

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

João Paulo da Silva Santos

**Simulação de modelo de cobrança pelo uso da água subterrânea: estudo de
caso aquífero Barreiras, Maceió - AL**

Maceió

2023

João Paulo da Silva Santos

Simulação de modelo de cobrança pelo uso da água subterrânea: estudo de caso aquífero Barreiras, Maceió - AL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Professora Dra. Cleuda Custódio Freire.

Maceió

2023

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

S237s

Santos, João Paulo da Silva.

Simulação de modelo de cobrança pelo uso da água subterrânea : estudo de caso aquífero Barreiras, Maceió - AL / João Paulo da Silva Santos. – Maceió, 2023.

54 f. : il. color.

Orientadora: Cleuda Custódio Freire.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 52-54.

1. Gestão de recursos hídricos. 2. Água subterrânea. 3. Aquífero Barreiras – Maceió (AL). 4. Cobrança pelo uso da água. I. Título.

CDU: 556.33

Folha de Aprovação

AUTOR: João Paulo da Silva Santos

Simulação de modelo de cobrança pelo uso da água subterrânea: estudo de caso
aquífero Barreiras, Maceió - AL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária, do Centro de
Tecnologia da Universidade Federal de
Alagoas, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental e Sanitária.



Documento assinado digitalmente
CLEUDA CUSTODIO FREIRE
Data: 27/04/2023 20:31:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professora Dra. Cleuda Custódio Freire - Universidade Federal de Alagoas
(Orientadora)

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
ROCHANA CAMPOS DE ANDRADE LIMA SAI
Data: 27/04/2023 18:14:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professora Dra. Rochana Campos de Andrade Lima Santos - Universidade
Federal de Alagoas



Documento assinado digitalmente
EDUARDO LUCENA CAVALCANTE DE AMOR
Data: 27/04/2023 11:03:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim - Universidade Federal de
Alagoas

RESUMO

As águas subterrâneas têm uma grande importância no abastecimento de água do Brasil. Em função disso, esse recurso vem passando por superexploração, pois ainda não há uma aplicação efetiva das ferramentas de gestão para inibir o uso desenfreado. A ferramenta mais conhecida e mais utilizada é a outorga, mas, por muitas vezes, apenas a sua implementação se mostra insuficiente para a preservação dos recursos hídricos. Uma outra ferramenta de gestão que vem sendo difundida pelo país e tem sua implementação prevista em lei, é a cobrança pelo uso da água, na qual tem o objetivo de garantir disponibilidade e qualidade da água. Para assegurar a implementação da cobrança existem leis, como é o caso da 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), e as Leis Estaduais N° 7.094/2009 e N° 5.965/1997 que se referem à preservação das águas subterrâneas e à instituição da Política Estadual de Recursos Hídricos, respectivamente. Nas regiões em que a ferramenta de cobrança está implementada, são adotados, muitas vezes, o mesmo modelo para as águas superficiais e subterrâneas, não levando em consideração as características importantes dos aquíferos, tais como: tipo de confinamento, vulnerabilidade, disponibilidade etc. Portanto, este trabalho tem como objetivo propor um modelo de cobrança pelo uso das águas subterrâneas de modo a considerar peculiaridades dos aquíferos e suas demandas, realizando um estudo de caso no aquífero Barreiras. Como método, realizou-se pesquisas relacionadas à cobrança pelo uso da água no Brasil e no Estado de Alagoas, com enfoque para a situação referente à implementação dos modelos já propostos; a partir desse levantamento foi realizado uma análise das características e do balanço hídrico do aquífero Barreiras para subsidiar na sugestão de critérios e condicionantes na proposição do modelo. Com isso, o modelo proposto é representado pela seguinte equação: $VC = Q_{outorgada} \times PPU_{cap} \times K_{uso} \times K_{confinamento} \times K_{vulnerabilidade} \times K_{disponibilidade}$, onde $Q_{outorgada}$ é o valor da vazão outorgada para determinado poço, PPU_{cap} é referente ao preço público unitário, e K_{uso} , $K_{confinamento}$, $K_{vulnerabilidade}$ e $K_{disponibilidade}$ são os coeficientes de tipo do uso, confinamento, vulnerabilidade e disponibilidade do aquífero, respectivamente. O estudo de caso foi dividido em duas partes, primeiro utilizou-se dez poços para observar detalhadamente a aplicação do modelo e suas variações, e após definidos os critérios, o modelo foi aplicado para todos os poços vigentes na área

de estudo. Também foi realizado uma comparação para a mesma região com um modelo proposto pela SEMARH, com a finalidade de avaliar o impacto na arrecadação com a mudança de critérios. Obteve-se como resultado uma arrecadação anual de aproximadamente R\$ 200 mil para os poços contidos no aquífero Barreiras que estão vigentes (230) e estima-se uma arrecadação de cerca de R\$ 700 mil por ano para todo o Estado, esses valores seriam revertidos em ações para proteger os aquíferos e melhorar suas condições. Entende-se que o trabalho apresentou os resultados esperados e algumas sugestões podem melhorar o modelo, como é o caso da mudança da vazão outorgada para vazão medida, na qual representaria um valor mais justo e a cobrança de um valor mínimo de R\$ 120,00 para as captações.

Palavras-chave: Arrecadação; Preservação de aquíferos; Gestão de Recursos Hídricos.

ABSTRACT

Groundwater is of great importance in Brazil's water supply. Because of this, this resource has been undergoing overexploitation, since there is still no effective application of management tools to inhibit unrestrained use. The best-known and most widely used tool is water allocation, but, in many cases, its implementation alone is insufficient to preserve water resources. Another management tool that has been disseminated throughout the country, and whose implementation is foreseen by law, is the charging for the use of water, which has the objective of guaranteeing the availability and quality of water. To ensure the implementation of charging there are laws, such as 9.433/1997, which establishes the National Water Resources Policy (PNRH), and the State Laws N° 7.094/2009 and N° 5.965/1997, which refer to the preservation of groundwater and the institution of the State Water Resources Policy, respectively. In regions where the charging tool is implemented, the same model is often adopted for surface and groundwater, not taking into account important characteristics of aquifers, such as: type of confinement, vulnerability, availability, etc. Therefore, this work aims to propose a charging model for groundwater use in order to consider aquifer peculiarities and their demands, performing a case study in the Barreiras aquifer. As a method, it was carried out research related to charging for water use in Brazil and in the state of Alagoas, focusing on the situation regarding the implementation of the models already proposed; from this survey it was carried out an analysis of the characteristics and the hydric balance of the Barreiras aquifer to subsidize the suggestion of criteria and conditioning factors in the model proposition. With this, the proposed model is represented by the following equation: $VC = Q_{outorgada} \times PPU_{cap} \times K_{uso} \times K_{confinamento} \times K_{vulnerabilidade} \times K_{disponibilidade}$, where $Q_{outorgada}$ is the value of the flow rate granted for a given well, PPU_{cap} refers to the unit public price, and K_{uso} , $K_{confinamento}$, $K_{vulnerabilidade}$ and $K_{disponibilidade}$ are the type coefficients of aquifer use, confinement, vulnerability and availability, respectively. The case study was divided into two parts, first ten wells were used to observe in detail the application of the model and its variations, and after the criteria were defined, the model was applied to all the wells in the study area. A comparison was also made for the same region with a model proposed by SEMARH, in order to evaluate the impact on revenue with the change in criteria. The result was an annual revenue of approximately R\$ 200

thousand for the wells contained in the Barreiras aquifer that are in effect (230) and an estimated revenue of about R\$ 700 thousand per year for the entire state, which would be invested in actions to protect the aquifers and improve their conditions. It is understood that the work presented the expected results and some suggestions can improve the model, as is the case of the change of the authorized flow rate for measured flow rate, which would represent a fairer value and the charging of a minimum value of R\$ 120,00 for water catchment.

Keywords: Collection; Aquifer Preservation; Water Resources Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cobrança pelo uso de recursos hídricos no Brasil – Bacias Estaduais.....	18
Figura 2 – Situação da cobrança pelo uso da água em Minas Gerais	21
Figura 3 – Situação da cobrança pelo uso da água em São Paulo	22
Figura 4 – Cobrança pelo uso de recursos hídricos no Brasil – Bacias Federais.....	26
Figura 5 – Unidades Estaduais de Gestão de Recursos Hídricos.....	28
Figura 6 – Localização de Maceió.....	31
Figura 7 – Geologia de Maceió	32
Figura 8 – Sub Barreiras e perfis geológicos.....	33
Figura 9 – Hidrografia de Maceió	34
Figura 10 – Esquema referente a disponibilidade do aquífero	36
Figura 11 – Poços iniciais selecionados para o estudo de caso	43
Figura 12 – Vulnerabilidade do aquífero Barreiras	44
Figura 13 – Poços utilizados no estudo de caso	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características consideradas para o cálculo do custo da água.....	16
Quadro 2 – Resumo dos modelos de cobranças estaduais	24
Quadro 3 – Resumo de critérios referente as águas subterrâneas	46

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Parâmetros do Aquíferos Barreiras	35
Tabela 2 – Resultados dos cálculos de disponibilidade	38
Tabela 3 – Coeficiente K_{uso}	40
Tabela 4 – Coeficiente $K_{confinamento}$	41
Tabela 5 – Coeficiente $K_{vulnerabilidade}$	41
Tabela 6 – Parâmetros utilizados na aplicação do modelo da SEMARH	45
Tabela 7 – Resultados iniciais da aplicação do modelo	48
Tabela 8 – Resultados da aplicação do modelo	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1	Políticas de Recursos Hídricos	15
3.2	Cobrança pelo uso da água	17
3.2.1	Cobrança em bacias hidrográficas estaduais.....	17
3.2.2	Cobrança em bacias hidrográficas federais	26
3.2.3	Cobrança pelo uso da água em Alagoas	28
4	ÁREA DE ESTUDO	31
4.1	Localização	31
4.2	Aspectos Físicos	31
4.3	Aquífero Barreiras	34
5	METODOLOGIA	36
5.1	Estudo de caso	42
6	RESULTADOS	46
7	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas são de fundamental importância para o abastecimento de água no Brasil, mesmo assim o seu gerenciamento é precário devido à superexploração, falta de rede de monitoramento, falta de dados de taxa de uso, limites, qualidade e vulnerabilidade, acarretando sua poluição (GOETTEN, 2015).

Yassuda (1993) defende a gestão dos recursos hídricos, pois a disponibilidade desses recursos é de fundamental importância para o desenvolvimento dos seres vegetais e animais, e o contato do homem com a água pode ser maléfico caso ocorra o uso desordenado e não consciente. Por isso, o uso de ferramentas de gestão, como a cobrança pelo uso da água, vem ganhando força no cenário nacional.

Portanto, a importância dessa cobrança se dá devido à necessidade de preservação dos corpos hídricos, uma vez que ela é um bem de consumo finito. Todavia, é preciso criar, ou pôr em prática, mecanismos que desestimulem a captação indiscriminada e o uso desenfreado da água, principalmente das águas subterrâneas, que, geralmente, não recebem uma atenção específica em relação às águas superficiais.

A Lei Nº 9.433/1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) junto ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, com o objetivo de assegurar a disponibilidade e qualidade da água utilizada para consumo, promovendo a preservação e o uso consciente e sustentável.

No art. 32, da PNRH, foi criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, no qual, um dos objetivos é promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos, mas nem todos os estados brasileiros aplicam essa ferramenta de gestão. A exemplo, temos o estado de Alagoas, que não tem um mecanismo de cobrança implementado, tanto para as águas subterrâneas quanto para as superficiais.

A cobrança pelo uso da água no Brasil tem como um dos marcos principais sua aplicação no Estado do Ceará em 1996, após isso, apenas em 2004 outro estado iniciou a cobrança, no qual foi o Rio de Janeiro. Outros eventos ditos como principais, na história do país, são as criações do PNRH, que institui a cobrança como instrumento de gestão em 1997, e a Lei nº 9.984/00 que cria a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) no ano de 2000.

A primeira bacia hidrográfica de dominialidade da união a dar início a cobrança foi a bacia do rio Paraíba do Sul em 2003, sucedida pelas bacias PCJ - Piracicaba, Capivari e Jundiaí (2006), rio São Francisco (2010), sendo a que mais arrecadou até 2022, Rio Doce (2011), rio Paranaíba e do rio Verde Grande (2017).

No entanto, a implantação da cobrança pela água subterrânea no Brasil ainda caminha a passos lentos, uma vez que os modelos de cobranças que funcionam no país são extremamente voltados para as águas superficiais sem considerar particularidades dos aquíferos nas captações subterrâneas.

Portanto, há a necessidade de evidenciar a importância de criar modelos de cobrança específicos que ponderem as fragilidades dos aquíferos, e esse trabalho busca isso alinhado com o desejo de apresentar um modelo específico para as águas subterrâneas.

2 OBJETIVOS

A seguir estão dispostos os objetivos gerais do trabalho, assim como seus objetivos específicos.

