

Impacto do desassoreamento por escavação na qualidade hídrica em reservatório de água no município de Fernandópolis, SP

Elise Baroni Ramos

Mestranda em Ciências Ambientais, Universidade Brasil, Brasil
elise_baroni@hotmail.com

Cleber Fernando Menegasso Mansano

Professor Titular, Universidade Brasil, Brasil
cleber.mansano@ub.edu.br

Juliana Heloisa Pinê Américo-Pinheiro

Professora Titular, Universidade Brasil, Brasil
juliana.pinheiro@ub.edu.br

Luiz Sergio Vanzela

Professor Titular, Universidade Brasil, Brasil
luiz.vanzela@ub.edu.br

RESUMO

O desassoreamento é um trabalho de importante na recuperação de reservatórios de água, mas perturba o ambiente e proporciona um potencial impacto sobre os recursos hídricos. O objetivo no trabalho foi avaliar o impacto da operação de desassoreamento por escavação na qualidade de água do Córrego da Aldeia, Fernandópolis/SP. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x3x4, em que os fatores principais foram constituídos dos períodos de escoamento superficial (com e sem escoamento), os secundários pelos períodos de escavação (antes, durante e após) e o terciário pelos pontos de monitoramento (pontos à montante E1, E2 e E3 e ponto S à jusante, em relação ao reservatório). As amostras e análises de água foram coletadas entre julho de 2020 e março de 2022, sendo analisadas variáveis físicas, químicas e biológicas da água. Após, foi realizada análise de variância dos fatores isolados e de sua interação, seguida de teste de comparação de médias. Por meio dos resultados, foi observado que a obra impactou a qualidade de água na concentração de amônio e amônia em 154,1% e 151,9%, respectivamente. As outras variáveis hídricas qualitativas avaliadas (temperatura da água, potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, coliformes totais e *Escherichia coli*), foram impactadas em função do clima e/ou uso e ocupação do solo do entorno dos pontos de coleta.

PALAVRAS-CHAVE: Assoreamento. Barragens. Recursos hídricos.

1 INTRODUÇÃO

O uso e ocupação inapropriado de bacias de drenagem, traz consequências prejudiciais aos cursos d'água, incluindo os reservatórios denominados de represas. Isso se deve pelas erosões, que carregam os sedimentos até o leito dos cursos d'água que, conseqüentemente, são transportados e retidos nos reservatórios, que possuem vazão muito baixa ou praticamente nula (CARVALHO, 2008). Este processo é denominado de assoreamento e pode intervir na qualidade hídrica e no volume de água acumulado de represas.

Enquanto as represas se enchem de sedimentos gradualmente com o passar do tempo, é preciso pensar em estratégias para reduzir ou remover a deposição desse material. Para isso, há uma variedade de técnicas de desassoreamento que prejudica o mínimo possível do funcionamento do reservatório (LEE; LAI; SUMI, 2022).

O trabalho de desassoreamento em um reservatório de água, se consiste em retirar o os sedimentos acumulados no leito e nas laterais, geralmente utilizando equipamentos como dragas, para realizar a sucção do material sedimentado, escavadeiras, para alargar as laterais e caminhos, para o transporte dos sedimentos retirados à disposição final. Dessa forma, é possível aumentar a profundidade e a área de espelho d'água do reservatório (GIUDICE *et al.*, 2018).

No município de Fernandópolis, localizado na região noroeste paulista, há um reservatório de água com finalidades paisagísticas e recreativas. Principalmente em função da crescente urbanização em sua bacia de drenagem, esse reservatório sofreu um processo de assoreamento, reduzindo seu espelho d'água em 81,9% de 1979 a 2020 (BUOSI, 2021).

Perante essa realidade, a Prefeitura Municipal de Fernandópolis iniciou em dezembro de 2020 o trabalho de desassoreamento de 4,26 ha de espelho d'água (CETESB, 2020a). A obra será constituída de duas etapas: escavação e dragagem.

A etapa de escavação foi concluída em dezembro de 2021 e com isso foi possível acompanhar a qualidade de água do Córrego da Aldeia antes, durante e após a escavação, com a finalidade de avaliar o real impacto deste processo temporário sobre variáveis hídricas qualitativas.

