628	-5.268.927
ZH - VIII	Favorável	80	1.304.791	1.304.791
ZH - IX	Muito favorável	90	112.663.148	112.619.348
ZH - X	Favorável	80	10.473.952	10.473.952
ZH - XI	Pouco favorável	60	6.299.888	6.299.888
ZH - XII	Muito favorável	90	23.872.579	19.369.676
ZH - XIII	Favorável	80	14.248.389	14.248.389

O fluxograma apresentado na Figura 4 resume a metodologia de avaliação de processos de outorga proposta nesse trabalho.

2.4.1. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO PRÉVIA DA OUTORGA

Na avaliação prévia da outorga de poços de produção para área de estudo, deve-se considerar as informações contidas nas Tabela 2 (resumo dos parâmetros hidráulicos por zona hídrica) e Tabela 12 (condicionantes para avaliação prévia da outorga). A pré-avaliação da outorga, antes da instalação do poço, deve ser composta por 5 etapas:

1. Verificação da condição de localização proposta para perfuração do poço quanto à: favorabilidade (Zoneamento Hídrico) e potencialidade hídrica (Tabela 12), utilizando ferramentas SIG.

Se parecer não favorável, considerar nova proposta de relocação de poço.

2. Verificação in situ da localização do poço para certificação da ocorrência, ou não, de interferência entre poços próximos.

Se houver interferência, considerar relocação de poço.

3. Comparação da vazão requerida com as vazões médias operacionais e vazões máximas obtidas em testes de vazão dos poços existentes na zona hídrica de interesse (Tabela 2).

Se vazão requerida for muito maior que vazões estimadas reais, realizar ajustes.

4. Avaliação da possível interação com recursos hídricos superficiais, através de estudos adicionais. Critério a ser descartado caso inexistir interação.