2.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo geral propor critérios para composição de um modelo matemático de cobrança pelo uso das águas subterrâneas. Para tanto, será realizado um estudo de caso no aquífero Barreiras, situado na cidade de Maceió, de forma que essa cobrança seja condizente com o tipo de uso da água, o tipo do aquífero e suas condições.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos se referem às etapas necessárias para que o objetivo geral seja alcançado e, para tal, pretende-se:

- Diagnosticar a situação da cobrança de águas subterrâneas no país;
- Definir critérios para o modelo com base no diagnóstico da região;
- Sugerir, a partir da aplicação de cenários, um modelo de cobrança que melhor se adeque à realidade do local tendo como base inicial o aquífero e suas demandas.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na fundamentação teórica buscou-se evidenciar referências com o objetivo de expressar definições e visões consideradas importantes para o trabalho.

3.1 Políticas de Recursos Hídricos

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) foi instituída pela Lei Federal Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, na qual tem como fundamentos: a água como um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; uso prioritário dos recursos hídricos sendo o consumo humano e a dessedentação de animais; uso múltiplo das águas proporcionado pela gestão dos recursos hídricos; bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da PNRH e gestão dos recursos hídricos descentralizada com a participação do Poder Público (BRASIL, 1997).

Os objetivos da PNRH são, garantir a disponibilidade de água juntamente com seus padrões de qualidade; promover a utilização racional e integrada dos recursos hídricos; prevenir eventos naturais críticos, sejam eles naturais ou antrópicos, e incentivar o aproveitamento das águas pluviais (BRASIL, 1997).

Na referida lei, a cobrança pelo uso de recursos hídricos é apresentada como um dos instrumentos de gestão e nela são definidos seus objetivos, diretrizes e as competências referentes a sua aplicação.

A Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH) e o Sistema Estadual de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos foram instituídos em Alagoas pela Lei Nº 5.965 de 10 de novembro de 1997. A política apresenta, dentre outras coisas, seus objetivos, diretrizes gerais de ações e seus instrumentos.

Com relação à cobrança pelo uso dos recursos hídricos, o capítulo V da Política Estadual apresenta suas principais diretrizes, sendo uma delas os itens que devem ser levados em consideração para o cálculo do custo da água, nos quais estão dispostos no Quadro 1.

Quadro 1 – Características consideradas para o cálculo do custo da água

Item	Características
I	Classe de uso preponderante em que for enquadrado o corpo d'água objeto do uso;
II	Características e o ponto de utilização;
III	Prioridades regionais e das bacias hidrográficas;
IV	Funções: natural, social e econômica;
V	Época da retirada;
VI	Uso consuntivo;
VII	Valor relativo da vazão comprometida e da vazão retirada em relação às vazões de referência para o licenciamento;
VIII	Nível de quantidade e da qualidade de devolução da água. desde que limitado pela legislação em vigor;
IX	Disponibilidade hídrica local;
X	Necessidade de preservar;
XI	Grau de regularização assegurado por obras hidráulicas;
XII	Condições sócio-econômicas do usuário;
XIII	Princípio da tarifa progressiva com o consumo.

Fonte: Alagoas (1997)

A Lei Nº 5.965/1997 institui, também, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH/AL) e o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FERH/AL), que tem como uma das fontes os valores arrecadados por cobrança pelo uso da água.

No estado de Alagoas, a Lei Nº 7.094, de 2 de setembro de 2009, dispõe sobre a preservação e proteção das águas subterrâneas e indica os instrumentos de gestão, os quais são:

- **Planos de Recursos Hídricos:** Plano que deve conter as informações necessárias para a realização do gerenciamento integrado das águas.

- **Enquadramento dos corpos de água subterrânea:** Se refere ao enquadramento do aquífero, segundo a legislação, de suas características hidrogeológicas e suas formas de uso.
- **Outorgas do direito de uso:** Direito de uso das águas subterrâneas condicionada a critérios que proporcionem a gestão integrada das águas.
- **Sistemas de gestão de recursos hídricos:** Sistema que deve conter dados qualitativos e quantitativos referente as águas subterrâneas.
- **Cobrança pelo uso das águas subterrâneas:** Valor cobrado pela utilização dos recursos hídricos subterrâneos, segundo critérios estabelecidos em legislação.

3.2 Cobrança pelo uso da água

A cobrança pelo uso da água, assim como a outorga do direito de uso e o enquadramento do corpo hídrico, é um instrumento fundamental para o gerenciamento das águas, sejam elas subterrâneas ou superficiais.

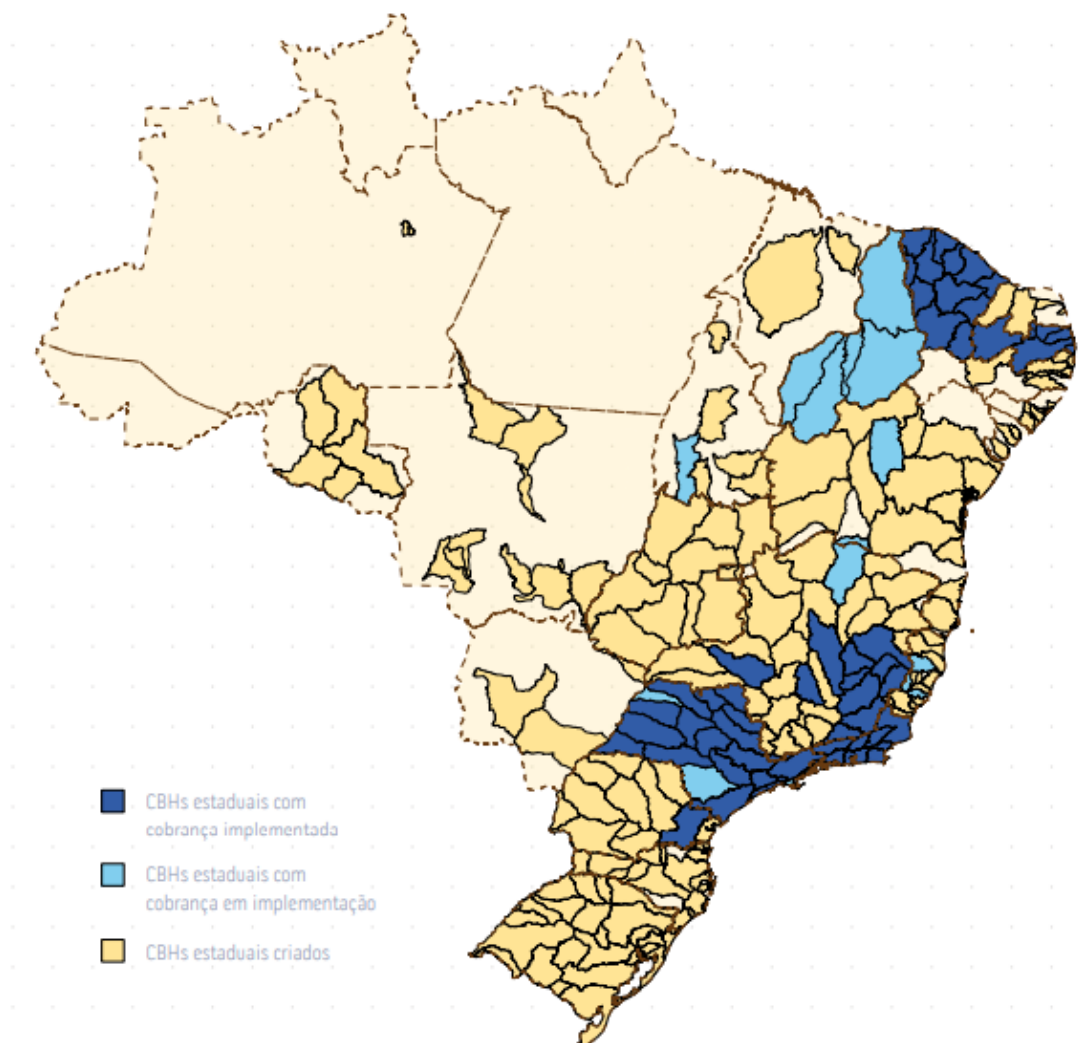
A cobrança tem como objetivo racionalizar o seu uso e demonstrar ao usuário que é um bem econômico e deve ser valorizado. E tal cobrança é primordial para a manutenção dos corpos hídricos, uma vez que serve para financiar programas do Plano Nacional de Recursos Hídricos (ANA, 2007). A estrutura da equação, majoritariamente, utilizada para determinar o valor da cobrança é apresentada na Equação 1.

$$\text{Cobrança} = \text{Vazão de captação} \times \text{Preço unitário para captação} \times \text{Coeficiente} \quad (1)$$

3.2.1 Cobrança em bacias hidrográficas estaduais

A lei nº 9.433, de 1997, no seu inciso VI do art. 38, estabelece aos Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) a competência da proposição do modelo de cobrança pelo uso da água, ao Conselho de Recursos Hídricos de cada região. Na Figura 1 é possível observar a distribuição de cobranças implementadas em bacias estaduais, no qual, é consideravelmente baixo.

Figura 1 – Cobrança pelo uso de recursos hídricos no Brasil – Bacias Estaduais



Fonte: ANA (2019)

Alguns estados Brasileiros são referência quando se trata de cobrança pelo uso da água, podem ser citados Ceará, Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Paraíba, Espírito Santos, Tocantins, Bahia e Piauí.

Ceará

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos, está implementada em todas as bacias do Estado do Ceará. De acordo

com o Decreto nº 33.920 de 03 de fevereiro de 2021, publicado no diário oficial do referido Estado, estabelece a fórmula para cobrança apresentada na Equação 2.

$$T(u) = T \times V_{ef} \quad (2)$$

Onde,

- $T(u)$ = Tarifa do usuário;
- T = Tarifa padrão sobre volume consumido;
- V_{ef} = Volume mensal consumido pelo usuário.

Vale destacar que a tarifa do usuário varia de acordo com os seguintes tipos de uso: abastecimento público, indústria, piscicultura, carcinicultura, água mineral e potável de mesa, irrigação, irrigação em perímetro público ou irrigação provada com captações em mananciais, serviços e comércios e demais categorias de uso.

Rio de Janeiro

A cobrança também foi implementada em todo o Estado do Rio de Janeiro, para o uso das águas superficiais e subterrâneas, na qual é executada pelo Instituto Estadual do Ambiente – INEA. O mecanismo utilizado para tal (Equação 3) é definido pela Lei Estadual Nº 4.247/2003.

$$\text{Cobrança mensal total} = Q_{cap} \times [K_0 + K_1 + (1 - K_1) \times (1 - K_2 \times K_3)] \times PPU \quad (3)$$

Onde,

- Q_{cap} = Volume de água captada durante um mês ($m^3/mês$).
- K_0 = Multiplicador de preço unitário para captação (atualmente 0,4 e definido pela Superintendência Estadual de Rios e Lagoas – SERLA).
- K_1 = Coeficiente de consumo para a atividade do usuário em questão, ou seja, a relação entre o volume consumido e o volume captado pelo usuário ou o índice correspondente à parte do volume captado que não retorna ao manancial.
- K_2 = Relação entre a vazão efluente tratada e a vazão efluente bruta.
- K_3 = Nível de eficiência de redução de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) na Estação de Tratamento de Efluentes.

- PPU= Preço Público Unitário correspondente à cobrança pela captação, pelo consumo e pela diluição de efluentes, para cada m³ de água captada (R\$/m³). Estabelecido pela Resolução INEA nº 197 de 08 de abril de 2020.

Importante destacar que, na Lei 4.247/2003 e na resolução INEA 197/2020 não fica explícito a aplicação do modelo para águas subterrâneas.

Minas Gerais

No Estado de Minas Gerais a Cobrança se iniciou em 2010 e ocorre de forma gradativa em suas bacias (Igam, 2022). Atualmente existem 24 bacias que adotam a cobrança pelo uso da água no Estado, onde cada CBH adotou uma metodologia e foi aprovada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH-MG. Na Figura 2 é possível observar quais bacias estão com a ferramenta de cobrança implementada no Estado.

