

**Título:** Análise do sistema de captação de água com enfoque no rebaixamento do nível freático dos poços da cidade de São Carlos-SP

Revisor A: Conforme pude constatar ao longo do texto, foi utilizado esse termo equivocadamente. O termo correto a ser utilizado é: nível dinâmico.

**Resposta:** Alteramos o termo ao longo do texto.

**Title:** Water supply system **evaluation** with approach in the lowering of the groundwater levels of the wells of the São Carlos city - Brazil

**Resumo:**

No estado de São Paulo, nos últimos anos, há uma crescente preferência ao uso da água subterrânea para o abastecimento público. Isso deve-se a diminuição dos custos de bombeamento e a deterioração da qualidade das águas dos rios.

Revisor C: Certo, porém cabe ressaltar que poços também apresentam custos de bombeamento.

**Resposta:** Alteramos o texto anterior para: “Isso se deve a diminuição dos custos de bombeamento da água subterrânea”

Todavia esta decisão é geralmente realizada apenas com base em fatores econômicos. Para estudar a situação do sistema foi desenvolvido um modelo matemático de otimização linear inteira que considerou a volume explotado e o rebaixamento do nível freático dos poços e a vazão dos rios em um período de 30 anos. Para testar os modelos, foram gerados cenários considerando diversos custos para o rebaixamento do nível freático.

Revisor B: Observa-se apenas Cenário 1 e Cenário 2 na seção 3.

Resposta: Alteramos o texto anterior para: *“Para testar os modelos, foram gerados dois cenários”*

Revisor: Seria interessante contextualizar se o estudo refere-se a todo o sistema de captação de São Carlos (100%) ou parte deste sistema.

Resposta: Alteramos o texto anterior para: *“Para estudar a situação do sistema de abastecimento de São Carlos em sua totalidade,”*

Revisor C: Uma grande dúvida surgiu neste ponto. Sabendo-se que o nível de água de um poço em bomeamento é referido como nível dinâmico, recomendo comentar como foi realizada a leitura do NE (Nível estático). Foi realizada em poços de observação ou foi realizada no mesmo poço onde obtém-se a exploração? Caso a leitura do NE tenha sido realizada no próprio poço que é explotado é interessante descrever (pelo menos de forma resumida) como foi este processo. Ou seja, quantas horas o poço ficou em recuperação (desligado).

Resposta: Foi indicado a fonte a qual os dados foram obtidos e que certas informações não foram encontradas.

As respostas indicam como deve ser a operação de captação de cada poço e rio em relação à sua ativação e vazão bombeada. Os resultados apresentam a melhor solução encontrada em termos de minimizar os impactos ambientais pois representam a configuração de operação que otimiza a resiliência do nível freático dos poços e cumpre as restrições impostas que visam garantir a sustentabilidade do sistema.

Revisor A: Há um erro de conceito na frase. Quando se diz nível freático, refere-se a superfície do nível d'água em aquíferos livres. Poços estão em

constante bombeamento sendo conhecido como nível dinâmico o nível d'água dentro do poço quando em funcionamento e nível estático quando paralisado.

**Resposta:** O termo foi corrigido ao longo do texto

Revisor C: Vale a pena citar que existem outras possibilidades para o rebaixamento no nível de água. Com certeza a superexploração de aquíferos pode gerar um impacto, mas seria interessante excluir (ou citar) que foram descartadas outras hipóteses para o rebaixamento do NE, como a interferência entre poços, o tempo insuficiente de recuperação do NE após a paralização do bombeamento e condições de recarga do aquífero (falta de chuva).

**Resposta:** Adicionamos o texto: *“Vale ressaltar que este trabalho apenas considerou o rebaixamento devido a superexploração e não ponderou outros fatores como a influência entre os poços e as condições de recarga do aquífero”*

**Palavras chaves:** Abastecimento Público. Sustentabilidade. Rebaixamento do nível freático de poços. Otimização linear inteira.

**Abstract:**

Revisor A: Revisar o inglês

**Resposta:** o Inglês foi revisado

Its notable the growing of preference in the use of the groundwater to the water supply system of State of Sao Paulo in the last years. This occurs because of pumping cost are cheaper and is happens the deterioration of the quality of the rivers' water. Nevertheless, this decision is usually made only in base in economic factors. To study the system was developed a mathematical model of

linear optimization which consider the lowering of the groundwater levels of the wells and the pumping of the rivers and the wells in a period of 30 years. To test the model, were made scenarios that consider diverse situations of costs to the lowering of the water table from the wells. The solutions show how should be the disposition of each wells in terms of its activation and pumping. The results reveal the best solution found to minimize the environmental impacts by meaning the best arrangement of the system operation to optimize the resilience of the groundwater levels and adapt to the constraints which claim to guarantee the sustainability of the system.

**Key words:** Water Supply System. Sustainability. Groundwater level lowering. Mixed-Integer Programming.

## 1. Introdução

Revisor B: O artigo propõe a utilização de um modelo matemático de otimização linear para a captação conjunta de águas fluviais e subterrâneas visando a minimização de custos em 3 categorias. O tema é interessante e os resultados podem contribuir para a gestão hídrica na área de estudo em relação ao abastecimento público. Foram sugeridas correções ortográficas pontuais e apresentados alguns questionamentos visando o esclarecimento de tópicos específicos e a contribuição para uma adequação do texto científico. Destas sugestões, destacam-se:

- Os vários cenários mencionados pelo(s) autor(es) são, na verdade, apenas 2: um com custos normais de rebaixamento do nível freático em poços de abastecimento (cenário 1) e outro com os mesmos custos

superestimados (cenário 2). Este fato poderia estar claro na introdução sem nenhum prejuízo ao estudo proposto.

- Foi estabelecido uma relação entre o volume captado e o rebaixamento R. No entanto, não está claro a finalidade, para o proposto modelo de otimização linear, a apresentação dos valores disponíveis no “Quadro 3”.
- Vários parâmetros do modelo proposto sem a identificação prejudicam o entendimento, tanto da função objetiva, quanto de suas restrições.
- Gráficos adicionais, tais como: mapa de elevação, demanda anual de água e rebaixamentos simulados de poços ativos, forneceriam visualizações apropriadas dos dados de entrada e dos resultados obtidos.
- Algumas análises apresentadas parecem ser contraditórias com gráficos dos Resultados.

Outros apontamentos de mesma relevância seguem destacadas no interior do corpo do texto.

**Resposta: As sugestões foram aceitas e o texto corrigido. A correção de cada ponto destacado foi detalhada ao longo deste texto.**

Revisor C: Senti falta de algumas informações básicas e importantes para o contexto. Creio que os dados (material) e métodos não foram claramente citados. P. Ex: O aquífero captado, suas características com relação a pressão (livre ou confinado), sua forma de armazenamento (poroso, fraturado). Outra informação relevante seria o período do estudo, ou seja, informar se os dados de rebaixamento de todos os poços foram obtidos no mesmo ano (início e fim da série). Também não localizei quantos pontos superficiais são captados.

Um gráfico com o histórico da precipitação da região também seria interessante, principalmente se for um aquífero livre.

Resposta: foi citado o período que os dados foram coletados e a fonte dos dados em *“Estes dados são provenientes do trabalho de Perroni e Wendland (2008). Eles foram obtidos com base nas séries históricas disponíveis no período de 1984 a 2004, e nos ensaios de bombeamento realizados após a construção dos poços. Detalhes acerca da maneira que foi realizada essa medição, sobre o tempo que os poços estavam desligados anteriormente, não foram divulgados no estudo. “* na seção 2.1 Estimativa do valor do rebaixamento.

A insustentabilidade do uso da água é um problema crescente e grave observado em algumas regiões do Brasil, em especial no estado de São Paulo. Neste local, além do maior aglomerado populacional do país, o potencial hídrico é baixo para suprir a demanda, possuindo apenas 1,6% da água doce nacional (LOMBA, 2010).

Revisor C: O termo “água doce nacional” ficou muito amplo pois temos água doce nos rios, na água subterrânea, na precipitação. Seria importante detalhar quais destas fontes o autor refere-se.

Resposta: mudamos a frase para *“ Neste local, além do maior aglomerado populacional do país, o potencial hídrico é baixo para suprir a demanda (LOMBA, 2010). “*

Exemplo disso é o estresse hídrico que a região metropolitana de São Paulo sofreu com início em 2014 no Sistema Cantareira.