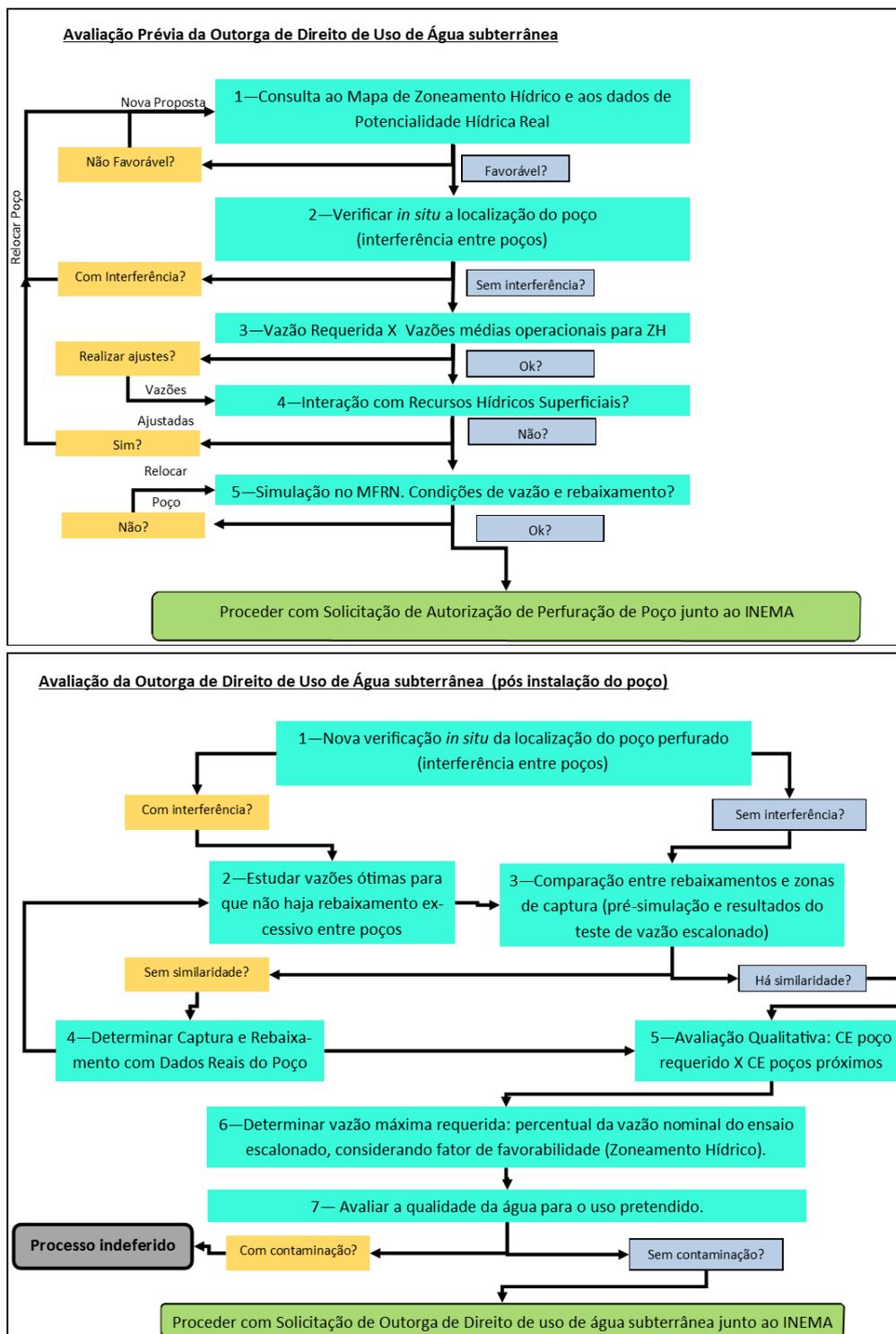


Figura 4: Critérios para Avaliação de Técnica de Outorga de Águas Subterrâneas (elaborado pela autora)

Se houver interação, proceder com relocação de poço.

5. Simulação da vazão requerida com o Modelo de Fluxo Numérico Regional (MFNR), incluindo refinamento dos dados (caso seja possível), para previsão da zona de captura e rebaixamento.

Se houver interferência entre poços, deve-se avaliar possibilidade de relocação do poço ainda na etapa de simulação prévia utilizando o Modelo de Fluxo Numérico Regional (MFNR).

Em caso de parecer favorável, é sugerido como condicionante mínimo, que após a perfuração do poço o requerente execute o teste escalonado, de 72 horas, em pelo menos três estágios, com medição de nível em poços de observação.

Os dados obtidos no teste escalonado de vazão do poço fornecerão informações importantes para o melhor conhecimento do aquífero, com dados de transmissividade, condutividade hidráulica, coeficiente de armazenamento e rebaixamentos máximos, o que poderá não apenas melhorar o nível de informações do banco de dados, como também fornecer uma melhor caracterização técnica da capacidade de produção do poço, indicando se a avaliação prévia foi pouco ou muito conservadora.

2.4.2. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA OUTORGA APÓS INSTALAÇÃO DO POÇO

Nessa etapa, os dados de campo obtidos no teste escalonado serão comparados com os dados armazenados (Tabela 2), especialmente com a capacidade específica de outros poços situados em um mesmo compartimento hidrogeológico ou zona hídrica.

Com vista a melhor gestão do aquífero na área de estudo, caso os resultados do teste escalonado não coincidam com as premissas do MFNR, sugere-se refinar as informações para novas simulações de captura e rebaixamento, de modo a verificar a possibilidade de interferência entre poços.

As etapas da avaliação final da outorga, como descritas no fluxograma da Figura 4, estão assim propostas:

1. Nova verificação in situ da localização do poço já perfurado para certificação da ocorrência, ou não, de interferência entre poços próximos.

Se houver interferência, prosseguir para 2.

Se não houver interferência, prosseguir para 3.

2. Caso se verifique interferência entre poços, estudar vazões ótimas para que não haja rebaixamento excessivo entre os poços.
3. Comparação entre os rebaixamentos e zonas de captura obtidos na pré-simulação com os resultados do teste escalonado.

Se não houver similaridade, prosseguir para 4.

Se houver similaridade, prosseguir para 5.

4. Determinar captura e rebaixamento com os dados reais do poço, obtidos a partir das leituras de nível em poços de observação, durante o ensaio escalonado. O MFNR poderá ser uma ferramenta auxiliar nesse processo. Adicionalmente, pode-se utilizar softwares específicos para os ensaios de bombeamento, como o *Aquifer Test*.
5. Avaliação qualitativa da capacidade específica do poço com a capacidade específica dos poços situados na mesma zona hídrica para determinação da vazão que poderá ser efetivamente outorgada. Recomenda-se que poços com a capacidade específica muito baixas devem ser outorgados em vazão inferior a vazão máxima obtida em teste de vazão.
6. A vazão máxima final que poderá ser outorgada para o requerente corresponderá a um percentual da vazão calculada para o poço, considerando o fator de favorabilidade indicado para a zona hídrica, conforme Tabela 22.
7. Avaliação da qualidade da água, considerando os resultados obtidos no ensaio de laboratório.