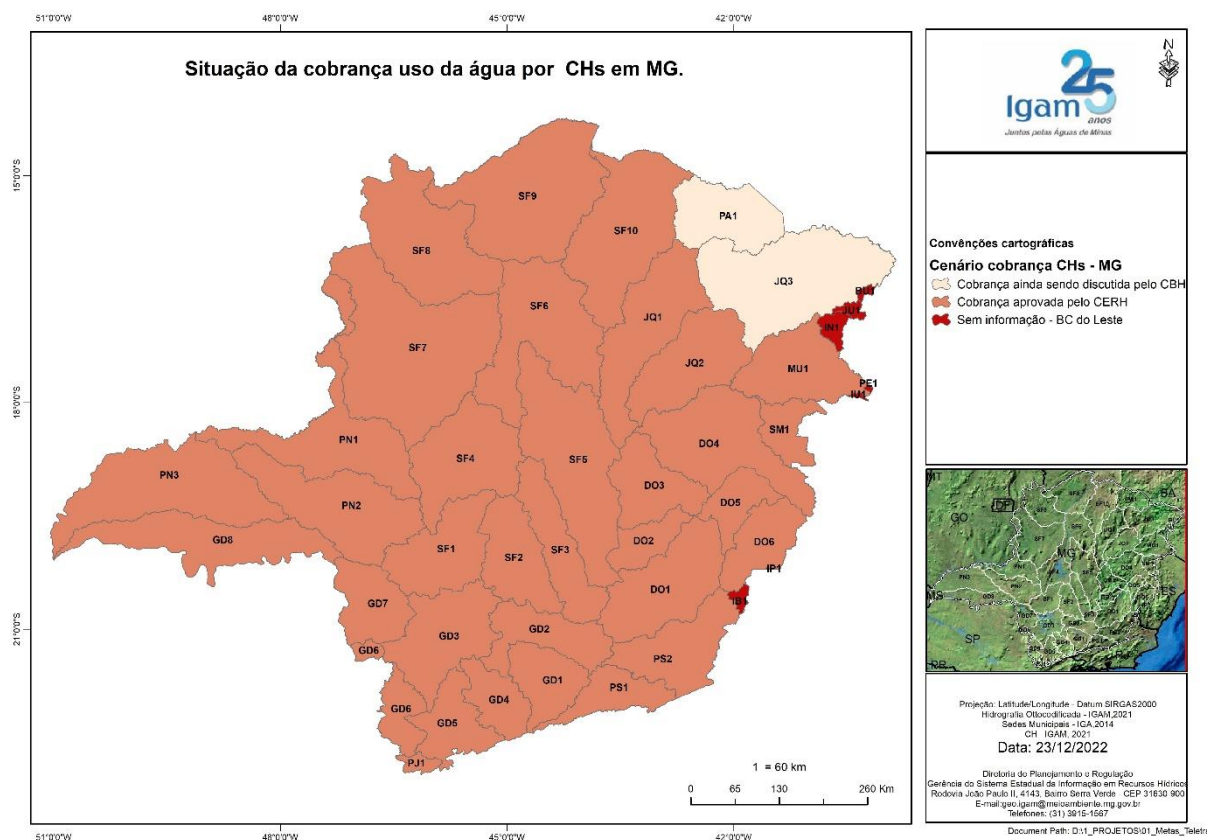
Todas as Bacias consideram as águas subterrâneas em seus modelos, adotando valores para Preços Público Unitários – PPUs, no qual está embutido no cálculo do Valor_{cap}. Os modelos seguem, majoritariamente, o padrão apresentado na Equação 4.

$$Valor_{total} = (Valor_{cap} \times Valor_{lan\grave{c}} + Valor_{transp} \times Valor_{PCH}) \times K_{gest\tilde{a}o} \quad (4)$$

Sabendo que,

- Valor_{total} = Valor anual total de cobrança, em R\$/ano;
- Valor_{cap} = Valor anual de cobrança pela captação de água, em R\$/ano;
- Valor_{lanç} = Valor anual de cobrança pelo lançamento de carga orgânica, em R\$/ano;
- Valor_{transp} = Valor anual de cobrança pela transposição de água, em R\$/ano;
- Valor_{PCH} = Valor anual de cobrança pela geração de energia elétrica por meio de PCHs, em R\$/ano;
- K_{gestão} = Coeficiente que leva em conta o efetivo retorno à área de atuação do CBH dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

Figura 2 – Situação da cobrança pelo uso da água em Minas Gerais

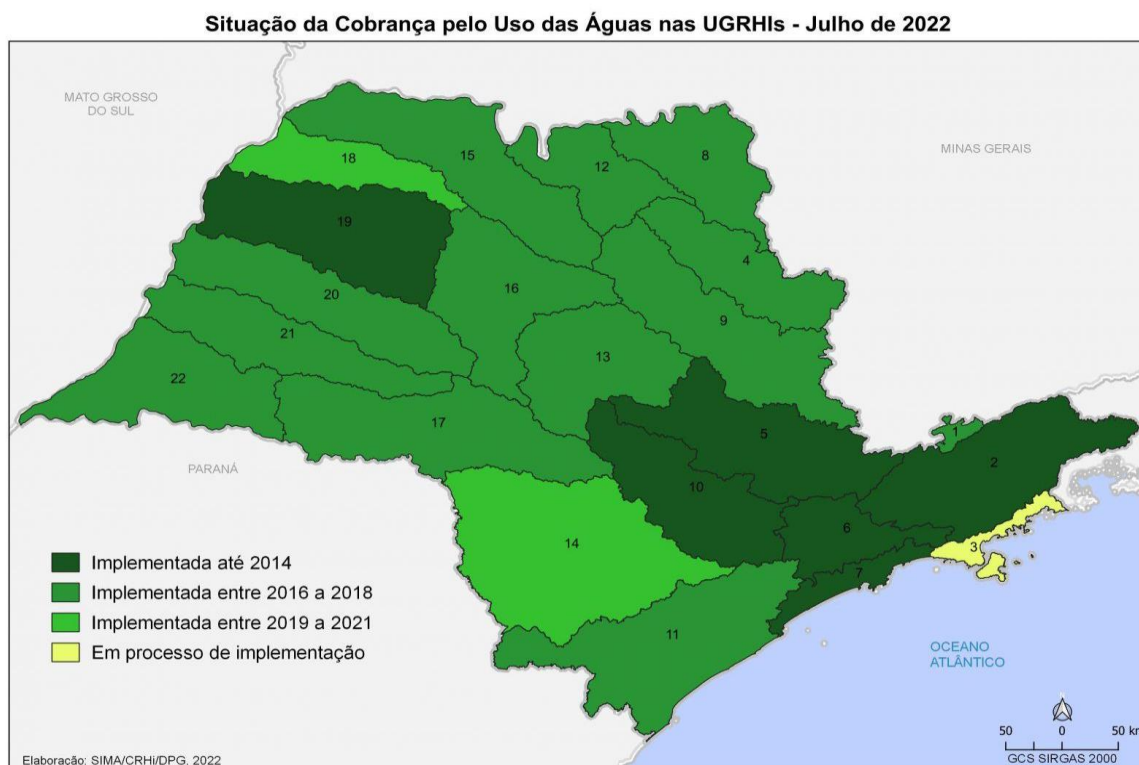


Fonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas - Igam (2022)

São Paulo

Segundo o Governo de São Paulo, através do Portal do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado, de 22 bacias, 21 tem a cobrança pelo uso da água implementada e uma está em processo de implementação (Figura 3).

Figura 3 – Situação da cobrança pelo uso da água em São Paulo



Fonte: São Paulo (2022).

Em São Paulo, o Decreto nº 50.667, de 30 de março de 2006, regulamenta a cobrança no Estado, salvo especificações previstas no decreto, a base de cálculo é determinada pela Equação 5.

$$VTC = \sum PUF_{cap} \times V_{cap} + \sum PUF_{cons} \times V_{cons} + \sum PUF_{parâmetro(x)} \times Q_{parâmetro(x)} \quad (5)$$

Onde,

- V_{cap} = Volume total (m³) captado, derivado ou extraído, por uso, no período, em corpos d'água;
- V_{cons} = Volume total (m³) consumido por uso, no período, decorrente de captação, derivação ou extração de água em corpos d'água;
- $Q_{parâmetro(x)}$ = Valor médio da carga do parâmetro(x) em Kg presente no efluente final lançado, por lançamento, no período, em corpos d'água;
- PUFs = Preços Unitários Finais equivalentes a cada variável considerada na fórmula da cobrança.

Os parâmetros(x) considerados pelo decreto são apresentados no art. 12 e estão dispostos a seguir.

- a) X1 - a natureza do corpo d'água, superficial ou subterrâneo;
- b) X2 - a classe de uso preponderante em que estiver enquadrado o corpo d'água no local do uso ou da derivação;
- c) X3 - a disponibilidade hídrica local;
- d) X4 - o grau de regularização assegurado por obras hidráulicas;
- e) X5 - o volume captado, extraído ou derivado e seu regime de variação;
- f) X6 - o consumo efetivo ou volume consumido;
- g) X7 - a finalidade do uso;
- h) X8 - a sazonalidade;
- i) X9 - as características dos aquíferos;
- j) X10 - as características físico-químicas e biológicas da água;
- l) X11 - a localização do usuário na bacia;
- m) X12 - as práticas de conservação e manejo do solo e da água; e
- n) X13 - a transposição de bacia.

Paraíba

A Paraíba é outro importante Estado que tem a cobrança implementada, na qual entrou em vigência no ano de 2010 pela resolução Nº 07, de 16 de julho de 2009 do Governo do Estado, mas o modelo utilizado não prevê cobrança para as águas subterrâneas. O modelo utilizado pelo Estado é apresentado na Equação 6. Vale destacar que os valores para o coeficiente K são determinados após um estudo técnico realizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas dos Estado da Paraíba – AESA.

$$VT = K \times P \times Vol \quad (6)$$

Onde,

- VT = Valor Total anual a ser cobrado (R\$)
- K = Conjunto de coeficientes de características específicas (adimensional)
- P = Preço unitário para cada tipo de uso (R\$/m³)
- Vol = Volume anual outorgado

Quadro 2 – Resumo dos modelos de cobranças estaduais

Estado	Fórmula geral	Crítérios
Ceará	$T(u) = T \times V_{ef}$	• $T(u)$ = Tarifa do usuário; • T = Tarifa padrão sobre volume consumido; • V_{ef} = Volume mensal consumido pelo usuário.
São Paulo	$VTC = \sum PUF_{cap} \times V_{cap} + \sum PUF_{cons} \times V_{cons}$ $+ \sum PUF_{parâmetro(x)} \times Q_{parâmetro(x)}$	• V_{cap} = Volume total (m³) captado; • V_{cons} = Volume total (m³) consumido por uso; • $Q_{parâmetro(x)}$ = Valor médio da carga do parâmetro(x) em Kg presente no efluente final lançado; • $PUFs$ = Preços Unitários Finais.
Rio de Janeiro	$CMT = Q_{cap} \times [K_0 + K_1 + (1 - K_1) \times (1 - K_2 \times K_3)] \times PPU$	• Q_{cap} = Volume de água captada durante um mês (m³/mês); • K_0 = Multiplicador de preço unitário para captação; • K_1 = Coeficiente de consumo para a atividade do usuário em questão; • K_2 = Relação entre a vazão efluente tratada e a vazão efluente bruta; • K_3 = Nível de eficiência de redução de DBO na Estação de Tratamento de Efluentes; • PPU = Preço Público Unitário correspondente à cobrança pela captação, pelo consumo e pela diluição de efluentes.

		• CMT = Cobrança Mensal Total
Minas Gerais	$Valor_{total} = (Valor_{cap} \times Valor_{lanç} + Valor_{transp} \times Valor_{PCH} \times K_{gestão})$	• $Valor_{total}$ = Valor anual total de cobrança, em R\$/ano; • $Valor_{cap}$ = Valor anual de cobrança pela captação de água, em R\$/ano; • $Valor_{lanç}$ = Valor anual de cobrança pelo lançamento de carga orgânica, em R\$/ano; • $Valor_{transp}$ = Valor anual de cobrança pela transposição de água, em R\$/ano; • $Valor_{PCH}$ = Valor anual de cobrança pela geração de energia elétrica por meio de PCHs, em R\$/ano; • $K_{gestão}$ = coeficiente que leva em conta o efetivo retorno à área de atuação do CBH dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos.
Paraíba	$VT = K \times P \times Vol$	• VT = Valor Total anual a ser cobrado (R\$); • K = Conjunto de coeficientes de características específicas; • P = Preço unitário para cada tipo de uso (R\$/m³); • Vol = Volume anual outorgado.

Fonte: Autor (2023)

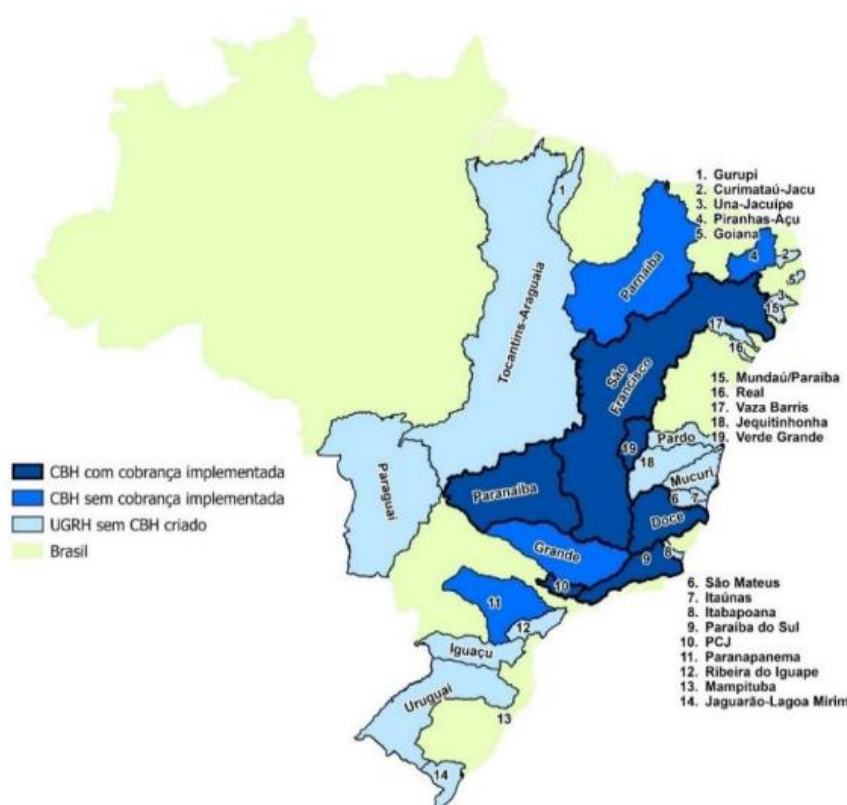
3.2.2 Cobrança em bacias hidrográficas federais

Também existem as Bacias Hidrográficas cuja dominialidade é da União, e algumas delas têm o mecanismo de cobrança implementado. A bacia do Rio Paraíba do Sul é considerada precursora, tendo início efetivo no ano de 2003. Outra importante bacia que apresenta cobrança consolidada é a do Rio São Francisco, na qual foi estabelecida pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF) em 2008 e no ano de 2010 teve início efetivado (Maceió, 2021).