O demasiado aumento e dependência que se tem gerado dos recursos subterrâneos é ilustrado pelo fato de 75% dos municípios do estado de São Paulo serem total ou parcialmente abastecidos por água subterrânea (DIAS, 2016). Costa (2010) alega que a outorga de uso dessas águas é realizada sem que haja critérios coerentes ou estudos do volume explotável adequado. A exploração é, em geral, realizada até o limite. Esse uso é justificado pelo autor pela diminuição dos custos de bombeamento da água e má qualidade das águas superficiais.

Muitos estudos relataram que a insustentabilidade do uso das águas subterrâneas pode trazer inúmeros malefícios e comprometer de maneira significativa o meio ambiente.

Revisor A: Cite exemplos de referências..

**Resposta: Foi decidido remover esta frase do trabalho.**

Revisor: Se trocar um dos termos acho que fica melhor, por exemplo “O autor justifica o uso pela diminuição dos custos.....”

**Resposta: Mudamos o texto anterior para: “O autor justifica o uso pela diminuição dos custos”**

Alguns países enfrentam situações drásticas atualmente, como o aquífero de Ogallala, no Arizona, nos Estados Unidos, que pode desaparecer pois já perdeu o equivalente a 18 vezes o volume do rio Colorado devido seu uso intenso na irrigação da agricultura. Na Indonésia, a exploração desenfreada dos aquíferos fez o mar avançar cerca de 15 quilômetros para o interior.

Revisor A: Faltou referência

**Resposta: as referências faltantes foram inseridas**

Em Bancoc, capital da Tailândia, o solo em alguns lugares afunda cerca de 14 cm por ano devido a captação exagerada da água subterrânea que faz o solo ceder (APRILE, 2016). Como exemplo mais local tem-se que a cidade de Ribeirão Preto-SP, à aproximadamente 100km de São Carlos-SP, apresenta taxas de rebaixamento do nível freático do aquífero de 1 metro por ano (OLIVEIRA, 2016).

Com isso, esse trabalho visa analisar o sistema de captação de água de São Carlos que vem progressivamente criando grande dependência da água subterrânea. Em 2014, 54% da captação era realizado por poços (SAAE, 2016). Como a escolha de como suprir o abastecimento (superficial ou subterrâneo) é embasada atualmente prioritariamente em questões econômicas, visa-se analisar como a captação irá interferir nos níveis freáticos do aquífero e estimar seu comportamento ao longo dos anos pela geração de cenários através da proposição de um modelo de otimização.

Desta forma, pretende-se analisar a configuração do sistema de captação de água de São Carlos-SP através de um modelo matemático a ser otimizado e prever seu comportamento em um período de 30 anos. Para tal, estudam-se as proporções de água subterrânea e superficial e o rebaixamento do nível freático da água nos poços considerando custos diferenciados em cada tipo de captação e no rebaixamento.

## **2. Definição do problema e modelagem matemática**

Revisor C: Seria apropriado citar que existem cálculos para o rebaixamento máximo aceitável (rebaixamento disponível). O manual prático de orientação para execução



de testes de bombeamentos em poços tubulares (Feitosa e Costa, 1998) é um bibliografia que poderia ser citada.

Resposta: foi inserido a frase: “Cabe ressaltar que existem metodologias para analisar rebaixamentos excessivos como as descritas por Feitosa e Costa (1998), entretanto este trabalho propôs uma abordagem diferente para o problema.”

O problema a ser analisado consiste em formular uma função a ser minimizada buscando a melhor solução em termos da proporção de água subterrânea e superficial e diferenciando também qual a vazão em cada poço com a finalidade de conciliar um menor rebaixamento. A metodologia aplicada não foi retirada da literatura.

Revisor B: E o que foi feito para validar tal metodologia?

Resposta: Para validar esta metodologia foram realizados inúmeros testes e os resultados analisados afim de gerar dados plausíveis e aceitáveis. Foi decidido retirar esta frase do texto para não gerar confusão ao leitor.

## 2.1 Estimar o valor do rebaixamento

O rebaixamento foi projetado em cenários futuros ao se analisar seu comportamento em períodos anteriores.

Revisor C: Conforme citado anteriormente, seria interessante citar sobre as condições hidráulicas que antecedem a obtenção da profundidade do NE, ou seja, informar se foram utilizados poços observação ou aguardou-se um período de recuperação. Neste último caso, poderia ser informado o tempo de recuperação de cada poço. Caso não tenha sido possível desligar todos os poços próximos, ao

mesmo tempo, poderia ser citado se existe ou não a possibilidade de interferência entre os poços.

Resposta: Foi explicado de onde os dados foram obtidos e as informações disponibilizadas: “. Estes dados são provenientes do trabalho de Perroni e Wendland (2008). Eles foram obtidos com base nas séries históricas disponíveis no período de 1984 a 2004, e nos ensaios de bombeamento realizados após a construção dos poços. Detalhes acerca da maneira que foi realizada essa medição, sobre o tempo que os poços estavam desligados anteriormente, não foram divulgados no estudo” e “Assim, neste trabalho é denominado de rebaixamento a diferenciação das medições nos poços de captação que foram estimadas com base em dados anteriores”.

Dessa forma, estudando a proporção com que cada poço teve seu nível freático diminuído pela quantidade de água captada por ano, foi possível extrapolar essa relação para estimar seu desempenho posteriormente.

Revisor A: Acredito que você está se referindo ao nível dinâmico do poço.

Resposta: o termo foi corrigido para “nível dinâmico”.

Assim, para ilustrar, segue o exemplo do poço Antônio Fischer dos Santos:

Revisor B: Qual é a localização e profundidade desse poço? Ele é destinado ao abastecimento público?

Resposta: foi inserida a informação que ele é destinado ao abastecimento público, sua profundidade e, posteriormente, uma imagem com a localização.

- Rebaixamento: 31 m
- Idade: 34 anos

- Vazão: 48,5 m<sup>3</sup>/h

Como este poço teve seu nível freático diminuído em 31 m em um período de 34 anos, pode-se aproximar que houve um rebaixamento de 0,912 m ao ano, conforme equação (1), denomina-se esse parâmetro de Rm.

Revisor A 1: Nível Dinâmico

**Resposta: o termo foi corrigido para nível dinâmico**

Revisor A 2: Esse parâmetro não se refere ao rebaixamento do nível d'água do aquífero e sim dentro do poço, são coisas diferentes. Ele está refletindo a evolução do rebaixamento do nível d'água do aquífero e a evolução da perda de carga no poço por fatores como: Colmatação de filtros, compactação do material granular do pré filtro e até mesmo a ação de ferro-bacterias.

Outro aspecto extremamente importante nesse parâmetro:

O que você chama de rebaixamento?

Se for o nível estático antes do início do bombeamento subtraído do nível dinâmico medido após 34 anos de bombeamento, isso torna o valor de Rm fisicamente inconsistente pois, o rebaixamento por tempo segue uma função logarítmica e não linear conforme foi exposto. Isso deve ser avaliado se não impacta os resultados obtidos pois pode invalidar todo o modelo construído até então.

Senti muita falta da conexão com os modelos de hidráulica de aquíferos, sendo esse o o motivo da inconsistência observada.