Se houver suspeita de contaminação por compostos orgânicos hidrocarbonetos ou organoclorados, o poço deverá ser isolado e o processo de outorga negado.

3. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os critérios propostos para avaliação técnica dos processos de outorga na área de entorno do Complexo Industrial de Camaçari foram: Potencialidade Hídrica Total e Real; Favorabilidade quanto à exploração; Avaliação Qualitativa dos Parâmetros Hidráulicos; Vazão de Base de Drenagem Superficial, Vazão do poço obtida em Ensaio de Vazão; Qualidade hidroquímica do Poço.

A utilização dos critérios citados acima, no entanto, não é tarefa simples, tendo sido desenvolvidas algumas ferramentas de análise para proposição de uma metodologia de avaliação do processo de outorga. Foram elas: A proposição de novo Zoneamento Hídrico, o cálculo de reservas e potencialidades para a região e a classificação das zonas hídricas quanto à exploração.

O novo zoneamento hídrico aqui proposto objetiva integrar a gestão interna do polo, limitada às áreas industriais (poligonal do polo) à circunvizinhança que vem crescendo e aumentando as demandas por águas subterrâneas, especialmente os municípios de Dias D'Ávila e Camaçari, cada vez mais próximas das atividades industriais do polo. Além disso, agrega o fator relacionado ao compartimento hidrogeológico, considerando as particularidades de cada bloco estrutural. O zoneamento proposto buscou ainda integrar os estudos de vulnerabilidade intrínseca realizados por Santos (2010) e o zoneamento das áreas de risco por contaminações associadas a atividades industriais.

Dentre os critérios de avaliação dos processos de outorga propostos, o critério mais relevante e que importante do ponto de vista da gestão foi da avaliação das reservas e potencialidades, por zona hídrica, onde a metodologia desenvolvida busca avaliar tecnicamente as vazões de segurança (vazões máximas explotáveis) que podem ser outorgadas para determinada zona.

O cálculo das reservas explotáveis, utilizou como premissa o volume da reserva reguladora, mais uma parcela da reserva permanente equivalente a 30% do valor total em 50 anos (CETREL, 2012), considerando que não há indícios de superexploração do aquífero na região, na atualidade, e que a espessura estimada do aquífero São Sebastião é da faixa de 1.000 m (Petrobras), em uma área bastante superior à área de estudo. A determinação desse valor da reserva permanente no cálculo das vazões de segurança é algo que sucinta discussão no meio técnico, portanto, é recomendado que o trabalho desenvolvido seja atualizado em condições futuras, a medida que os parâmetros utilizados possam ser aprimorados.

A zona hídrica I foi classificada como não favorável a exploração de recursos hídricos subterrâneos, especialmente em função do risco de contaminação por atividades industriais, além disso, no passado a porção central já apresentou problemas relacionados à superexploração, provocando o rebaixamento do aquífero regionalmente. Nessa área atualmente ainda operam 24 poços e recomenda-se que no processo de renovação de outorga, os poços sejam reavaliados, considerando os critérios locais de risco por contaminação.

Em relação às demais zonas, a mais crítica em relação à gestão sustentável dos recursos é a zona hídrica VII, onde a potencialidade real calculada ($16.262.628 \text{ m}^3/\text{ano}$) foi inferior à disponibilidade demandada ($21.531.554 \text{ m}^3/\text{ano}$), e inferior ao volume outorgado ($20.600.600 \text{ m}^3/\text{ano}$). Nesse caso, a sustentabilidade dos recursos em curto prazo pode vir a ser comprometida.

Nesse trabalho o cálculo das potencialidades reais (P_{real}) levou em consideração os volumes efetivamente explotados, contudo, do ponto de vista da gestão, o cálculo das potencialidades deveria considerar os volumes outorgados para os usuários, de maneira conservadora, inclusive buscando revisar outorgas já concedidas, na tentativa de reduzir os volumes outorgados, sempre que possível, de modo a aumentar a oferta de água para a região.

Finalmente, as ferramentas e dados disponíveis (Potencialidades, Zoneamento Hídrico, MFNR,) devem suportar um processo metodológico de avaliação das outorgas, agregando valor a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos na região do Polo Industrial de Camaçari e entorno.