No total existem seis bacias com dominialidade da união que têm cobrança implantada, além das bacias do rio Paraíba do Sul e São Francisco, as bacias dos rios PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiaí), Doce, Paranaíba e Verde Grande. Das bacias federais citadas, apenas a bacia do rio Verde Grande prevê a utilização em águas subterrâneas, mesmo assim, sem qualquer diferenciação do modelo.

Na Figura 4 está à disposição das bacias com CBH instituído e com cobranças implementadas.

Figura 4 – Cobrança pelo uso de recursos hídricos no Brasil – Bacias Federais



Fonte: Maceió (2021)

As seis bacias citadas apresentam mecanismos de cobrança bem semelhantes, sendo as dos rios São Francisco, Paraíba do Sul e Doce representadas pelas Equações 7 e 8, uma para quando não há medição de vazão (7) e outra para quando há (8). As bacias dos rios Paranaíba e Verde Grande não tem essa diferenciação de vazão e seguem o modelo da equação 7, com uma pequena modificação no rio Paranaíba que não apresenta o K_{cap} .

A bacia dos rios PCJ, também apresenta modelo semelhante (Equação 9) a peculiaridade fica por conta dos valores de PUB, pois a cobrança é subdividida em três dominialidade, dos estados de São Paulo e Minas Gerais e da União, e com isso existem diferentes PPU's a depender do corpo hídrico.

$$Valor_{cap} = Q_{cap.out} \times PPU_{cap} \times K_{cap} \quad (7)$$

$$Valor_{cap} = [K_{out} \times Q_{cap.out} + K_{med} \times Q_{cap.med} + K_{med\ extra} \times (0,70 \times (Q_{cap.out} - Q_{cap.med}))] \times PPU_{cap} \times K_{cap} \quad (8)$$

$$Valor_{cap} = (K_{out} \times Q_{cap.out} + K_{med} \times Q_{cap.med}) + PUB_{cap} \times K_{cap\ classe} \quad (9)$$

Sendo,

- $Valor_{cap}$ = Valor anual de cobrança pela captação de água, em R\$/ano;
- K_{out} = peso atribuído ao volume anual de captação de água outorgada, adimensional;
- $Q_{cap.out}$ = volume anual de água, segundo valor da outorga ou verificado pelo organismo outorgante, em processo de regularização, em m³/ano;
- K_{med} = peso atribuído ao volume anual de água captada e medida, adimensional;
- $Q_{cap.med}$ = volume anual de água captado, segundo medição, em m³/ano
- $K_{med\ extra}$ = peso atribuído ao volume anual outorgado e não utilizado, adimensional;
- PPU_{cap} = Preço Público Unitário para captação superficial, em R\$/m³;
- PUB_{cap} = Preço Unitário Básico para captação superficial, em R\$/m³;
- K_{cap} = coeficiente que considera objetivos específicos a serem atingidos mediante a cobrança pela captação de água.

- $K_{\text{cap classe}}$ = coeficiente que considera a classe de enquadramento do corpo d'água no qual se faz a captação.

3.2.3 Cobrança pelo uso da água em Alagoas

Como citado anteriormente, a PERH foi implantada em 1997 e nela está previsto a aplicação da cobrança pelo uso da água pelos comitês de Bacias Hidrográficas, mas apesar desse avanço e da instituição de cinco Comitês em Alagoas, nos quais estão apresentados na Figura 5, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos ainda não foi regulamentada no estado em nenhuma região.

Figura 5 – Unidades Estaduais de Gestão de Recursos Hídricos



Fonte: Brasil (2016)

Entre os anos de 2021 e 2022 a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) disponibilizou relatórios de um estudo de consultoria, realizado juntamente com a empresa Água e Solo Estudos e Projetos, para proposição de um modelo de cobrança pelo uso de recursos hídricos para o estado de Alagoas.

O Estudo de proposição do modelo de cobrança é dividido em 6 produtos que estão apresentados a seguir:

- Produto 1 - Análise do arcabouço legal e institucional da cobrança pelo uso da água no Brasil e em Alagoas e Revisão de metodologias nacionais e internacionais de cobrança pelo uso da água;
- Produto 2 - Levantamento dos usuários e tipos de usos dos recursos hídricos de Alagoas;
- Produto 3 - Levantamento das necessidades de investimento dos recursos oriundos da cobrança;
- Produto 4 - Proposição de mecanismos de cobrança pelo uso da água, Simulação do potencial de arrecadação e Análise dos impactos da cobrança;
- Produto 5 - Oficinas com os Comitês de Bacias Hidrográficas e com o Conselho Estadual de Recursos Hídricos;
- Produto 6 - Proposição dos instrumentos legais para implementação da cobrança.

É proposto no estudo da SEMARH duas equações, uma considerando quando não houver medição do volume anual de água captado (Equação 10) e outra para quando houver medição do volume anual de água captado (Equação 11). O modelo de captação considera captações superficiais e subterrâneas, e ainda estabelece faixa de valores para os coeficientes e algumas determinações com relação a possíveis características da captação.

$$Valor_{cap} = Q_{cap}^{out} \times PPU_{cap} \times K_{cap} \quad (10)$$

$$Valor_{cap} = [K_{out} \times Q_{cap}^{out} + K_{med} \times Q_{cap}^{med} + K_{med}^{extra} \times (0,7 \times Q_{cap}^{out} - Q_{cap}^{med})] \times PPU_{cap} \quad (11)$$

Onde,

- $Valor_{cap}$ = Valor anual de cobrança pela captação de água, em R\$/ano
- Q_{cap}^{out} = Volume anual de água captado, em m³/ano, segundo valores da outorga.
- PPU_{cap} = Preço Público Unitário para captação, em R\$/m³. Assume valores diferentes para captação superficial (PPU_{cap_sup}) e captação subterrânea (PPU_{cap_sub}).
- K_{cap} = Coeficiente que considera objetivos específicos a serem atingidos mediante a cobrança pela captação de água.

- K_{out} = Peso atribuído ao volume anual de captação outorgado.
- K_{med} = Peso atribuído ao volume anual de captação medido.
- Q_{cap}^{med} = Volume anual de água efetivamente captado, em m³/ano, segundo dados de medição.
- K_{med}^{extra} = Peso atribuído ao volume anual disponibilizado no corpo d'água.

Importante destacar que, no modelo proposto, apenas no cálculo do K_{cap} (Equação 12) é levado em consideração as águas subterrâneas, onde K_{classe} é igual a 1,0 para aquíferos. Isso evidencia que o modelo não leva em conta as particularidades dos aquíferos, como vulnerabilidade, tipo de confinamento e disponibilidade, por exemplo.

$$K_{cap} = K_{classe} \times K_{eficiência} \times K_{RH} \quad (12)$$

Sabendo que,

K_{cap} = Coeficiente de captação.

K_{classe} = Coeficiente que leva em conta a classe do rio.

$K_{eficiência}$ = Coeficiente de eficiência no uso da água.

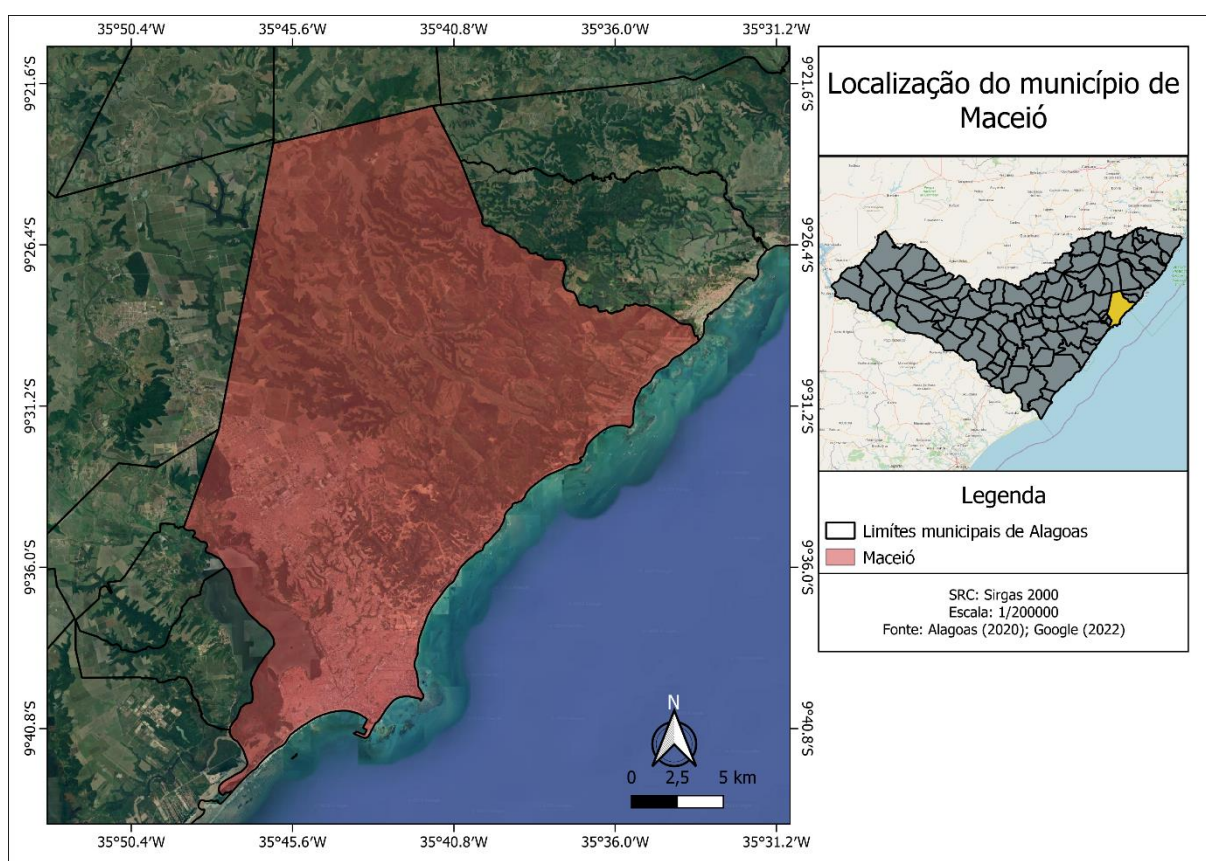
K_{RH} = Coeficiente que leva em conta a região hidrográfica.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização

A área de estudo do presente trabalho é o aquífero Barreiras, situado no município de Maceió (Figura 6), localizado na mesorregião do leste alagoano e microrregião de Maceió, com uma área territorial de 509.320 km², uma população estimada de 1.031.597 pessoas (IBGE, 2021) e uma densidade demográfica de 1.854,10 hab/km² segundo o censo de 2010 do IBGE. A formação Barreiras está presente em quase todo o território maceioense, sendo o maior aquífero do município.