**Resposta: Entende-se os questionamentos e foi analisado que o trabalho trata do problema através de uma estimativa de aproximação da realidade. Para tal, foi acrescentado a seguinte frase nesta sessão: “Este releva uma estimativa**

*simplificada, pois não considera outros fatores como o raio de influência dos outros poços, cone de rebaixamento, princípio da superposição, heterogeneidades no meio poroso, períodos de recarga, e se a vazão e as horas de funcionamento permaneceram constantes em todo o período da idade do poço.”.*

*Para definir o rebaixamento foi adicionado a esta mesma sessão: “Dessa forma, com a proporção que cada poço teve o nível dinâmico diminuído segundo a série histórica e sua proporção com a quantidade de água captada por ano, foi possível extrapolar essa relação para estimar seu desempenho no futuro. Assim, neste trabalho é denominado de rebaixamento a diferenciação das medições nos poços de captação que foram estimadas com base em dados anteriores “*

*Adicionalmente foi inserido na introdução: “Porém, este trabalho apenas considerou o rebaixamento devido a superexploração e não ponderou outros fatores como a influência entre os poços e as condições de recarga do aquífero”*

$$R_m = \text{rebaixamento total/idade} = 31/34 = 0,912 \text{ m/ano} \quad (1)$$

Pela sua vazão e com um funcionamento de 20 horas por dia, tem-se que o volume total de água retirado por ano (Vol) é de 354050 m<sup>3</sup> (equação (2)).

$$\begin{aligned} Vol &= \text{Vazão}[m^3/h] \cdot (20 \text{ h} \cdot 365 \text{ dias}) = 48,5 \cdot 20 \cdot 365 \\ &= 354050 m^3/\text{ano} \end{aligned} \quad (2)$$

Revisor B: (m<sup>3</sup>.ano)

Resposta: a observação foi resolvida

Assim, relacionando as expressões (1) e (2), pode-se gerar uma relação entre o volume captado e o rebaixamento obtido, denominada de 'R'. Neste caso, o valor de R é de 2,576 m/ 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. ano, conforme equação (3)

$$R = R_m/Vol = 0,912/354050 = 2,576 \text{ m/ } 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{ano} \quad (3)$$

Revisor B: Sugiro o uso da Inserção de Equação do Word (Alt +)

$$R = \frac{R_m}{Vol} = \frac{0,912}{354.050} = 2,576 \frac{m}{10^6 m^3 \cdot ano}$$

**Resposta: a observação foi resolvida**

Isso significa que, caso se retirem 1.000.000 m<sup>3</sup> desse poço durante um ano, ele deterá um rebaixamento estimado em 2,58 metros.

Revisor B: Uma estimativa bem grotesca devido a complexibilidade para obtenção do Nível de Rebaixamento Freático em poços de abastecimento, pois, é preciso considerar o raio de influência dos outros poços, cone de rebaixamento, princípio da superposição, heterogeneidades no meio poroso, períodos de recarga, e se a vazão e as horas de funcionamento permaneceram constantes em todo o período da idade do poço. Sugiro uma descrição sobre a limitação e simplificações no modelo proposto.

**Resposta: foi inserida a explicação da simplificação do modelo na frase: “Este releva uma estimativa simplificada, pois não considera outros fatores como o raio de influência dos outros poços, cone de rebaixamento, princípio da superposição, heterogeneidades no meio poroso, períodos de recarga, e se a vazão e as horas de funcionamento permaneceram constantes em todo o período da idade do poço.”**

Dessa forma, aplicando para os demais poços, tem-se os valores apresentados no Quadro 3:

Quadro 3: Valores dos parâmetros Rm, Vol e R

Poço	Rm (m/ano)	Vol (m³/ano)	R[(m/m³)/ano] x 10 <sup>6</sup>
2	0.9120	354050	2.576
5	0.0430	289080	0.149
8	0.3000	131400	2.283
9	0.1180	679630	0.174
11	1.0000	693500	1.442
12	0.7330	954110	0.768
14	0.9170	128480	7.137
16	1.7270	1142450	1.512
17	3.8890	1252680	3.105
19	1.0000	162060	6.171
20	3.4290	2092910	1.638
21	1.4000	912500	1.534
22	0.6000	483990	1.240
23	0.7500	1049740	0.714
24	0.6670	2080500	0.321
26	4.0000	954110	4.192
28	4.0000	1330060	3.007

Revisor B 1: Fonte? Quais são os Quadros 1 e 2?

Resposta: a numeração foi corrigida e a fonte acrescentada

Seria interessante incluir Informações sobre profundidade, nível estático e nível dinâmico neste quadro de poços ativos?

Resposta: essas informações não foram adicionadas pois entendeu-se que seria uma grande quantidade de informações para a mesmo Quadro e essas informação não caracterizam o foco da informação que se deseja transmitir.

Sugiro a disponibilização de um Mapa de Elevação contendo a disposição geográfica dos poços e a delimitação da área estudada na região de São Carlos-SP.

Resposta: O mapa foi inserido e é indicado como Figura 1

Por que o quadro 3 não apresenta dados sobre os poços 1, 3, 4, 7, 10, 13, 15 e 18, uma vez que as simulações disponíveis pelos gráficos 1 ou 5 mencionam estes poços?

O que foram feitos com os dados dos poços 23, 24, 26 e 28? As respectivas simulações de captação destes poços não foram mencionadas nos gráficos 1 ou 5.

Resposta: os gráficos das simulações foram corrigidos. Apesar de os valores abrangerem números de 2 a 28, durante as simulações foi considerado o número total de poços (17). Esta numeração do Quadro 1 foi mantida apenas para ser possível a análise da Figura 1

Revisor B 2: Unidade de medida do parâmetro R  $\left[ \frac{m}{10^6 m^3 \cdot ano} \right]$ .

Resposta: a sugestão foi resolvida.

Revisor B 3: Sugiro padronizar a notação com vírgula para os números decimais e ponto para separação dos milhares.

Resposta: a sugestão foi corrigida em todo texto

Revisor C: Senti falta de um mapa com a localização dos poços e informações sobre o raio de influência deles.

Resposta: um mapa com a localização e profundidade dos poços foi adicionado

(Figura 1)

## 2.1 Modelo matemático

As decisões principais consistem em decidir o volume de captação subterrânea de cada poço  $i$  em cada período de tempo  $t$  e o volume de captação superficial de cada rio  $j$  no período  $t$  com objetivo de atender as demandas a cada ano. Cada período  $t$  representa um ano dentro de um horizonte de tempo de  $T$  anos. A demanda de cada ano  $t$  é determinística e será baseada no consumo per capita, crescimento da população e perdas no sistema de abastecimento do município em questão.

Para estudar os impactos da captação de água em cada rio  $j$ , estabelece-se faixas para captação, as quais correspondem a uma fração do total disponível. Cada faixa  $k$  apresenta um custo diferenciado para o volume captado no rio  $j$ . Isso significa que o custo de captação varia conforme a quantidade retirada. Caso seja bombeado um volume muito grande, este valor estará contido em uma faixa que representa um custo mais elevado em comparação à um volume menor.

Os seguintes índices são utilizados:

Índices	
$N$	número total de poços
$J$	número total de rios
$T$	número total de períodos
$K$	número total de faixas para os rios
$M$	número total de faixas para os poços
$i \in \{1, \dots, N\}$	índice dos poços
$j \in \{1, \dots, J\}$	índice dos rios
$t \in \{1, \dots, T\}$	índice dos períodos
$k \in \{1, \dots, K\}$	índice das faixas dos rios
$m \in \{1, \dots, M\}$	índice das faixas dos poços



Assim como as seguintes variáveis são utilizadas:

Variáveis	
$Xp_{it}$	Volume de água retirado do poço i no período t
$XF_{p_{i,t,m}}$	Volume de água retirado do poço i no período t na faixa m
$Xr_{jt}$	Volume de água retirado do rio j no período t
$XF_{r_{j,t,k}}$	Volume de água retirado do rio j no período t na faixa k
$Y F_{p_{i,t,m}}$	1 se ocorre captação de água no poço i na faixa m durante o período t e 0, caso contrário
$Y F_{r_{j,t,k}}$	1 se ocorre captação de água no rio j na faixa k durante o período t e 0, caso contrário
$Reb_{it}$	Rebaixamento no poço i no período t.
$t \in \{1, \dots, T\}$	índice dos períodos
$k \in \{1, \dots, K\}$	índice das faixas dos rios
$m \in \{1, \dots, M\}$	índice das faixas dos poços

Revisor B: Essas variáveis t, k e m foram apresentados na tabela acima como sendo índices.

Resposta: Este ponto foi corrigido retirando esses valores da tabela de variáveis.

Deste modo, a formulação matemática do modelo pode ser descrita como um problema de minimização dos custos descrito pelas expressões (4) - (16).

$$\min \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T cr_{j,k,t} \cdot XF_{r_{j,k,t}} + \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T cp_{i,m,t} \cdot XF_{p_{i,m,t}} + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N C_{reb_i} \cdot Reb_{i,t} \quad (4)$$

Revisor B: O que representam estes “pesos”? São os custos mencionados nas linhas 139-140? Antecipe, para o leitor, as definições desses valores.