2 OBJETIVO

Avaliar o impacto da operação de desassoreamento por escavação na qualidade de água do Córrego da Aldeia, Fernandópolis/SP.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

O reservatório de água objeto deste estudo, localiza-se córrego da Aldeia, no município de Fernandópolis, Noroeste do Estado de São Paulo. A bacia hidrográfica do córrego da Aldeia, até o ponto de saída da barragem do reservatório é de 5,57 km², com leito principal de 2.214,78 m, sendo ocupada principalmente por gramíneas (50,7%), áreas urbanizadas (35,7%) e florestas nativas (9,0%). De acordo com São Paulo (1977), o enquadramento do corpo hídrico é classe 4 em toda sua extensão.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 3 x 4, em que os fatores principais foram constituídos dos períodos de escoamento superficial (PEsc) (com e sem escoamento), os secundários pelos períodos de desassoreamento (PDes) (antes, durante e após a escavação) e o terciário pelos pontos de monitoramento (Po) (pontos à montante E1, E2 e E3 e ponto S à jusante, em relação ao reservatório).

3.3 Pontos de monitoramento

Os pontos de monitoramento foram definidos pela localização em relação ao reservatório, sendo localizados e caracterizados conforme Quadro 1 e Figura 1.

Quadro 1 - Detalhamento dos pontos de amostragem

Ponto	Coordenadas geográficas	Caracterização do entorno	Caracterização da bacia de contribuição
Entrada 1 (E1)	20°15'47,21" Sul 50°14'28,51" Oeste	O local encontra-se degradado e com assoreamento acentuado. É uma área de confinamento de equinos e bovino, além de receber águas pluviais e resíduos sólidos dos bairros no entorno, assim como lançamento clandestino de esgoto.	<ul style="list-style-type: none"> • Área: 2,55 km² • Maioria ocupada por: <ul style="list-style-type: none"> - Área urbanizada (65%) - Gramíneas (27%)
Entrada 2 (E2)	20°15'42,04" Sul 50°14'29,80" Oeste	Caracterizado por escassez de matas ciliares e pelo processo avançado de assoreamento, sendo o leito raso e alargado, quase todo ocupado por macrófitas aquáticas. É uma área de cultivo de bovinos e serve para dessedentação dos animais.	<ul style="list-style-type: none"> • Área: 0,87 km² • Maioria ocupada por: <ul style="list-style-type: none"> - Gramíneas (80%) - Florestas nativas (17%)
Entrada 3 (E3)	20°15'32,89" Sul 50°14'22,16" Oeste	Esse ponto possui espelho d'água e profundidade maior que os demais, com presença de macrófitas aquáticas. Dispõe de mata ciliar preservada e é habitado por animais, como capivaras	<ul style="list-style-type: none"> • Área: 1,62 km² • Maioria ocupada por: <ul style="list-style-type: none"> - Área urbanizada (51%) - Gramíneas (36%)
Saida (S)	20°15'52,27" Sul 50°14'08,19" Oeste	O local fica após a dissipação de energia da travessia do reservatório e possui mata ciliar preservada nesse trecho, com leito raso e alargado e com muita presença de macrófitas aquáticas.	<ul style="list-style-type: none"> • Área: 5,57 km² • Maioria ocupada por: <ul style="list-style-type: none"> - Área urbanizada (51%) - Gramíneas (36%)

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 1 - Localização dos pontos de amostragem e delimitação da área escavada



Fonte: Adaptado do *Google Earth Pro* (2022)

3.4 Períodos de escoamento superficial

O fator períodos de escoamento foi definido a partir do escoamento superficial determinado pelo Método do Número da Curva, desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS) (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004). Com esse método é possível estimar o volume de escoamento superficial pela área da bacia, a partir de dados de precipitação e outras características da bacia.

Os dados de precipitação foram obtidos a partir da estação climatológica automática do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO, 2022), localizada a 6 km da saída da barragem e a caracterização das bacias foi realizada *in situ* e por imagens do *Google Earth*. Para os cálculos dos escoamentos utilizou-se a precipitação acumulada em sete dias anteriores as datas dos monitoramentos.

Após determinados os escoamentos superficiais, definiu-se como período sem escoamento, quando não houve escoamento superficial acumulado nos sete dias anteriores a data de monitoramento, enquanto os períodos com escoamento foram definidos nas datas em que o escoamento superficial acumulado de sete dias foi maior do que zero.