Figura 6 – Localização de Maceió



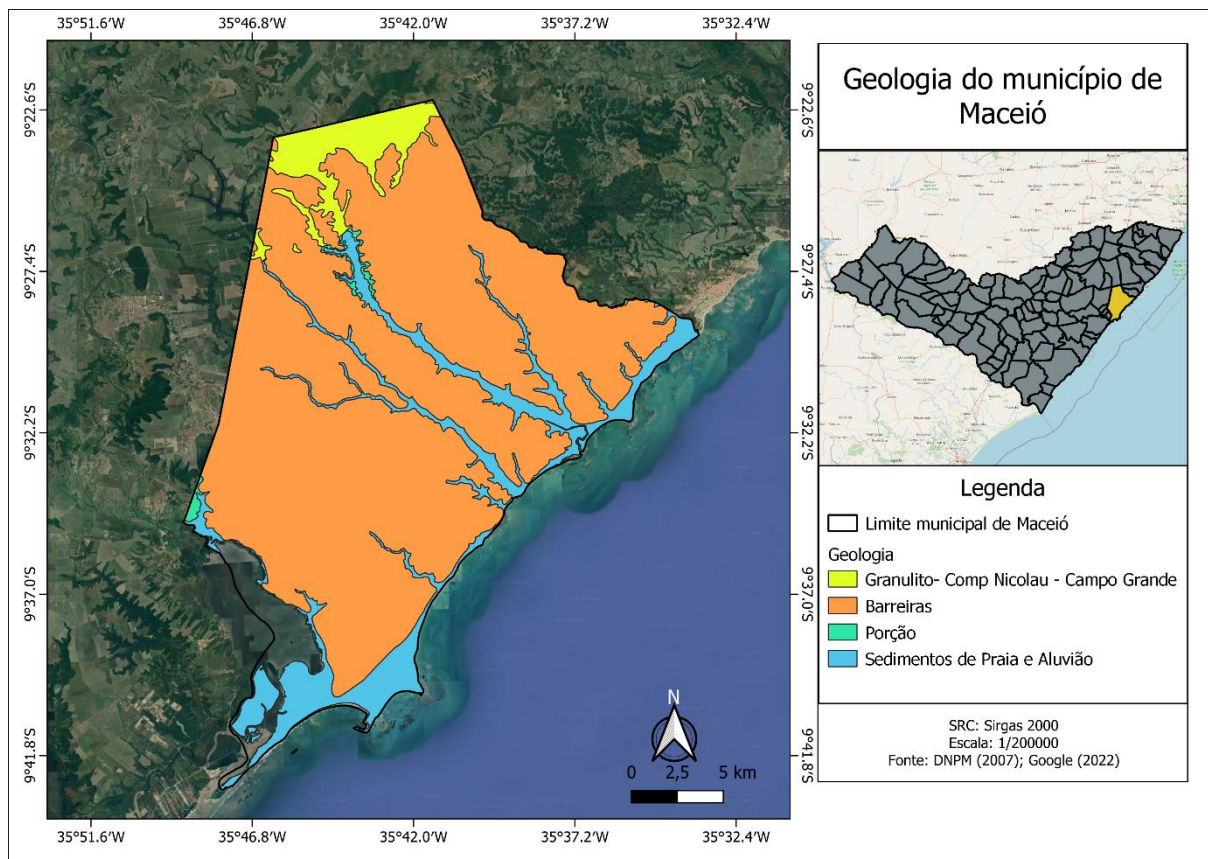
Fonte: Autor (2023)

4.2 Aspectos Físicos

Segundo Lima (2004), a geologia de Maceió (Figura 7) é composta por conjuntos sedimentares tubuliformes elevadas sobre os sedimentos da formação

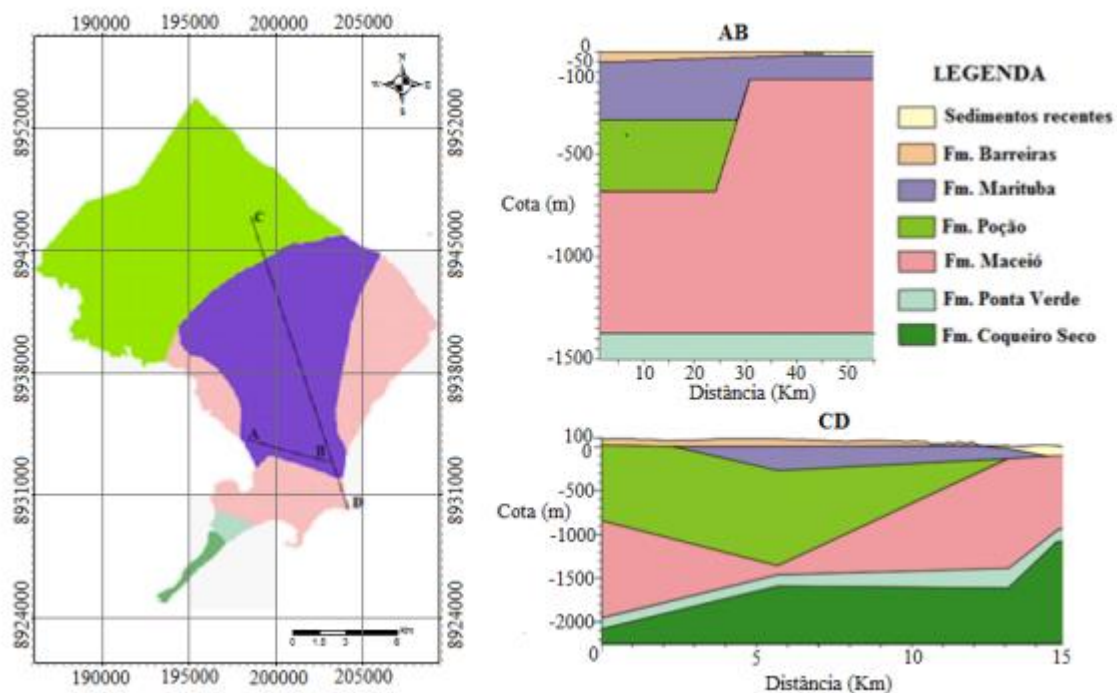
Barreira e na zona litorânea se destacam sedimentos flúvio-marinhos e flúvio-marinhos-lagunares. A Figura 8 apresenta as formações geológicas dispostas à formação Barreiras e seus devidos perfis.

Figura 7 – Geologia de Maceió



Fonte: Autor (2023)

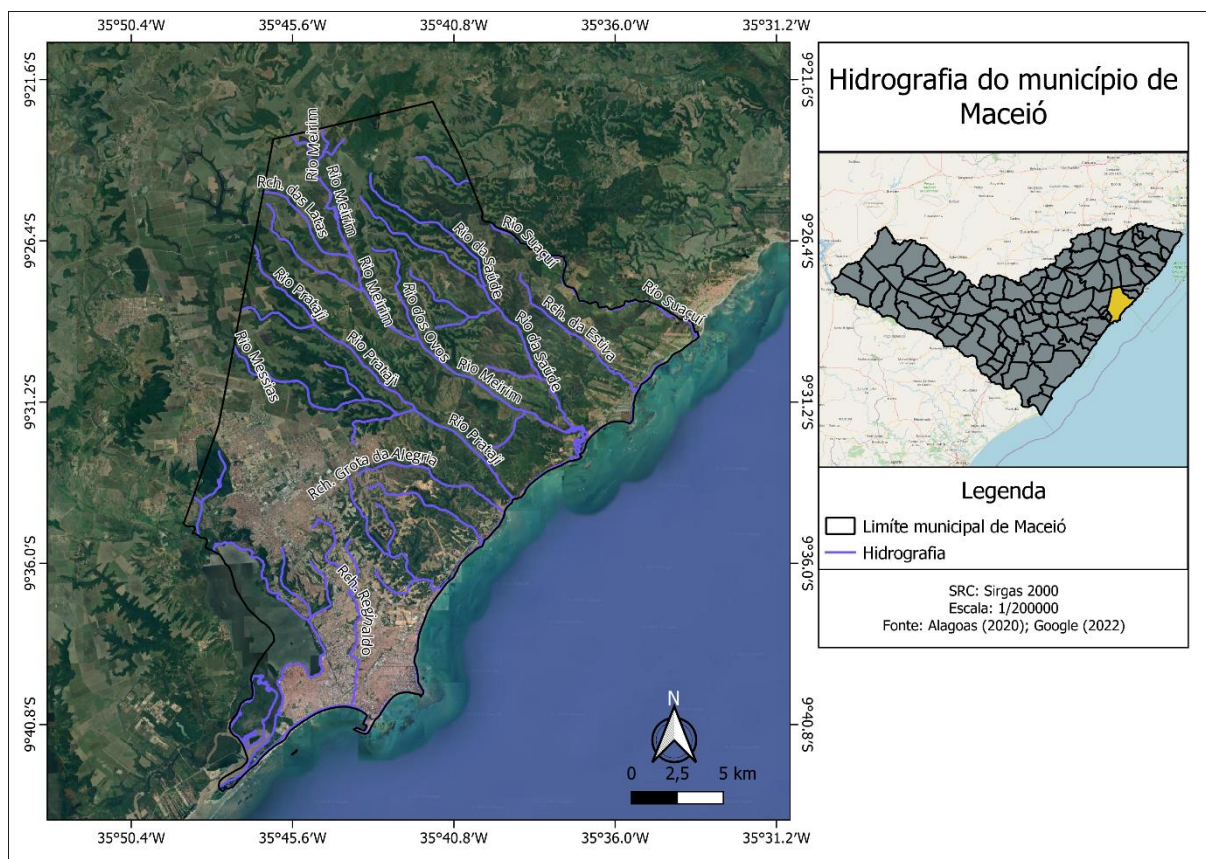
Figura 8 – Sub Barreiras e perfis geológicos



Fonte: Gomes (2018)

A hidrografia da cidade apresenta pequenas drenagens litorâneas, tendo como corpos hídricos importantes o riacho do Reginaldo, que atravessa boa parte densamente urbanizada do município na região centro leste, o riacho Jacarecica, do Silva, Guladim, Água de Ferro e Doce. Maceió apresenta ainda, a laguna Mundaú, no qual é um complexo Estuarino-lagunar ao sul do município (Lima, 2004). A Figura 9 apresenta a situação da hidrografia do município.

Figura 9 – Hidrografia de Maceió



Fonte: Autor (2023)

Maceió apresenta o bioma Mata Atlântica, sendo, em sua maioria, uma vegetação de Floresta Ombrófila Aberta. E o município possui um clima tropical chuvoso, segunda a classificação de Koppen, com temperaturas acima de 20°C e uma amplitude térmica de 6°C, sendo a mínima de 19°C durante o período chuvoso e máxima de 31°C na época de estiagem.

4.3 Aquífero Barreiras

O aquífero Barreiras é um dos principais aquíferos de Maceió, assim como o Marituba, sendo um sistema considerado como de média potencialidade e saturado de água doce em condições de explorabilidade, que, a nível regional, não apresenta problemas de potabilidade e, do ponto de vista físico-químico, as águas são, predominantemente do tipo cloretada sódica.

De acordo com estudo da ANA, 2011a o Sistema Aquífero Barreiras, originalmente, apresentava uma boa qualidade de água, mas vem sendo em algumas áreas, constantemente contaminado por águas salinizadas oriundas da Formação Marituba e isso ocorre devido à ascensão vertical de cone salino, uma consequência da exploração intensiva (apud Rocha, 2005).

O Sistema Aquífero Barreiras apresenta condições de um aquífero livre à semilivre, com litologia variada entre níveis arenosos, silticos e silticos-arenosos. Seu nível de condutividade hidráulica é considerado alto, sendo na ordem de 10^{-3} m/s. Referente aos valores comumente adotados para transmissividade, condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento, são apresentados no Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros do Aquíferos Barreiras

Parâmetro	Valor	Unidade
Transmissividade	$4,7 \times 10^{-3}$	m ² /s
Condutividade hidráulica	$1,3 \times 10^{-4}$	m/s
Coeficiente de armazenamento	$2,9 \times 10^{-4}$	-

Fonte: Autor (2023)

O aquífero Barreiras apresenta uma variação de 0,003 a 35,667 m³h/m com relação às vazões específicas, e vazões que variam de 0,178 a 264 m³/h para rebaixamentos entre 0,12 e 66 m. (ANA, 2011a).

Existe ameaça de degradação no aquífero em estudo, segundo estudo da ANA, 2011a, cujos principais impactos apontados são: a disposição de esgoto nos sistemas de drenagem urbana; sistemas de saneamento como fossas e sumidouros; cemitérios; postos de gasolinas e a fertirrigação da monocultura da cana-de-açúcar, que ocorre geralmente nas periferias da zona urbana de Maceió.

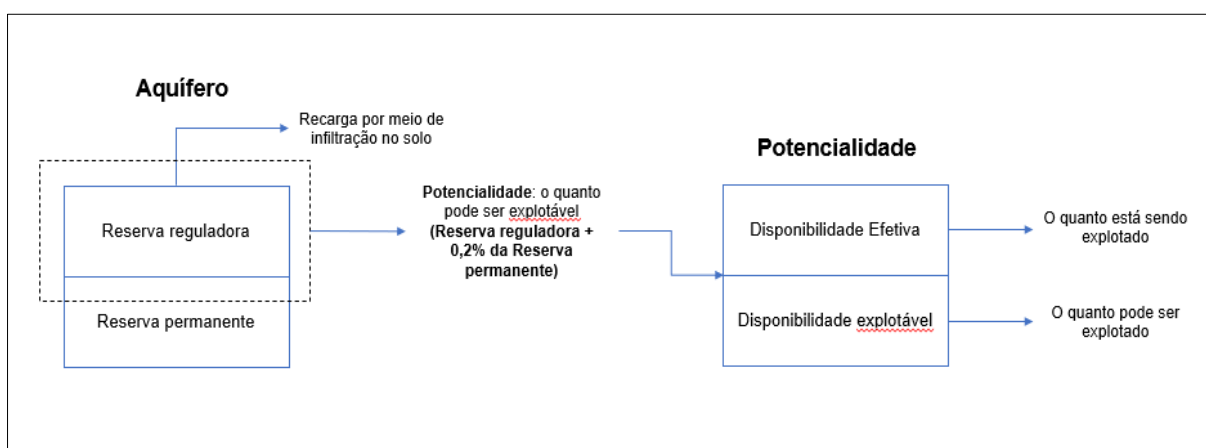
5 METODOLOGIA

Primeiramente foram realizadas pesquisas relacionadas à cobrança pelo uso da água subterrânea, com a finalidade de observar a sua implantação e identificar critérios e questões pertinentes para serem levadas em consideração na elaboração do modelo. As pesquisas se deram em duas partes, a primeira referente às cobranças que são aplicadas cujo a dominialidade seja estadual e a segunda cobranças no âmbito federal. Essa etapa foi realizada com o auxílio de um encarte elaborado pela ANA em 2019 sobre cobranças pelo uso dos recursos hídricos, no qual mapeia a situação no Brasil.