Resposta: A explicação para os pesos foi inserida em “Resultados e discussões” pelo texto: “Os valores propícios para os custos foram definidos depois de vários testes realizados. Para os poços, estes tiveram seus valores proporcionais as suas constantes de rebaixamento ( $R_m$ ). Assim, as unidades com maior valor de  $R_m$ , ou

*seja, maior tendência a rebaixar, possuem custos maiores. A mesma proporção foi aplicada para os custos de rebaixamento de cada poço. Os rios, por sua vez, tiveram seus custos mais elevados, pois teriam que competir com o fato que as fontes subterrâneas apresentam dois tipos de penalidades: pela captação e pelo rebaixamento.”*

Sujeito à:

$$\sum_{i=1}^N (1 - PP_{i,t}) \cdot Xp_{i,t} + \sum_{j=1}^J (1 - PR_{j,t}) \cdot Xr_{j,t} \geq D_t \quad \forall t; \quad (5)$$

$$Xr_{jt} = \sum_{k=1}^K XFr_{j,t,k} \quad \forall j,t; \quad (6)$$

$$PC_{j,k-1} \cdot Vr_{j,t} \cdot F_j \cdot YFr_{j,t,k} \leq XFr_{j,t,k} \leq PC_{j,k} \cdot Vr_{j,t} \cdot F_j \cdot YFr_{j,t,k} \quad \forall t; \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^K YFr_{j,t,k} \leq 1 \quad \forall j,t; \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^I Xp_{i,t} \leq 0,05 \cdot chuva_t \quad \forall i,t; \quad (9)$$

$$Xp_{jt} = \sum_{m=1}^M XFp_{i,t,k} \quad \forall j,t; \quad (10)$$

$$PPC_{i,m-1} \cdot Qi \cdot YFp_{i,t,m} \leq XFp_{i,t,m} \leq PP_{i,m} \cdot Qi \cdot YFp_{i,t,m} \quad \forall t; \quad (11)$$

$$\sum_{m=1}^M YFp_{i,t,m} \leq 1 \quad \forall i,t; \quad (12)$$

$$Reb_{i,t} = Reb_{i,t-1} + R_i \cdot Xp_{i,t} \quad \forall j,t; \quad (13)$$

$$XFr_{j,t,k}, XFp_{i,t,m} \geq 0 \quad \forall i,j,k,m,t; \quad (14)$$

$$YFp_{i,t,m} \in \{0,1\}, YFr_{j,t,k} \in \{0,1\} \quad \forall i,j,k,m,t; \quad (15)$$

$$Xr_{j,t}, Reb_{i,t}, Xp_{i,t} \geq 0 \quad \forall i,j,t; \quad (16)$$

Revisor: (1-PP) : o que são esses parâmetro?

Vrjt : não definido

Qi : não definido

Ri: Não definido. Seria o parâmetro R da equ (3) para cada poço i? Evite deixar a cargo do leitor a identificação dos termos do modelo no artigo.

**Resposta:** Estes foram definidos na tabela acrescentada de Constantes.

Sendo então, a função objetivo (4) representa a minimização dos custos que são formados por três parcelas. A primeira parcela é referente a captação superficial, a segunda relacionada à captação dos poços e a última, aos custos de rebaixamento dos poços. As restrições (5) definem que o volume total captado das duas fontes deve ser suficiente para suprir a demanda da população no período  $t$ . Considera-se que existe uma perda para cada poço  $i$  no período  $t$  e também existe uma perda na água captada do rio  $j$  no período  $t$ . Essa perda é relativa à rede de distribuição de água. As restrições (6) determinam a quantidade de água captada no período  $t$  no rio  $j$  e essa depende da faixa utilizada e juntamente com as restrições (7) e (8) estabelecem o volume de água captado no rio  $j$  bem como a faixa que poderá ser utilizada para a captação de água.

As restrições (9) limitam a captação do poço em 5% do volume de água de chuvas no período  $t$ .

Revisor A: Limita em 5% do volume de chuva por poço ? 20 poços poderia dar 100% da chuva ? Não ficou claro no texto.

Revisor B: Por que 5%?

Revisor C: Seria apropriado informar o referencial teórico para a escolha desta porcentagem

**Resposta:** Foi acrescentado a frase: “As restrições (9) limitam a captação total subterrânea em 5% do volume de água de chuvas no período  $t$ . Esta porcentagem é

definida com base no conceito de reserva ativa do aquífero, o valor representa uma estimativa do volume que estaria disponível para captação e distribuição para abastecimento (SANTOS, 2009).”

Para se calcular o volume de chuva das restrições (9) utiliza-se dos dados de pluviometria e da área de atuação da bacia hidrográfica do Rio Monjolinho.

Revisor B: Qual bacia hidrográfica? Ou sub-bacia?

Resposta: Foi acrescentado a informação solicitada em: “Para se calcular o volume de chuva das restrições (9) utiliza-se dos dados de pluviometria e da área de atuação da bacia da mancha urbana da cidade que é a sub-bacia hidrográfica do Rio Monjolinho, parte da bacia do Tietê-Jacaré.”

As restrições (10) determinam a quantidade de água captada no período  $t$  no poço  $i$  e esta quantidade depende da faixa utilizada.

Revisor C: Novamente cito a importância de descrever com uma maior riqueza de detalhes se os dados de rebaixamento de todos os poços foram obtidos no mesmo ano (início e fim da série). Neste caso, seria apropriado citar qual o período pluviométrico analisado.

Resposta: No item 2.1 foi explicado o período e forma de obtenção dos dados: “Estes dados são provenientes do trabalho de Perroni e Wendland (2008). Eles foram obtidos com base nas séries históricas disponíveis no período de 1984 a 2004, e nos ensaios de bombeamento realizados após a construção dos poços. Detalhes acerca da maneira que foi realizada essa medição, sobre o tempo que os poços estavam desligados anteriormente, não foram divulgados no estudo.”

As restrições (11) e (12) estabelecem o volume de água captado no poço  $i$  bem como a faixa que poderá ser utilizada para a captação de água. As restrições (13) referem-se ao cálculo do rebaixamento de cada poço devido à captação de água total no período  $t$ . Ademais, esse é um valor acumulativo, sendo que o valor do ano anterior é somado para se obter o resultado do rebaixamento no tempo presente. Por fim, as restrições (14), (15) e (16) definem o domínio das variáveis.

Revisor B: Não existe recarga na área dos poços de abastecimento? Considerar esta outra limitação no modelo.

Resposta: O trecho foi corrigido para: “Ademais, esse é um valor acumulativo, sendo que o valor do ano anterior é somado para se obter o resultado do rebaixamento no tempo presente, pois conforme descrito anteriormente, trata-se de uma simplificação do problema.”

Revisor C: Este método não foi descrito na definição do problema e na modelagem matemática, portanto poderia ser complementado lá.

Resposta: Para não gerar repetição de informações foi preferido deixar este método apenas explicado nesta sessão.

### **3. Resultados e discussões**

O modelo matemático foi codificado no software ILOG CPLEX(TM) 12.1, usando a biblioteca ILOG Concert. Os cenários foram executados durante um tempo máximo limitado em 15 minutos e o tempo necessário para o solver encontrar a solução ótima para todos os cenários foi inferior a 8 segundos. A configuração do CPLEX foi alterada para parar com um GAP relativo de  $10^{-1}$ .

Revisor B: Quais cenários?

Resposta: o texto foi corrigido para: “ Dois cenários foram executados (descritos a seguir) durante um tempo...”

Quais foram os valores de N, J, T, K e M nas simulações?

Resposta: Estes valores foram inseridos no parágrafo seguinte

Quais foram os valores dos custos?

Resposta: Estes valores não foram explicitados pois trata-se de um volume muito grande de dados. Cada poço possui um valor diferente que muda a cada ano. Dessa forma, foi adicionado a seguinte explicação: *“Os valores propícios para os custos foram definidos depois de vários testes realizados. Para os poços, estes tiveram seus valores proporcionais as suas constantes de rebaixamento (Rm). Assim, as unidades com maior valor de Rm, ou seja, maior tendência a rebaixar, possuem custos maiores. A mesma proporção foi aplicada para os custos de rebaixamento de cada poço. Os rios, por sua vez, tiveram seus custos mais elevados, pois teriam que competir com o fato que as fontes subterrâneas apresentam dois tipos de penalidades: pela captação e pelo rebaixamento.”*

GAP: Definir esta sigla. Seria um parâmetro de tolerância ao erro numérico?