Como recomendação de trabalhos futuros, são sugeridos:

- A criação de uma instrução normativa, baseada em projeto de lei aprovado, poderia melhor direcionar os processos de outorga na região, e o trabalho aqui desenvolvido, poderia subsidiar esse documento.
- Estudos para viabilização de banco de dados integrado com informações dos poços geridos / instalados pelos principais usuários na região (EMBASA, CERB, DNPM e CETREL), onde poderiam ser consultadas características hidráulicas, geológicas e de risco para determinação de vazões de segurança e distância mínima entre poços, por exemplo.
- Ampliação de estudos de vulnerabilidade do aquífero, incluindo toda a área de abrangência do modelo de fluxo numérico regional, buscando refinar o zoneamento hídrico.
- Ampliação de estudos hidrogeológicos que busquem mapear zonas de falhamentos, melhorando detalhamento dos blocos estruturais, com o objetivo de definir os compartimentos hidrogeológicos que podem ser explorados na região.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADASA. Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal. Resolução / Adasa nº. 350, de 23 de junho de 2006. Estabelece os procedimentos gerais para requerimento e obtenção de outorga do direito de uso dos recursos hídricos em corpos de água de domínio do Distrito Federal e em corpos de água delegados pela União e Estados. Diário Oficial do Distrito Federal – DODF de 10 de julho de 2006.
2. ANA (Brasil). Agência Nacional de Águas. Cadernos de Recursos Hídricos. Disponibilidades e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil. Brasília, 2005.
3. BARBOSA, J. S. F.; DOMINGUEZ, J. M. L. Mapa Geológico do Estado da Bahia, texto explicativo. 1996.
4. BAHIA (Estado). Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração do Estado da Bahia – SICM. Plano Diretor do Polo Industrial de Camaçari. Governo do Estado da Bahia. Salvador. Bahia. 2013.
5. CAMPOS, J. E. G.; CORREA, P. M. Critérios para Determinação de Vazões Outorgáveis em Mananciais Subterrâneos: Aplicação no Distrito Federal. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 32, n.1, p. 23-32, 2013.
6. CETREL. Consolidação dos Dados do PGRH na Região de Influência do Complexo Industrial de Camaçari: Período de 2011-2012. Relatório Interno CET-CFC-02-294-13-0. Novembro/2013.
7. CETREL. Gestão Integrada e Zoneamento dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Complexo Industrial de Camaçari. Relatório Interno CET-CFC-03-281-15-0. Dezembro/2015.
8. CETREL. Plano de Gestão Integrada e Zoneamento dos Recursos Hídricos no Polo Industrial de Camaçari. Relatório Interno. Abril/2012.
9. COSTA, M. L. M.. Estabelecimento de Critérios de Outorga dos Direitos de Uso das Águas Subterrâneas. Dissertação de Mestrado. Campina Grande, Paraíba. Fevereiro, 2009.
10. COSTA, W. D. Avaliação de Reservas, Potencialidades e Disponibilidades de Aquíferos. In: ABAS, X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Anais. São Paulo. 1998.
11. FETTER, C. W. *Applied Hydrogeology. Third Edition. University of Wisconsin – Oshkosh.* ISBN 0-02-336490-4. Prentice Hall. 691 p. 1994.
12. IBGE – EMBRAPA. Mapa de Solos do Brasil. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php
13. LIMA, O. A. L. Caracterização Hidráulica e Padrões de Poluição no Aquífero Recôncavo na Região de Camaçari – Dias D’Ávila. Maio de 1999. 123 f. Tese (Submetida para Concurso Público de Professor Titular) – Departamento de Geologia e Geofísica Aplicada do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia. Maio de 1999.
14. MAIA, P. H. P.; RODRIGUES, Z. R. C. Estratégias para Gestão das Águas Subterrâneas do Aquífero Urucuia da Região Oeste do Estado da Bahia. XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Outubro/2012.
15. SANTOS, P.R. P. Estudo da Vulnerabilidade à Poluição do Aquífero Marizal na Região de Influência do Polo Industrial de Camaçari (PIC) – BA. Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo – MEPLIM. Departamento de Engenharia Ambiental. Universidade Federal da Bahia, UFBA. Salvador. Bahia. Out/2010.
16. WATERLOO BRASIL; CETREL SA. Zoneamento dos Recursos Hídricos Subterrâneos na Região do Polo Petroquímico de Camaçari/BA. Relatório interno. Junho de 2003.

17. TUCCI, C.E.M.; MENDES, C.A.. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Capítulos 5, 7, 11 e 14. Organizado por Carlos E. M. Tucci. – 2.ed: 2. Reimpr. Ed. Universidade UFRGS. ABRH. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2001.
18. TUCCI, C. E, M. para RHAMA Consultoria Ambiental Ltda. Gestão de Recursos Hídricos Superficiais no Pólo Industrial de Camaçari. Março, 2009.