Na etapa seguinte, foi executado um levantamento da situação do aquífero Barreiras no município de Maceió, utilizando, principalmente o estudo hidrogeológico elaborado pela ANA (ANA, 2011b). Como complementação dessa etapa foi executado um levantamento da disponibilidade do aquífero com dados obtidos da SEMARH.

Para observar a disponibilidade do aquífero, se seguiu o conceito apresentado na Figura 10 utilizado em ANA, 2011b.

Figura 10 – Esquema referente a disponibilidade do aquífero



Fonte: Autor (2023)

Primeiro foi realizada a avaliação da disponibilidade explorável, na qual representa o quanto de água pode ser captado (Equação 13).

$$D_{ex} = P_o - (R_{ec} + D_e) \quad (13)$$

Onde,

D_{ex} = Disponibilidade explotável (m^3/ano);

P_o = Potencialidade (m^3/ano);

D_e = Disponibilidade efetiva (m^3/ano);

R_{ec} = Recarga ecológica (m^3/ano).

Importante destacar que, R_{ec} foi considerada como 10% da Reserva reguladora (R_r) como sugere estudo da ANA. Com relação a recarga reguladora, também conhecida como recarga natural, foi calculada através da Equação 14.

$$R_r = A \times P \times I \quad (14)$$

Onde,

A = Área de ocorrência da formação sedimentar (km^2);

P = Precipitação pluviométrica média na área (m/ano);

I = Taxa de infiltração.

Foi considerado uma área de ocorrência igual a 100 km^2 para o aquífero Barreiras na zona urbana de Maceió. A precipitação pluviométrica foi calculada utilizando dados da ANA disponíveis no Hidroweb para a estação MACEIÓ (Tabuleiro) 935004, Vale destacar que não foram encontradas variedades de estações na região que apresentassem dados para realizar uma média da precipitação no município. Referente à taxa de infiltração, foi determinado o valor de 20% com base em ANA, 2011b.

Para calcular a potencialidade (Equação 15), também foi calculado a reserva permanente (Equação 16). Importante destacar que a espessura saturada de 270 m e a porosidade efetiva do aquífero de 0,15; foram determinadas conforme estudo ANA, 2011b.

$$P_o = (R_p \times 0,002) + R_r \quad (15)$$

Sendo,

R_p = Reserva permanente do aquífero (m^3).

$$R_p = A \times b \times \mu \quad (16)$$

Onde,

b = espessura saturada do aquífero (m);

μ = Porosidade efetiva do aquífero.

No cálculo da disponibilidade efetiva, foi utilizado a Equação 17, no qual o número de poços existentes na área (n) foi determinado a partir de dados disponibilizados pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos hídricos de Alagoas (SEMARH), no total são 230 poços para a área em estudo; a vazão horária média dos poços (Q_m) também foi calculado a partir dos dados da SEMARH, através da média das vazões horárias dos poços vigentes; e o número de horas no ano (H_a) foi determinado pela multiplicação da mediana de horas de uso dos poços (14,5h) pela quantidade de dias no ano (365).

$$D_e = n \times Q_m \times H_a \quad (17)$$

Sendo,

D_e = Disponibilidade efetiva (m^3/ano)

n = Número de poços existentes na área

Q_m = Vazão horária média dos poços

Com esses parâmetros calculados foi possível determinar a disponibilidade explotável. Os resultados estão presentes na Tabela 2. Importante destacar que essa análise serviu como subsídio para determinar um dos critérios do modelo de cobrança.

Tabela 2 – Resultados dos cálculos de disponibilidade

Parâmetro	Valor	Unidade
Precipitação pluviométrica	1731,20	mm/ano
Reserva reguladora	$34,62 \times 10^6$	m^3/ano
Reserva permanente	$4050,0 \times 10^6$	m^3
Potencialidade	$42,72 \times 10^6$	m^3/ano
H_a	5292,5	h
Disponibilidade efetiva	$18,18 \times 10^6$	m^3/ano

Disponibilidade explorável	21,08 x 10⁶	m³/ano
Fonte: Autor (2023)		

Após analisar modelos de cobrança existentes, características dos aquíferos e identificar os dados que são de fácil acesso, identificou-se a necessidade de produzir um modelo no qual os parâmetros sejam de fácil entendimento para a população, com critérios sugestivo e de fácil obtenção.

Portanto, dois dos cinco critérios adotados no modelo são baseados nos dados fornecidos pela SEMARH, em seu site, para os poços de Maceió; dois são referentes a características do aquífero e o último diz respeito ao Preço Público Unitário, no qual, é o preço para cada m³ captado. Logo o modelo de cobrança desenvolvido está apresentado na Equação 18.

$$VC = Q_{outorgada} \times PPU_{cap} \times K_{uso} \times K_{confinamento} \times K_{vulnerabilidade} \times K_{disponibilidade} \quad (18)$$

No qual:

VC = Valor da cobrança pelo uso da água subterrânea (R\$/ano)

$Q_{outorgada}$ = Vazão outorgada do poço (m³/ano)

PPU_{cap} = Preço Público Unitário para captação (R\$/m³);

K_{uso} = Coeficiente para tipo do uso;

$K_{confinamento}$ = Coeficiente referente ao tipo de confinamento do aquífero;

$K_{vulnerabilidade}$ = Coeficiente de vulnerabilidade do aquífero na região;

$K_{disponibilidade}$ = Coeficiente da relação entre a disponibilidade efetiva e explorável da região.

- **PPU_{cap}**

Foi adotado um valor igual a 0,03 R\$/m³ para o PPU_{cap} , tomando como base o estudo desenvolvido pela SEMARH (Maceió, 2022) referente à proposta de cobrança pelo uso da água.

- **K_{uso}**

O K_{uso} foi determinado utilizando as classes de uso existentes no banco de dados da SEMARH (SEMARH, 2021). Os valores variam de 0,7 a 1,0, sendo o mínimo aplicado ao abastecimento humano. Na Tabela 3 estão as classes e os valores para cada tipo de uso.

Tabela 3 – Coeficiente K_{uso}

Tipo de uso	K uso
Abastecimento humano	0,7
Abastecimento industrial	1,0
Abastecimento comercial	0,8
Não informado	1,0
Outros usos	1,0

Fonte: Autor (2023)

- **$K_{confinamento}$**

Os valores para o coeficiente de confinamento (Tabela 4) foram determinados se baseando, nas classes do método GOD, no qual é um método que calcula a vulnerabilidade de um aquífero. Com isso, os valores foram definidos conforme a necessita de maior proteção, uma vez que aquíferos confinados não tem uma recarga de água abundante se comparados com aquíferos livres.

Tabela 4 – Coeficiente $K_{\text{confinamento}}$

Tipo de confinamento	K confinamento
Surgente	1,0
Confinado	1,0
Semi confinado	0,9
Não confinado (coberto)	0,8
Não confinado	0,7

Fonte: Autor (2023)

- **$K_{\text{vulnerabilidade}}$**

Os valores do coeficiente de vulnerabilidade (Tabela 5), assim como o de confinamento, foram definidos com o intuito de proteger as regiões mais vulneráveis, tornando a captação nesses locais menos atrativas e consequentemente desestimulando a perfuração de poços nesses locais. As faixas de vulnerabilidade foram baseadas no estudo ANA, 2011b e seus valores determinados através de testes realizados no estudo de caso, até se entender um índice justo para cada faixa.

Tabela 5 – Coeficiente $K_{\text{vulnerabilidade}}$

Faixas de vulnerabilidade	K vulnerabilidade
Extremo	2,0
Alto	1,5
Moderado	1,3
Baixo	0,9
Negligível	0,6

Fonte: Autor (2023)

- **$K_{\text{Disponibilidade}}$**

Como apresentado na Figura 10, o aquífero se divide em reserva permanente e reguladora, entende-se que, para uma exploração sustentável, segundo o estudo da ANA, 2011b, apenas pode ser captado (ou seja, a potencialidade) a reserva reguladora mais 0,2% da reserva permanente, como observado na Equação 15.

Com isso a potencialidade pode ser dividida em disponibilidade efetiva e disponibilidade explorável, que representa o quanto está sendo captado de água e quanto pode ser captado, respectivamente.

Portanto, o intuito desse coeficiente é pôr no modelo a representação matemática de quanto de água está sendo retirado, por ano, do aquífero com relação ao que pode ser retirado.

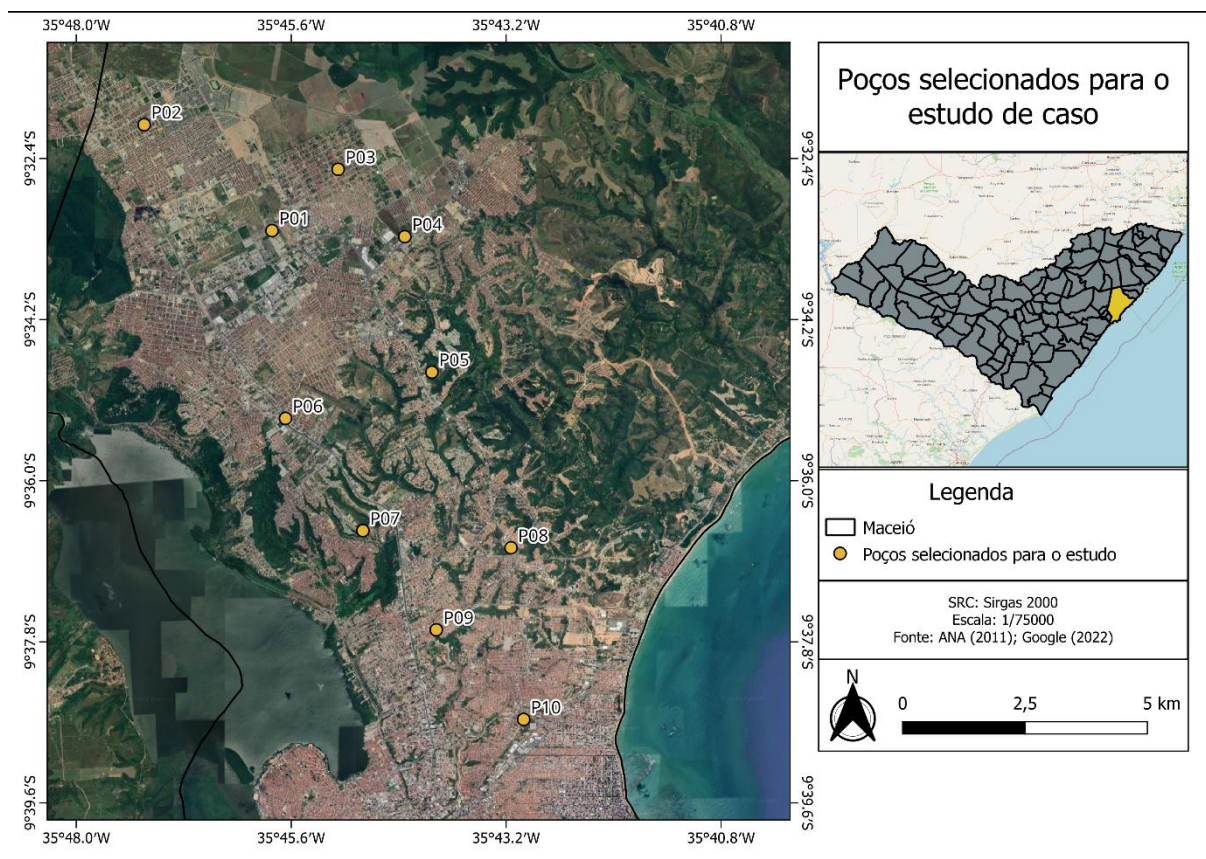
O coeficiente de disponibilidade foi determinado a partir do cálculo da razão entre disponibilidade efetiva ($18,18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$) e disponibilidade explotável ($21,08 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$), obtendo assim, um valor de 0,86.

5.1 Estudo de caso

O estudo de caso foi pensado para ajustar o modelo, de modo a observar valores mais justos para tipos de usuários diferentes e características mais vulneráveis do aquíferos. Primeiramente foram escolhidos dez poços vigentes na região do aquífero Barreiras distribuídos por Maceió (Figura 11). Dessa forma o modelo desenvolvido foi aplicado às características de cada poço com o intuito de refiná-lo até chegarmos aos parâmetros apresentados.