Resposta: Para definir foi inserido o trecho: *“Este desvio é calculado por  $GAP = 100(FO-LB)/FO$ , onde FO é o valor da função objetivo do modelo e LB é o limitante inferior, ambos valores são obtidos pelo CPLEX.”*

Os dados utilizados em referência à demanda foram coletados da população estimada em 2018 pelo IBGE e feito uma projeção para os próximos 30 anos com um crescimento anual de 1,54%.

Revisor B: Sugiro a inserção de um gráfico de barras estimando a demanda anual para o consumo de água da população de São Carlos-SP no período de 30 anos.

**Resposta: o Gráfico foi inserido (Gráfico 1)**

Essa porcentagem foi o valor estimado de crescimento pelo IBGE (IBGE, 2019). O consumo diário *per capita* foi definido por 130 Litros por habitante por dia, valor enquadrado na literatura referente à cidade de porte médio (VON SPERLING, 1995).

Revisor B: Quantos habitantes caracteriza uma cidade de porte médio? É o caso da cidade de São Carlos?

**Resposta: o trecho foi esclarecido com a modificação para: “O consumo diário per capita foi definido por 130 Litros por habitante por dia, valor enquadrado na literatura referente à cidade do porte de São Carlos (cerca de 200.000 habitantes) (VON SPERLING, 1995).”**

Os dois rios que abastecem a cidade são o Rio Monjolinho e o Ribeirão do Feijão, a vazão utilizada no presente trabalho é de 2,5m<sup>3</sup>/s para o primeiro (CAMPAGNA, 2005) e de 4 m<sup>3</sup>/s para o segundo (JUNIOR; MUAD; 2015).

As taxas de precipitação foram obtidas do Plano Municipal de Saneamento de São Carlos de 2012 (ESA, 2012).

Revisor C: Seria mais apropriado inserir estas informações na introdução, ou em algum outro capítulo inicial com outras informações faltantes. P. ex: material e métodos.

**Resposta: Optou-se por inserir estas informações nesta sessão para estar junto com os outros dados de entrada do programa.**



Foram analisados dois cenários, no primeiro o custo do rebaixamento do nível freático dos poços não foi alterado e no segundo foi aumentado em 1000 vezes. Essa configuração pretende demonstrar como os poços se portariam caso o custo do rebaixamento for enaltecido de maneira a evitar ao máximo sua ocorrência.

Revisor C: Seria interessante explicar com uma maior clareza esta frase, inclusive citando sua teoria ou hipótese, as quais foram a base teórica para a elaboração do modelo matemático apresentado. Outra alternativa seria elaborar a frase de outra forma. Com a permanência desta frase o leitor pode crer que há alguns equívocos conceituais no estudo, pois os poços se comportam-se conforme as características da unidade aquífera, ou seja, conforme as características do meio onde a água circula. Sendo assim, o poço não muda seu comportamento com a aumento ou diminuição dos custos.

*Resposta: a frase foi corrigida para: “Essa configuração pretende demonstrar o comportamento do rebaixamento do nível dinâmico estimado ao penalizar bastante sua ocorrência.”*

### 3.1 Cenário 1: Custo de rebaixamento = 1

Neste cenário não houve alterações na leitura dos dados em relação ao rebaixamento.

Revisor B: Então pode-se entender CUSTO NULO de rebaixamento?

*Resposta: Foram realizadas novas simulações com o custo de rebaixamento = 10*

No Gráfico 1 observa-se o percentual de captação de cada poço ao longo de 30 anos . Com essa visualização é possível constatar que nenhum poço obteve uma

captação extremamente excessiva. Apesar de alguns terem apresentado significado aumento em relação a outros, o sistema se portou de maneira equilibrada.

Revisor B: 18% dos poços (4 deles) representam 38% da captação. Isto não me parece ser tão equilibrado.

**Resposta: Foram realizadas novas simulações e outros resultados são exibidos.**

Revisor C: Idem ao item anterior. Salvo algum erro de interpretação é possível observar no gráfico que em 30 anos o poço 1 foi responsável por 5% da vazão total utilizada para o período, o poço 2 foi responsável por 9% da vazão total, o poço 3 foi responsável por 10% , e assim por diante. Neste contexto seria interessante reescrever esta frase “ Com essa visualização é possível constatar que nenhum poço obteve um percentual de captação extremamente excessivo”. Caso a frase permaneça novamente o leitor pode interpretar que o autor está levantando questões de superexploração, e neste caso, seria apropriado analisar testes de bombeamento e recuperação, interferência entre poços, regime de chuva, calcular a vazão de exploração, o regime de bombeamento, o rebaixamento disponível e outros parâmetros hidrodinâmicos do aquífero. E estes cálculos dependem do tipo de rocha, tipo de aquífero etc.

**Resposta: Foram realizadas novas simulações e outros resultados são exibidos, sendo que as sugestões foram consideradas para estas novas análises.**

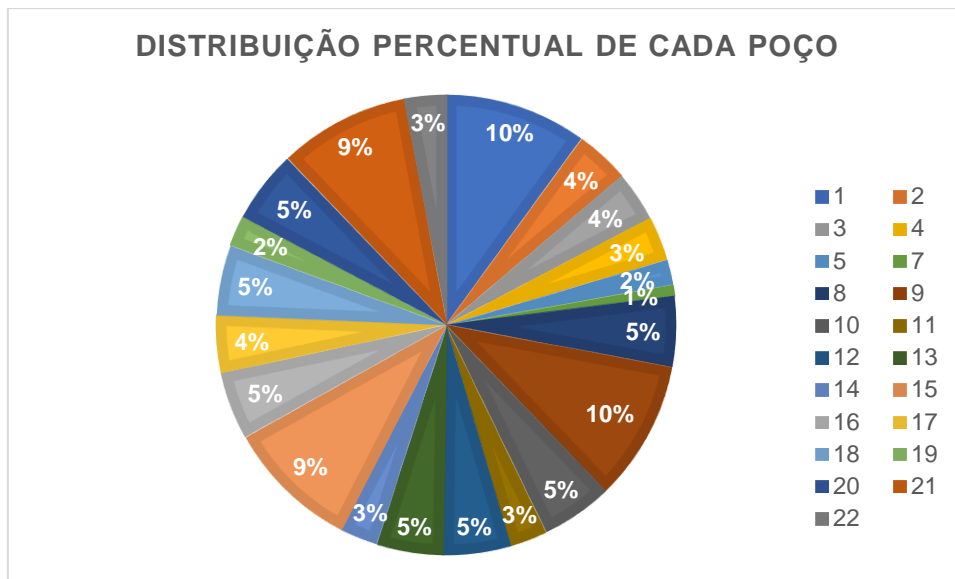


Gráfico 1 – Captação total de cada poço no período de estudo no Cenário 1

Revisor B: A soma parece estar dando 102%. Rever os arredondamentos.

Por que não aparece o poço 6?

**Resposta:** Foram realizadas novas simulações e outros resultados são exibidos.

Sugiro: Gráfico 1 – Simulação da captação total de cada poço no período de estudo no Cenário 1

**Resposta:** A sugestão foi adotada.

Os gráficos 2 e 3 revelam o nível freático de cada poço separadamente no primeiro e último período, respectivamente.

Revisor C: Reitero que seria importante e essencial mencionar se as décadas e anos são os mesmos para todos os poços, ou seja, mesma ano inicial e final.

**Resposta:** Esta informação foi inserida no item 2.1, os dados são de 1984 a 2004 e dos ensaios de bombeamento realizados após a construção dos poços

Observa-se que nesta configuração, apesar de haver um aumento da demanda, houve uma diminuição da captação subterrânea.

Revisor B:

Como é possível o leitor constatar este fato?

**Resposta:** Foram realizadas novas simulações e outras análises foram inseridas.

Revisor C: Seria possível detalhar esta afirmação, fazendo uma referência com o modelo matemático proposto? Novamente o leitor se confunde pois se houve uma diminuição da captação subterrânea só haveria um aumento do rebaixamento se não houvesse recarga no aquífero, ou seja, período de estiagem. Outra questão que não foi claramente apresentada foi a relação entre de gastos mais elevados com o aumento do rebaixamento, seria importante detalhar.

**Resposta:** Foram realizadas novas simulações e outros resultados são exibidos.

Isso deve-se à quanto mais intenso o rebaixamento, maiores o custo da captação. Essa metodologia se adequa a realidade pois quanto mais profundo for o nível freático maiores serão os gastos de bombeamento.