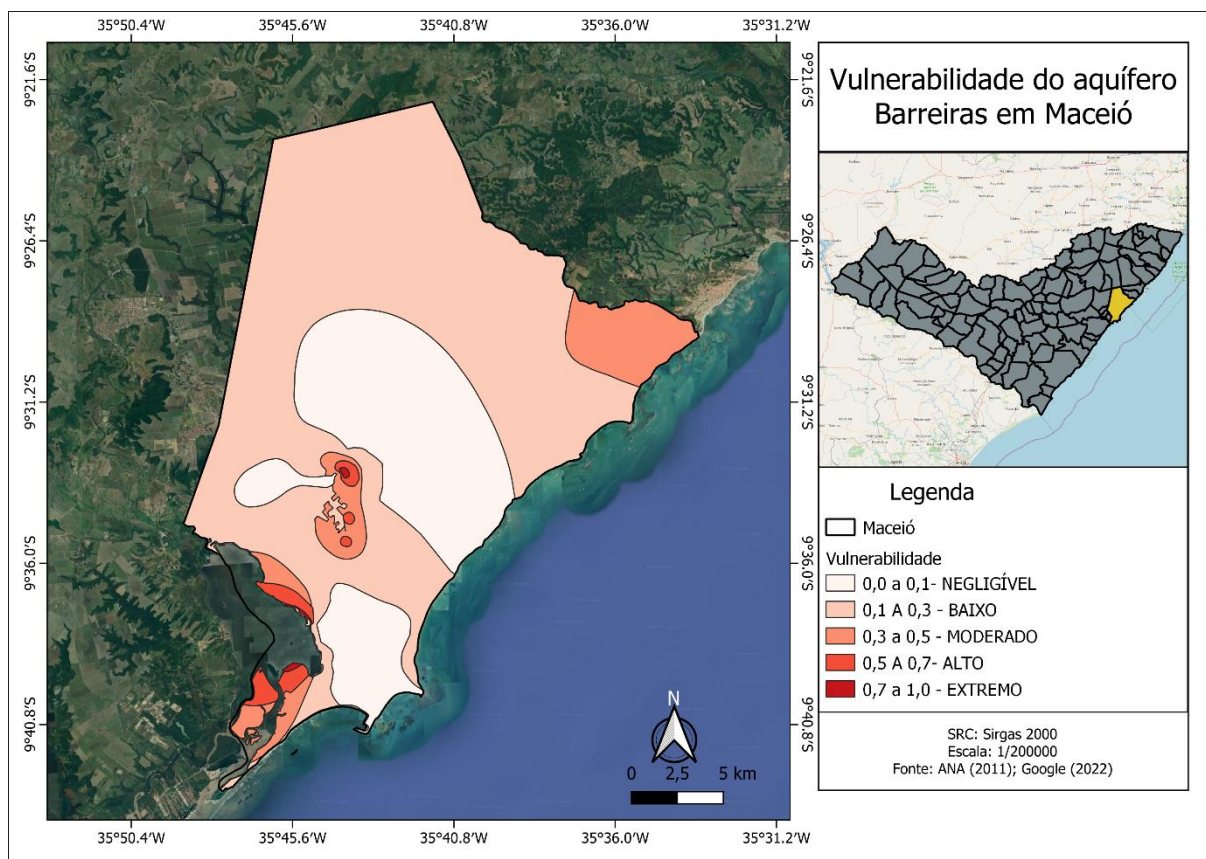
Importante ressaltar que para definir a vulnerabilidade em que cada poço está localizado, suas localizações foram sobrepostas ao mapa de vulnerabilidade no aquífero Barreiras (Figura 12).

Figura 11 – Poços iniciais selecionados para o estudo de caso



Fonte: Autor (2023)

Figura 12 – Vulnerabilidade do aquífero Barreiras



Fonte: Autor (2023)

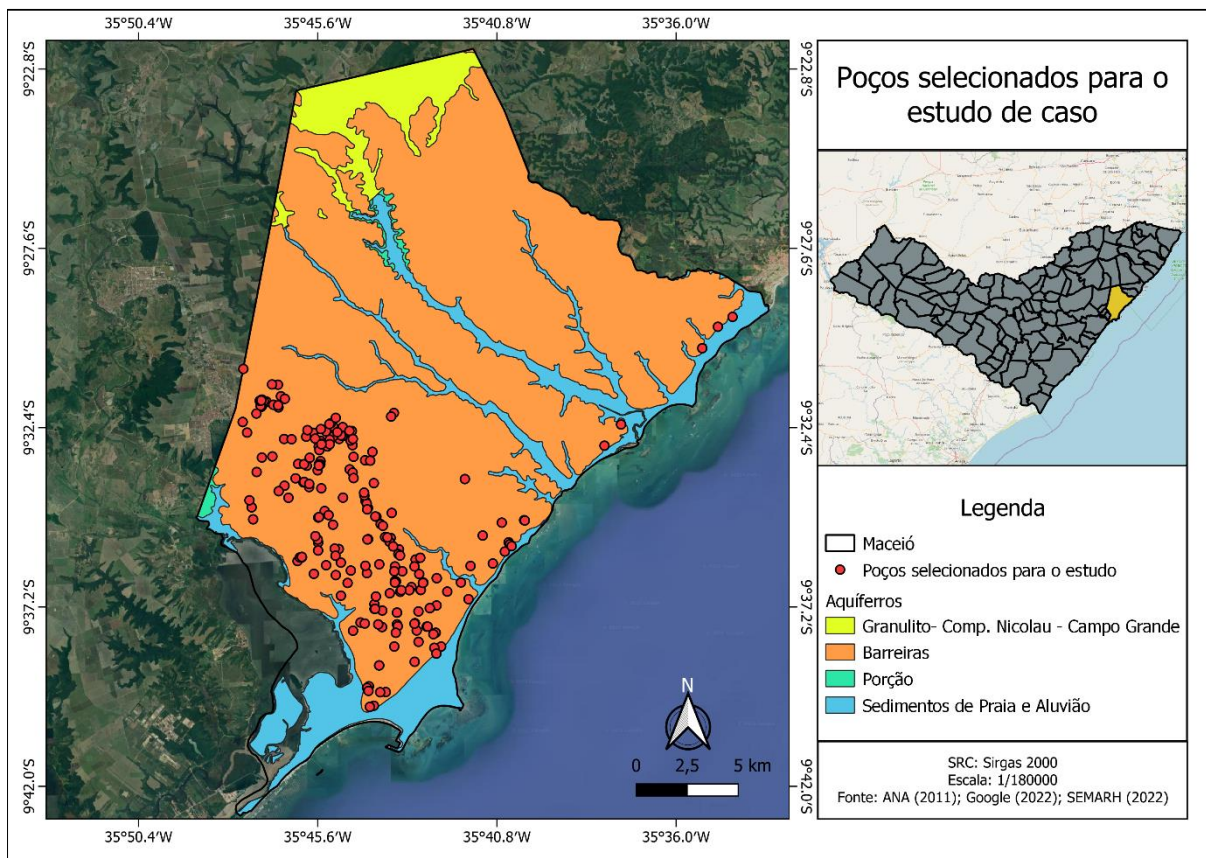
Após os primeiros testes com os 10 poços escolhidos, o modelo proposto foi aplicado para todos os 230 poços contidos na área de estudo e que pertencem exclusivamente ao aquífero Barreiras. A distribuição dos poços pode ser observada na Figura 13.

Ainda foi realizada uma comparação dos valores obtidos com o modelo proposto pela SEMARH, considerando que nenhum poço tenha medição de volume anual de água captada, sendo assim, foi utilizada a Equação 10 e os parâmetros utilizados estão dispostos na Tabela 6.

Importante ressaltar que para o cálculo do K_{cap} (Equação 12) K_{classe} é igual a 1,0 para captação subterrânea, no qual é o único parâmetro referente aos aquíferos. Já o $K_{eficiência}$ é referente ao índice de reuso da água captada e como essa informação não foi obtido, foi considerado índice de 0% para todos os poços, sendo assim $K_{eficiência}$

igual a 1,0 e o K_{RH} é referente a região hidrográfica da captação, e no estudo todas as regiões de Alagoas receberam um valor igual a 1,0.

Figura 13 – Poços utilizados no estudo de caso



Fonte: Autor (2023)

Tabela 6 – Parâmetros utilizados na aplicação do modelo da SEMARH

Parâmetro	Valor
PPU cap	0,03
K classe	1
K eficiência	1
K RH	1
K cap	1

Fonte: Autor (2023)

6 RESULTADOS

Um resultado importante para o estudo é referente as pesquisas de levantamento de como ocorre as cobranças no Brasil. Portanto, foi elaborado um resumo (Quadro 3) dos critérios referente as águas subterrâneas nos modelos apresentados citando qual o critério e se o modelo está sendo utilizado para águas subterrâneas.

Quadro 3 – Resumo de critérios referente as águas subterrâneas

		Modelo é usado para águas subterrâneas?	Critério considerado para águas subterrâneas (asub)	Observação sobre critério
Bacias Estaduais	Ceará	SIM	T: Tarifa padrão sobre consumido	Não há diferenciação para captação subterrânea e superficial e não considera características específicas dos aquíferos.
	Rio de Janeiro	SIM	Não especificado na resolução	A legislação não atribui critérios para asub, mas informa que o modelo é valido para águas superficiais e subterrâneas
	Minas Gerais	SIM	K_{cap} ou PPU	Como em Minas Gerais cada bacia tem uma metodologia, o critério varia. Para asub, geralmente, $K_{cap} = 1,0$ e para o PPU, as vezes é o mesmo para as águas superficiais.
	São Paulo	SIM	$\sum PUF_{parâmetro(x)}$ ou $Q_{parâmetro(x)}$	As asub são citadas nos parâmetros(x), sendo elas: X1 - a natureza do corpo d'água, superficial ou subterrâneo e X9 - as características dos aquíferos. Mas, não são atribuídos

				valores, nem especificado como obter tais parâmetros.
	Paraíba	NÃO	-	-
	Alagoas	SIM	K_{classe}	Coeficiente de classe do corpo hídrico no modelo é atribuído a 1,0 quando o cálculo é para asub.
Bacias Federais	Paraíba do Sul	NÃO	-	-
	São Francisco	NÃO	-	-
	PCJ	SIM	PPU	Para os corpos hídricos com dominialidade do estado de Minas Gerais é definido um PPU para captação de água bruta subterrânea.
	Doce	NÃO	-	-
	Paranaíba	NÃO	-	-
	Verde Grande	SIM	$K_{cap\ classe}$	Coeficiente de captação referente a classe do corpo hídrico, para asub é definido como 1,15.

Fonte: Autor (2023)

Na Tabela 7 estão os dados utilizados e os resultados para a aplicação do modelo nos dez primeiros poços selecionados.

Tabela 7 – Resultados iniciais da aplicação do modelo

Item	Q mensal (m³/h)	Duração de uso (h)	Q anual (m³/ano)	K uso	K conf.	K vuln.	K disp.	Valor da cobrança (R\$/ano)
P01	30	15	164.250	0,7	0,8	0,6	0,86	1.423,85
P02	22	15	120.450	1	0,8	0,9	0,86	2.237,48
P03	20	4	29.200	0,7	0,8	0,9	0,86	379,69
P04	3	7	7.665	1	0,8	1,3	0,86	205,67
P05	13	3	14.235	1	0,8	1,5	0,86	440,72
P06	36	6	78.840	1	0,8	0,9	0,86	1.464,53
P07	99	16	578.160	0,7	0,8	0,9	0,86	7.517,93
P08	8	14	40.880	1	0,8	0,9	0,86	759,39
P09	6	6	13.140	0,7	0,8	0,6	0,86	113,91
P10	9,54	12	41.785,2	1	0,8	0,6	0,86	517,47

Fonte: Autor (2023)

O maior valor obtido é referente ao P07, no qual é um poço da Companhia de saneamento de Alagoas (CASAL), para abastecimento humano e localizado numa região de vulnerabilidade baixa, o alto valor se dá devido a vazão anual captada, que é a maior dentre os demais poços escolhidos, o que torna o resultado coerente.

O menor valor de cobrança é o do P09, referente a um Condomínio, que tem uma baixa vazão anual alinhado com o tipo de vulnerabilidade negligível e o tipo do uso sendo para abastecimento humano.

Vale citar que, essa análise inicial foi importante para testar várias faixas de valores para os coeficientes até chegar nessas que estão sendo propostas.

Para a avaliação dos 230 poços, obteve-se uma arrecadação anual de R\$ 196.287,27; sendo o menor valor cobrado R\$ 16,95 referente a um supermercado tendo também o menor valor de vazão para captação (912,5 m³/ano). O maior valor cobrado é de R\$ 17.330,90 referente a um poço da CASAL no qual se encontra em uma zona de vulnerabilidade moderada e tem a maior vazão dentre os poços estudados, sendo de 922.720,00 m³/ano.

A Tabela 8 apresenta o resultado dos valores de cobrança de 20 poços, sendo eles os dez maiores valores e os dez menores. Nos resultados podemos observar que o valor da cobrança, apesar de receber grande influência da vazão outorgada, não depende exclusivamente dela, a exemplo temos os poços P12 e P13, no qual o P13 tem uma maior vazão, mas apresenta uma cobrança menor devido a sua finalidade

de uso, ocorre o mesmo com os poços P15 e P16, mas devido ao coeficiente de vulnerabilidade.

Após a aplicação do modelo proposto pela SEMARH com os poços utilizados, foi obtido um valor de arrecadação total anual de R\$ 426.280,94; valor bem superior aos R\$ 196.287,27 obtidos pelo modelo proposto neste trabalho. Um dos fatores que isso pode ser atribuído é o valor do $K_{\text{eficiência}}$, uma vez que não foram obtidos os índices de reuso da água e considerados todos como 0% pode ter superdimensionado o resultado dessa comparação. Contudo, esse resultado pode ser um indicativo de que o modelo de cobrança proposto neste trabalho é consistente e considera valores factíveis para os usuários.