Revisor A: Nível dinâmico

**Resposta:** O termo foi corrigido

Revisor B: Qual seria o principal impacto no gasto de bombeamento, uma vez que o poço já se encontra perfurado?

**Resposta:** Foram realizadas novas simulações e outros resultados são exibidos.

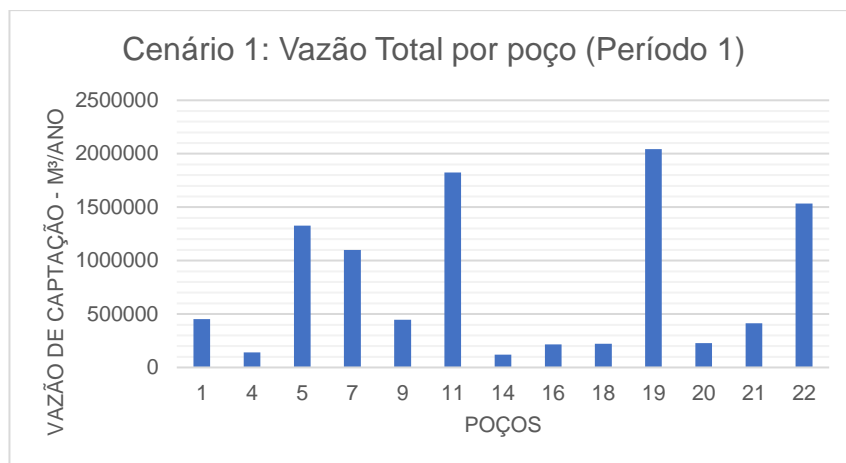


Gráfico 2 – Volume bombeado de cada poço no Período 1 (Cenário 1)

Assim, observa-se a preferência pelas captações superficiais conforme o avanço dos períodos que é constatado pelo Gráfico 4 que demonstra o volume retirado anualmente dos rios. Adicionalmente, nota-se os poços com captação mais expressiva desaparecendo no período 30 (poços 5, 11, 19 e 22) evidenciado que há uma tendência de usar os poços mais favoráveis até atingir seu “limite”, ou seja, um rebaixamento tão elevado que não torna mais viável continuar sua atividade.

Revisor B: Análise interessante. Poderia mencionar também a captação que agora aparecem com os poços 2, 12 e 15 no período 30.

Resposta: Foram realizadas novas simulações e outros resultados são exibidos.

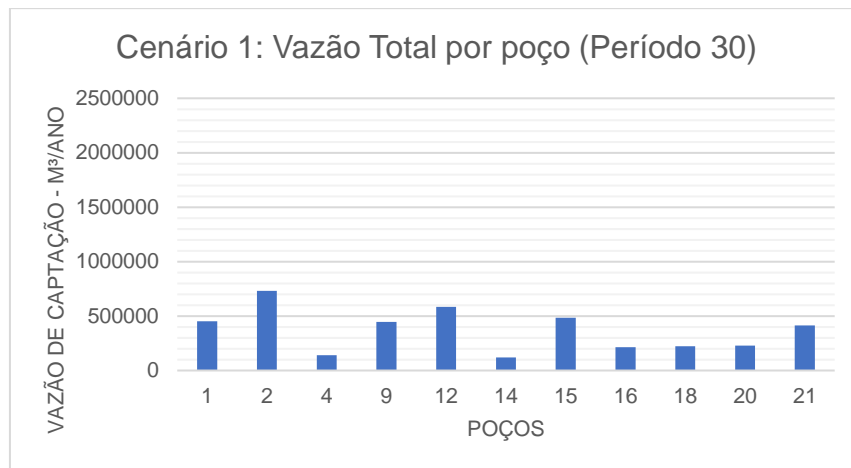


Gráfico 3 – Volume bombeado de cada poço no Período 30 (Cenário 1)

Revisor B: Visando uma melhor comparação entre os gráficos 2 e 3, sugiro a substituição deles por um único gráfico de 2 barras verticais lado a lado para cada medição de volume, uma no período 1 e outra no período 30, dos poços ativos.

**Resposta: a sugestão foi aplicada ao trabalho**

Sugiro ainda a confecção de um outro gráfico de barras semelhante para ilustrar o rebaixamento simulado em cada poço ativo.

**Resposta: a sugestão foi aplicada ao trabalho**

Revisor C: A escala vertical do gráfico poderia ser alterada para uma melhor visualização dos dados.

**Resposta: a sugestão foi aplicada ao trabalho**

Além disso, o número de poços ativos nos períodos 1 e 30 é similar e alguns poços só aparecem em períodos posteriores.

Revisor C: Seria importante citar a fonte pois normalmente temos um expressivo aumento na quantidade de poços perfurados ao longo dos anos. Ademais, cabe ressaltar que existe um grande número de poços sem outorga que abastecem condomínios, fábricas, escolas, casas e etc..

Resposta: Foram realizadas novas simulações e outros resultados são exibidos. Para contemplar esta informação foi inserido no item 2.1: *“Adicionalmente, é importante apontar que há poços dentro do município que não possuem outorga. Entretanto, para este trabalho focou-se apenas nos poços cadastrados para abastecimento público”*.

Devido a isso, é possível destacar como favorável a abertura de novos poços. O programa prefere utilizar determinados poços de maneira mais intensa do que muitos de forma mais branda.

Revisor B: Sugiro um melhor esclarecimento sobre o termo “preferência” que aqui está personificando o código computacional.

Resposta: Foram realizadas novas simulações e outras análises são exibidas.

Revisor C: Esta afirmação é delicada. Seria importantíssimo melhorar nosso sistema de gestão e outorga, tornado-o mais dinâmico. Desse modo, em períodos onde fique comprovado um excedente de recarga, poderia inclusive aumentar (proporcionalmente) a vazão de exploração de alguns poços. Já em períodos de estiagem, deveria ser recomendado reduzir a vazão de exploração ou o regime de bombeamento. No próprio processo de outorga deveria ser possível prever a interferência hidrodinâmica entre poços. Ou seja, um sistema de outorga “ideal” poderia acompanhar as condições impostas pelo ciclo da água. Este estudo aponta uma intenção de melhorar a gestão hídrica, por isso as afirmativas deveriam seguir esta linha de raciocínio, com enfoque na sustentabilidade e otimização do sistema, o qual depende das características da unidade aquífera.

Resposta: Foram realizadas novas simulações e outras análises são exibidas levando em consideração as revisões fornecidas.

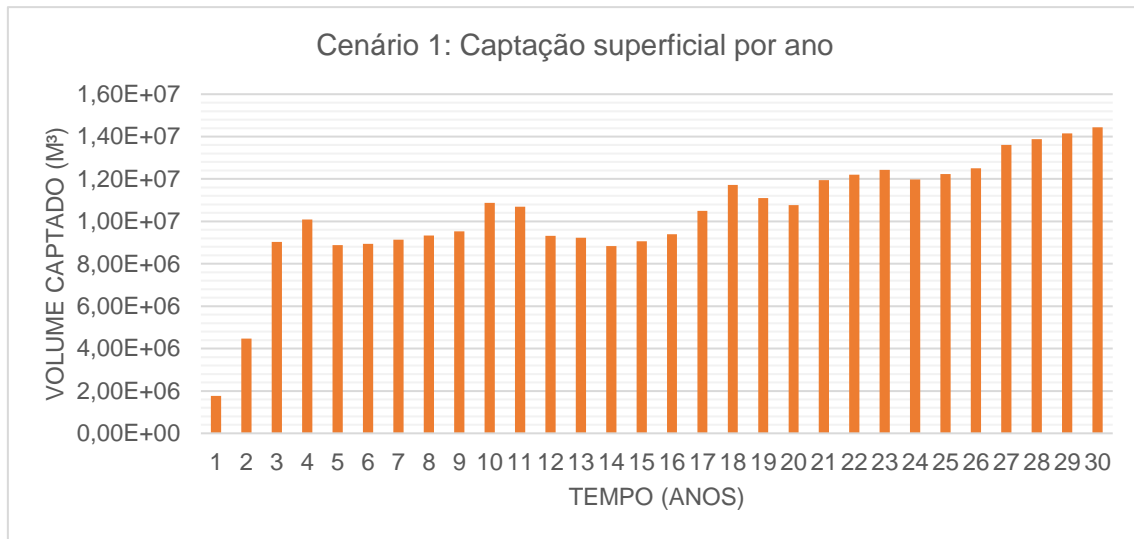


Gráfico 4 – Volume retirado dos rios em cada período

### 3.2 Cenário 2: Custo do rebaixamento = 1000

Ao se definir um custo 1000 vezes maior para o rebaixamento o que se pretende é tentar diminuir este impacto ambiental ao fornecer um custo muito elevado para sua realização. Desta forma, a análise resulta em uma configuração da rede a fim de preservar ao máximo o nível dos poços.

O Gráfico 5 ilustra que também se obteve uma captação bem distribuída entre os poços durante a análise.



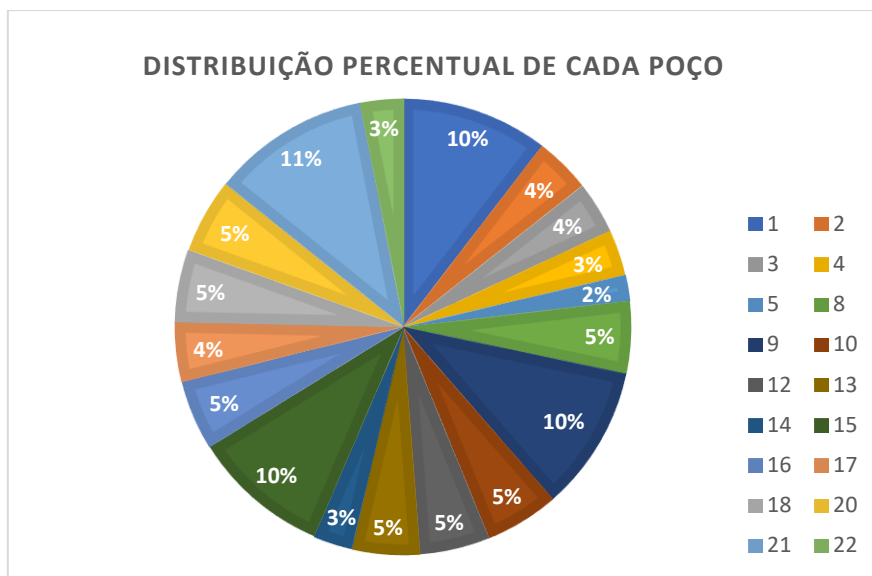


Gráfico 5 – Simulação da captação total de cada poço no período de estudo no Cenário 2

Revisor B:

A soma parece estar dando 99%. Sugiro rever os arredondamentos.

**Resposta: Foram realizadas novas simulações e outros resultados são exibidos.**

Os Gráficos 6 e 7 revelam que há uma menor variação entre os poços quando o mesmo período é comparado com o cenário anterior.

Revisor B:

Este comportamento, se realmente ocorreu, seria melhor visualizado pelo gráfico de Rebaixamentos proposto anteriormente. Resposta: Este gráfico foi inserido.

Adicionalmente, a captação é menor que anteriormente, o que resulta em maior bombeamento dos rios, constatado pelos dados do Gráfico 8.

Revisor B 1:

Ao comparar o Período 30 nos gráficos 3 e 7, verifica-se, no cenário 2, uma atuação extras dos poços 3, 8 e 10 e um aumento de captação do poço 21, sugerindo assim,

um volume de extração superior nos poços do cenário 2 em relação aos poços do cenário 1.

Resposta: Foram realizadas novas simulações e outros resultados são exibidos.

Revisor B2:

Nos últimos 6 anos do período de simulação, existe uma diminuição considerável no volume de água bombeado dos rios, quando se compara os dados finais do gráfico 4 com os do gráfico 8. Sugiro verificar a coerência deste comportamento em relação ao que se está afirmando.

Resposta: Foram realizadas novas simulações e outros resultados são exibidos.

A captação superficial neste cenário se difere do anterior por se apresentar intensa já nos primeiros anos e se manter desta forma durante todo o tempo.

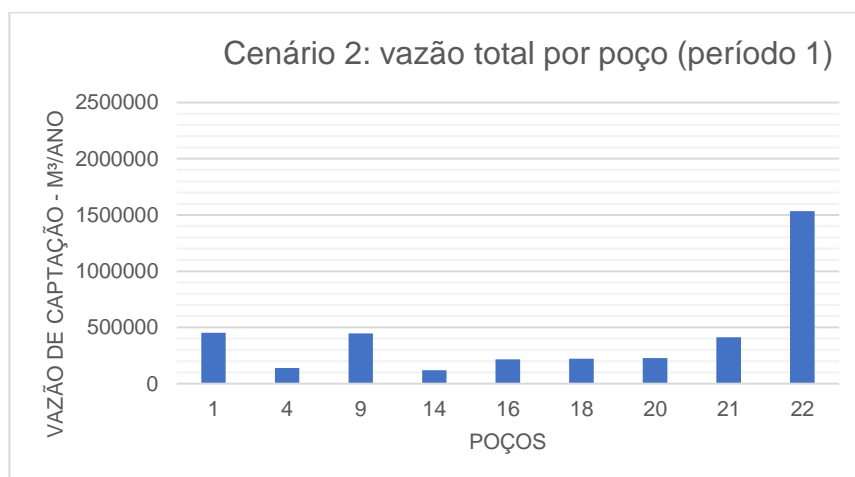


Gráfico 6 – Cenário 2: Volume bombeado de cada poço no Período 1

No período 30 foram utilizados 15 poços, enquanto no mesmo período na configuração anterior, apenas 11. Isso representa que optou-se por diminuir o valor das captações em cada poço e aumentar o número de poços para minimizar o rebaixamento.

Revisor B: Os poços ativos comuns aos Cenários 1 e 2 possuem, EXATAMENTE, os mesmos valores de Vazão de Captação no período 30. Assim, a atuação com surgimento dos poços 3, 8, 13 e 21, (gráfico 7) só contribuem para aumentar o rebaixamento.

Resposta: Foram realizadas novas simulações e outros resultados são exibidos.

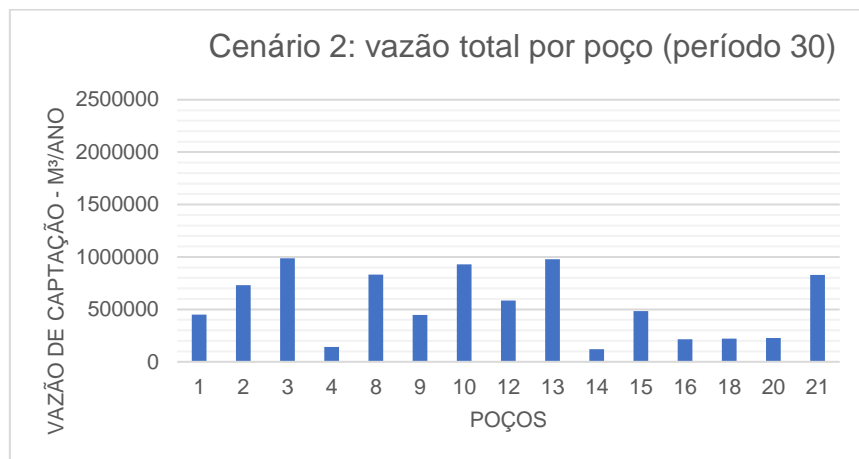


Gráfico 7 – Cenário 2: Volume bombeado de cada poço no Período 30

Revisor B: Sugiro, também neste cenário 2, um gráfico com 2 barras verticais para cada medição de volume, uma no período 1 e outra no período 30, dos poços ativos. Pois, facilitaria a comparação feita de forma visual.

Resposta: Este gráfico foi inserido.