Tendo o poço P11 como referência, foi observado que, para o modelo proposto por esse trabalho, o seu valor de cobrança por ano é de R\$ 17.330,90; com relação ao modelo proposto pela SEMARH, nas condições citadas no item 5.1, apresentou um valor de cobrança de R\$ 27.681,60; o que demonstra uma diferença significativa.

Foi utilizado o P11 para aplicar no modelo proposto pelo estado da Paraíba (Equação 6), no qual utiliza apenas o volume anual outorgado, o preço unitário (P) e um coeficiente de características específicas (K). Como previsto na Resolução nº 07 de 2019, para o período de vigência da cobrança provisória, consideramos o coeficiente K igual a 1,0 e o valor de P igual a 0,012 R\$/m³, considerando para abastecimento público.

Com isso, obteve-se uma arrecadação de R\$ 11.072,64, algo mais próximo do encontrado pelo modelo deste trabalho. Essa disparidade nos valores dos modelos comparados, mostra que não existe um valor padrão para cobrar pelo metro cúbico de água, pois, isso depende das particularidades da região, do corpo hídrico, da população etc. Portanto, é importante entender as necessidades de ações voltadas para proteger os corpos hídricos e quanto é necessário para tal.

Tabela 8 – Resultados da aplicação do modelo

Item	Vulnerabilidade	Tipo do Usuário	Q anual (m³/ano)	K uso	K vulnerabilidade	K confinamento	K disponibilidade.	Valor da cobrança (R\$/ano)
P11	Moderado	Abastecimento humano	922.720	0,7	1,3	0,8	0,86	R\$ 17.330,90
P12	Baixo	Abastecimento industrial	525.600	1	0,9	0,8	0,86	R\$ 9.763,55
P13	Baixo	Abastecimento humano	578.160	0,7	0,9	0,8	0,86	R\$ 7.517,93
P14	Baixo	Abastecimento humano	513.920	0,7	0,9	0,8	0,86	R\$ 6.682,60
P15	Baixo	Abastecimento humano	385.440	0,7	0,9	0,8	0,86	R\$ 5.011,95
P16	Negligível	Abastecimento humano	513.920	0,7	0,6	0,8	0,86	R\$ 4.455,07
P17	Baixo	Abastecimento humano	308.352	0,7	0,9	0,8	0,86	R\$ 4.009,56
P18	Baixo	Abastecimento comercial	245.280	0,8	0,9	0,8	0,86	R\$ 3.645,06
P19	Baixo	Abastecimento humano	245.280	0,7	0,9	0,8	0,86	R\$ 3.189,43
P20	Negligível	Outros usos	233.600	1	0,6	0,8	0,86	R\$ 2.892,90
P21	Negligível	Abastecimento comercial	5.475	0,8	0,6	0,8	0,86	R\$ 54,24
P22	Negligível	Outros usos	4.380	1	0,6	0,8	0,86	R\$ 54,24
P23	Negligível	Abastecimento comercial	5.110	0,8	0,6	0,8	0,86	R\$ 50,64
P24	Baixo	Abastecimento comercial	3.285	0,8	0,9	0,8	0,86	R\$ 48,82
P25	Baixo	Abastecimento comercial	3.285	0,8	0,9	0,8	0,86	R\$ 48,82
P26	Negligível	Outros usos	3.285	1	0,6	0,8	0,86	R\$ 40,68
P27	Baixo	Outros usos	2.098,75	1	0,9	0,8	0,86	R\$ 38,99
P28	Baixo	Abastecimento comercial	2.129,17	0,8	0,9	0,8	0,86	R\$ 31,64
P29	Negligível	Abastecimento humano	2.920	0,7	0,6	0,8	0,86	R\$ 25,31
P30	Baixo	Outros usos	912,5	1	0,9	0,8	0,86	R\$ 16,95

Fonte: Autor (2023)

7 CONCLUSÃO

O principal objetivo do trabalho era propor um modelo de cobrança pelo uso da água subterrânea, e entende-se que o trabalho alcançou seus objetivos, uma vez que apresentou um modelo de cobrança no qual utiliza parâmetros referente aos aquíferos e a população. Além disso evidenciou a necessidade de proteger os recursos hídricos subterrâneos por meio de ferramentas de gestão específicas.

Esse trabalho mostrou sua importância ao longo das pesquisas realizadas para análise dos modelos existentes, pois, as principais bacias hidrográficas e estados brasileiros que praticam a cobrança pelo uso da água, negligenciam as águas subterrâneas. A maioria dos modelos são exclusivos para águas superficiais, e quando as águas subterrâneas são citadas, existem apenas um critério para elas. Isso demonstra a importância de pôr em prática mecanismos de gestão dos recursos hídricos que protejam os aquíferos.

Ao analisar os modelos de cobrança existentes, identificou-se a necessidade de produzir um modelo simples de forma que sua aplicação seja fácil para a população e utilize parâmetros acessíveis. Com isso, foi pensado no modelo apresentado na Equação 18.

Com relação aos resultados obtidos, o valor de arrecadação anual foi de R\$ 196.287,26 para os 230 poços cadastrados e vigentes contidos exclusivamente no aquífero Barreiras. Essa quantidade de poços representa cerca de 28% dos poços vigentes em Alagoas, no qual são 828, segundo banco de dados de cadastros de usuários da SEMARH dos anos de 2001 a 2021. Portanto, projeta-se uma arrecadação total anual no estado de cerca de 700 mil reais, que seriam destinadas exclusivamente para ações referente a proteção dos aquíferos.

Com os resultados obtidos após a aplicação do modelo, foi observado valores de cobranças ínfimos, como é o caso dos poços P21 ao P30 apresentados na Tabela 8 e como os valores da vazão anual dessas captações são baixos, eles podem ser facilmente extrapolados. Com isso sugere-se o pagamento mínimo de R\$ 120,00 anuais para captações cuja cobrança apresente valores menor que esse.

São 35 valores abaixo de R\$ 120,00; o que representa 15% dos poços estudados, e mesmo essa sugestão podendo não representar mudanças significativas

no valor da arrecadação anual, pode inibir possíveis fraudes nos valores da vazão de captação informado.

Um ponto a ser observado é a aplicação da vazão outorgada como critério, já que entende-se que a vazão captada representaria um valor mais justo. Também se analisou a possibilidade de adicionar um novo critério, no qual seria referente a duração do uso da captação.

Outro ponto a ser discutido é referente ao critério de vulnerabilidade do aquífero, visto que, nem todas as regiões apresentam esse estudo, isso pode dificultar a aplicação do modelo, necessitando de um estudo prévio na região. Esse fato também se aplica no coeficiente de disponibilidade do aquífero, havendo a necessidade de um estudo prévio para determinar ser valor.

REFERÊNCIAS

ALAGOAS (Estado). Lei nº 7094, de 2 de setembro de 2009. DISPÕE SOBRE A CONSERVAÇÃO E PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE DOMÍNIO NO ESTADO DE ALAGOAS E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS. Alagoas, 2 set. 2009. Disponível em: https://cdn.agenciapeixevivo.org.br/media/2019/06/Lei_7094-09_%C3%A1guasSubterr%C3%A2neas.pdf. Acesso em: 5 nov. 2022.

ALAGOAS. Lei nº 5965, de 10 de novembro de 1997. DISPÕE SOBRE A POLÍTICA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. INSTITUI O SISTEMA ESTADUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS. Alagoas, nov. 1997. Disponível em: https://www.abas.org/arquivos/legislacaoambiental_alagoas_LeiNo5.965.pdf. Acesso em: 8 nov. 2022.

ALBUQUERQUE, J. do P. T. (2007). Água subterrânea no Planeta Água. In: Estudos Geológicos v. 17 (1), Jun 2007, UFPE, Ed. Bagaço, 104p, Semestral.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2007). Cadernos de Recursos Hídricos nº. 4. Superintendência de Outorga e Fiscalização.

ANA. Atlas Brasil. Abastecimento Urbano de Água. Brasília: ANA, 2010. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>. Acesso em: 10/10/2022

ANA (Brasil). **Estudos Hidrogeológicos para Subsidiar a Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos Subterrâneos na Região Metropolitana de Maceió.**: volume ii - geologia, hidrogeologia e hidroquímica.. Brasília: Consórcio Projotec-Techne, 2011a. 4 p. 4 v.

ANA (Brasil). **Estudos Hidrogeológicos para Subsidiar a Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos Subterrâneos na Região Metropolitana de Maceió.**: vol. iii - testes de aquífero, potenciometria, modelo numérico, vulnerabilidade natural dos aquíferos e riscos de contaminação.. Brasília: Consórcio Projotec-Techne, 2011b. 4 p. 4 v.

ANA (Brasil). **Estudos Hidrogeológicos para Subsidiar a Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos Subterrâneos na Região Metropolitana de Maceió.**: vol. iv - avaliação da recarga natural, reservas e potencialidades dos aquíferos; exutórios naturais, balanço hidrogeológico e análise econômica da água subterrânea; plano de gestão e seleção de pontos para implantação de sensores telemétricos.. Brasília: Consórcio Projotec-Techne, 2011c. 4 p. 4 v.

ANA. **Cobrança pelo uso dos recursos hídricos.** Brasília: Agência Nacional de Águas (Brasil), 2019. 80 p. A publicação faz parte do conjunto de encartes do Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2019.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**: cidades e estados. Cidades e Estados. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al/maceio.html>. Acesso em: 31 out. 2022.

BRASIL. Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº

7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 8 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 5 nov. 2022.

BRASIL. PROGESTÃO – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **A gestão de recursos hídricos em Alagoas**. 2016. Disponível em: <https://progestao.ana.gov.br/panorama-dos-estados/al>. Acesso em: 5 nov. 2022.

CEARÁ (Estado). DISPÕE SOBRE A COBRANÇA PELO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEOS DE DOMÍNIO DO ESTADO DO CEARÁ OU DA UNIÃO POR DELEGAÇÃO DE COMPETÊNCIA, E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS. Ceará, 5 fev. 2021. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/decretos-2021/>. Acesso em: 2 nov. 2022.

Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).

GOETTEN, W. J. **Avaliação da Governança da Água Subterrânea nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Blumenau. 2015. 317f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Regional de Blumenau.

GOMES, Maurício de Gois. **Avaliação da evolução temporal quali-quantitativa das águas subterrâneas na Região Metropolitana de Maceió/AL**. 2018. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, A Centro de Tecnologia – Ctec, Universidade Federal de Alagoas – Ufal, Maceió, 2018.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM (Minas Gerais). **Cobrança Pelo Uso dos Recursos Hídricos**. 2022. Disponível em: <https://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/cobranca-pelo-uso-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 31 out. 2022.

LIMA, R. C. A.; COUTINHO, P. N. **Evolução da Linha de Costa a Médio e Curto Prazo Associada ao Grau de Desenvolvimento Urbano e aos Aspectos Geoambientais na Planície Costeira de Maceió-Alagoas**. Tese de doutorado apresentado ao programa de pós-graduação em geociência da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, 2004.

MACEIÓ. SEMARH - SECRETARIA DO ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DE ALAGOAS. **Produto 1: análise do arcabouço legal e institucional da cobrança pelo uso da água no Brasil e em Alagoas e revisão de metodologias nacionais e internacionais de cobrança pelo uso da água**. Maceió: Semarh, 2021. 93 p. Disponível em: <http://www.semarh.al.gov.br/documentos?task=download.send&id=140&catid=199&m=0>. Acesso em: 5 nov. 2022.

MACEIÓ. SEMARH - SECRETARIA DO ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DE ALAGOAS. **Produto 4: proposição de mecanismos de cobrança pelo uso da água, simulação do potencial de arrecadação e análise dos impactos da cobrança**. Maceió: Semarh, 2022. 64 p. Disponível em: <http://www.semarh.al.gov.br/documentos?task=download.send&id=143&catid=199&m=0>. Acesso em: 5 nov. 2022.

RIO DE JANEIRO (Estado). Lei nº 4247, de 16 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos de domínio do Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências. Rio de Janeiro, 17 dez. 2003. Disponível em: <https://www.cbhriodoisrios.org.br/downloads/LEI%204247.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2022.

SÃO PAULO. Decreto nº 50667, de 30 de março de 2006. Regulamenta dispositivos da Lei nº 12.183 de 29 de dezembro de 2005, que trata da cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do

Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. São Paulo, 31 mar. 2006. Disponível em: https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/ckfinder/files/leis_02.pdf. Acesso em: 31 out. 2022.

SÃO PAULO. SIGRH - SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Cobrança pelo uso da água**. 2022. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/cobrancapeλουςodaagua>. Acesso em: 29 out. 2022.

SEMARH. **Cadastro de Usuários de Recursos Hídricos 2001-2021**, banco de dados. Disponível em: <http://www.semarh.al.gov.br/recursos-hidricos/outorga/outorgados>. Acesso em: 21 dez. 2022.

Yassuda, E. R. (1993). **Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais**. Revista De Administração Pública, 27(2), 5 a 18. Recuperado de <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/8663>