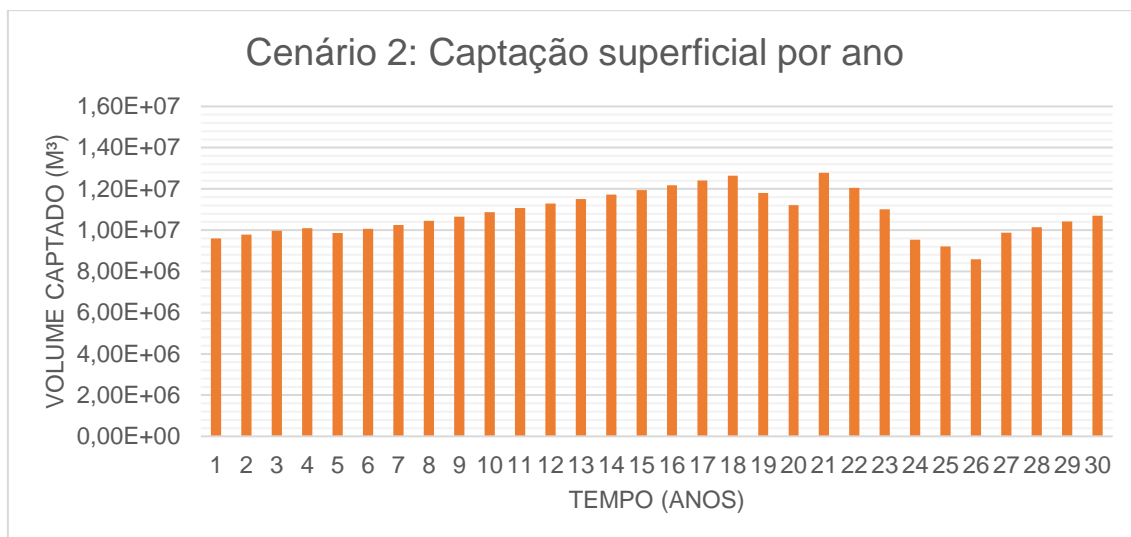


Gráfico 8 – Cenário 2: Volume retirado dos rios em cada período

#### 4. Conclusão

O presente trabalho estudou o comportamento do sistema de captação de água do município de São Carlos-SP. O caso considerado e suas particularidades não está presente na literatura, porém durante o trabalho foi possível adaptar modelos já propostos e estratégias de solução de modo a abordar o problema de maneira condizente com a situação real.

Revisor B: Propostos por quem?

Resposta: O trecho foi modificado para: “O caso considerado e suas particularidades não está presente na literatura, porém durante o trabalho foi possível criar estratégias de solução de modo a abordar o problema de maneira condizente com a situação real.”

As análises dos resultados permitiram que fossem estimados os efeitos da atual tendência de aumento do uso de fontes subterrâneas. Além disso, foi proposto que variar e adequar a vazão dos poços pode resultar em um menor rebaixamento total.

Revisor A:

Nessa altura está claro que o trabalho não trata de uma relação direta do rebaixamento do aquífero em si. Mas sim do rebaixamento observado no poço que pode ser resultado de uma soma de diversas parcelas, relacionado a fenômenos físicos e químicos que ocorrem no interior do poço somado ao rebaixamento do aquífero. Isso poderia ser ao menos citado ao longo do texto.

Resposta: Como forma a explicar este fenômeno, o trecho foi modificado para: “O caso considerado e suas particularidades não está presente na literatura, porém durante o trabalho foi possível criar estratégias de solução de modo a abordar o problema de maneira condizente com a situação real.” E no item 2.1 foi inserido que: “Assim, neste trabalho é denominado de rebaixamento a diferenciação das medições nos poços de captação que foram estimadas com base em dados anteriores. Desta forma, o valor analisado é devido a fenômenos químicos e físicos somados ao rebaixamento do nível do aquífero.”

Ou seja, indicou-se em cada cenário a melhor maneira de operar os poços (vazão e tempo de operação) a fim de minimizar os impactos negativos no meio.

Revisor B:

A seção Resultados não apresentou nenhuma análise neste sentido.

Resposta: a frase foi substituída por: “Os resultados forneceram como a operacionalização (quais poços estão ativos a cada ano) deveria ocorrer ao longo dos próximos 30 anos a fim de se minimizar ao máximo os custos e como se portaria o rebaixamento do nível dinâmico ao longo desse período.”

Além disso, o estudo buscou abordar duas vertentes: um cenário com um custo referente ao rebaixamento do nível freático 1000 vezes maior que o outro. O que proporcionou diferentes análises quanto à importância dada a um impacto ambiental. Fornecer valores exatos de algo tão complexo quanto os impactos ambientais é uma função bastante difícil, assim os cenários permitem gerar diversas abordagens ao problema a fim de ampliar a análise desta questão.

Os resultados forneceram como a operacionalização deveria ocorrer ao longo dos próximos 30 anos a fim de se minimizar ao máximo os custos. Devido às limitações de parâmetros não se adequarem totalmente a realidade, buscou-se incluir um grande número de restrições visando uma maior semelhança com o real. Adicionalmente, a maneira que os dados se comportaram permitiu as seguintes constatações:

- Ao longo do período a porcentagem de captação dos poços não foi discrepante
- Utilizou-se poços “até o limite” nos períodos iniciais para posteriormente iniciar o uso de outros poços;

Revisor C: Novamente ressaltar que faltam alguns dados para comprovar um superexploração. P. ex: Cálculos do rebaixamento máximo disponível, exclusão de interferência de poços e outros já citados.

**Resposta: Estas informações foram retiradas em vista que se realizou novas simulações.**

- Com um custo de rebaixamento mais elevado, é preferido aumentar o número de poços para cada um ter proporcionalmente uma captação menor;

Revisor B: Verifica-se um número inferior de poços ativos no Cenário 2 (18 poços), e ainda, o percentual do poço 15 aumentou de 9% para 10% e o do poço 21 aumentou de 9% para 11%.

**Resposta: Foram realizadas novas simulações e outros resultados são exibidos.**

Revisor C: Conceitualmente ficou confuso, portanto seria interessante tentar detalhar esta afirmação. Em aquífero fraturado heterogêneo anisotrópico esta afirmação parece não ser apropriada, em aquífero homogêneo e isotrópico pode ser que seja coerente porém. Sugiro tentar discutir melhor e citar em que baseia-se esta afirmação. Ou seja, em quais informações foi possível afirmar que é preferível bombear 10 poços captando 1 m<sup>3</sup>/h ao invés bombear 1 poço captando 10m<sup>3</sup>/h.

**Resposta: Foram realizadas novas simulações e outros resultados são exibidos levando em conta as sugestões das revisões.**

Essas constatações e a forma de operação dos poços possuem a intenção de ajudar no manejo e gestão adequada deste recurso em vista que envolve dinâmicas muito complexas que acabam não sendo avaliadas nas tomadas de decisões do poder público. Assim, criar modelos que simulem, busquem otimizar os sistemas e representem cenários futuros são de extrema importância para uma gestão mais sustentável.

## **5. Referências**

APRILE, J. Aquífero Guarani: Águas subterrâneas também estão em risco. 2016. Disponível em: <<http://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/aquifero-guarani-aguas-subterraneas-tambem-estao-em-risco.htm>>.

CAMPAGNA, A. F. Toxicidade dos sedimentos da Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho ( São Carlos - SP): ênfase nas substâncias cobre, aldrin e heptacloro. 2005. Tese (Doutorado), 2005.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. 2010. Dissertação (Mestrado), 2010.

DIAS, H. Centro de pesquisa do IGc alerta para contaminação de aquíferos paulistas. 2016. Disponível em: <<http://www5.usp.br/38710/centro-de-pesquisa-do-igc-alerta-para-contaminacao-de-aquiferos-nitrato/>>.

ESA: Engenharia Sanitária e Ambiental. Revisão e complementação do Plano Diretor de Saneamento de São Carlos. [S.l.], 2012.

IBGE. São Carlos. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-carlos/panorama>. Acesso em 01 de fev de 2019.

JUNIOR, P. P. A.; MAUAD, F. F. Simulação dos impactos das mudanças climáticas na vazão da bacia do ribeirão do feijão – sp. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. [S.l.: s.n.], 2015.

LOMBA, C. C. P. A disponibilidade hídrica da região metropolitana de São Paulo. In: XVI Encontro nacional dos Geógrafos. [S.l.: s.n.], 2010.

OLIVEIRA, A. Nível do Aquífero Guarani baixa um metro por ano em Ribeirão Preto, SP. 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/ribeirao-preto-franca/noticia/2012/03/nivel-do-aquifero-guarani-baixa-um-metro-por-ano-em-ribeirao-preto-sp.html>>.

Prefeitura São Carlos. Report, Plano Municipal de Saneamento de São Carlos. 2012.



SAAE. Produção de Água e Esgoto Tratado. 2016. Disponível em: <<http://www.saaesaocarlos.com.br/joomla4/index.php/dadossaneamentomenu/top/producaoaguaeesgotomenu>>.

VON SPERLING, M. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento dos Esgotos Vol.1. Belo Horizonte, UFMG, 1995.