3.5 Períodos de escavação

O fator períodos de escavação foi definido a partir do período de monitoramento em relação ao serviço de escavação para o desassoreamento, sendo: (a) antes - monitoramentos realizados antes do início da escavação, (b) durante - monitoramentos realizados ao longo de todo período em que a obra estava sendo executada e (c) depois - monitoramentos realizados após o término da escavação.

3.6 Variáveis analisadas e amostragens

As variáveis hídricas analisadas foram a série de sólidos (concentração de sólidos totais, suspensos e dissolvidos) (mg L^{-1}), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), condutividade elétrica da água a 25°C ($\mu\text{S cm}^{-1}$), potencial hidrogeniônico, concentração de oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), coliformes totais (UFC/100 mL), bactérias termotolerantes (*Escherichia coli*) (UFC/100 mL), concentração de amônia e amônio (mg L^{-1}). Algumas variáveis foram analisadas *in situ*, enquanto outras foram amostradas e analisadas em laboratório (Quadro 2).

Quadro 2 - Detalhamento da forma e método de análises das variáveis hídricas analisadas em laboratório

Variável	Método	Material e equipamento
Sólidos totais (ST), sólidos dissolvidos (SD) e sólidos suspensos (SS)	Gravimétrico, analisado em laboratório	Balança, funil de buchner, bomba de vácuo, e estufa de secagem
Condutividade elétrica (CE)	Leitura automática, analisado em laboratório	Condutivímetro (MS TecnoPON®)
Coliformes totais (CT) e bactérias termotolerantes (<i>E. coli</i>)	Análise quantitativa, analisado em laboratório	Kit microbiológico de cartelas Colipaper® e Micro estufa microbiológica (marca Alfakit®)
Potencial hidrogeniônico (pH)	Leitura automática, analisado <i>in situ</i>	Fotômetro multiparâmetro (modelo HI83303-01, da marca HANNA®)
Amônia (NH_3) e amônio (NH_4^+)	Fotometria, analisado <i>in situ</i>	
Oxigênio dissolvido (OD)	Compensação automática, analisado <i>in situ</i>	Medidor Multiparâmetro (modelo AK87, da marca AKSO®)
Temperatura da água (T)		

Fonte: Autoria própria (2022)

Ao todo foram realizadas 25 campanhas de amostragens quinzenais/mensais, divididas em três campanhas entre julho e agosto de 2020 (antes da obra iniciar), dezenove campanhas de janeiro a novembro de 2021 (durante a escavação) e três campanhas de janeiro a março de 2022 (após finalizada a etapa de escavação). Todas as coletas foram realizadas no período da manhã, entre 8h e 11h.

As amostras foram coletadas em garrafas de PVC de 500 mL, sendo acondicionadas em isopor com gelo, para o transporte ao laboratório. No caso das amostras bacteriológicas, foram coletadas diretamente no córrego, retirando-se o excesso das cartelas, que em seguida eram acondicionadas em sacos plásticos e em isopor com gelo até serem levadas ao laboratório.

3.7 Metodologia estatística

Após a obtenção dos dados das variáveis hídricas, realizou-se a análise de variância dos fatores isolados (PEsc, PDes e Po) e de sua interação (PEscxPo e PDesxPo). No caso de probabilidade de significância (valor de p) menor ou igual a 0,05, as análises prosseguiram pelo teste de comparação de médias de Scott e Knott (SCOTT; KNOTT, 1974), ao nível de 5% de significância estatística. Em todas as comparações de medias foram apresentados os respectivos coeficientes de variação (valor de CV).

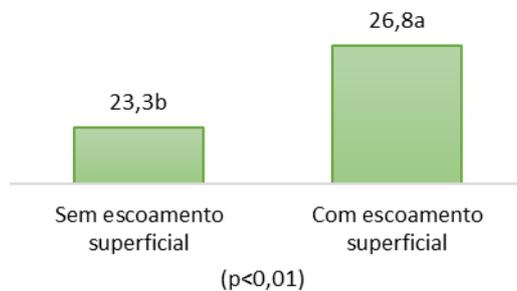
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Temperatura da água

A maior média de temperatura da água foi observada no período em que houve escoamento superficial ($26,8^{\circ}\text{C}$), sendo 14,7% superior ao do período sem escoamento (Figura

2). A temperatura da água oscila com variações sazonais e na região de estudo deste trabalho, há a tendência de a T aumentar em períodos com chuva acumulada, pois coincide com o período de dias mais quentes.

Figura 2 - Médias da temperatura da água (°C) em função do fator P_{Esc} (CV=17,25)

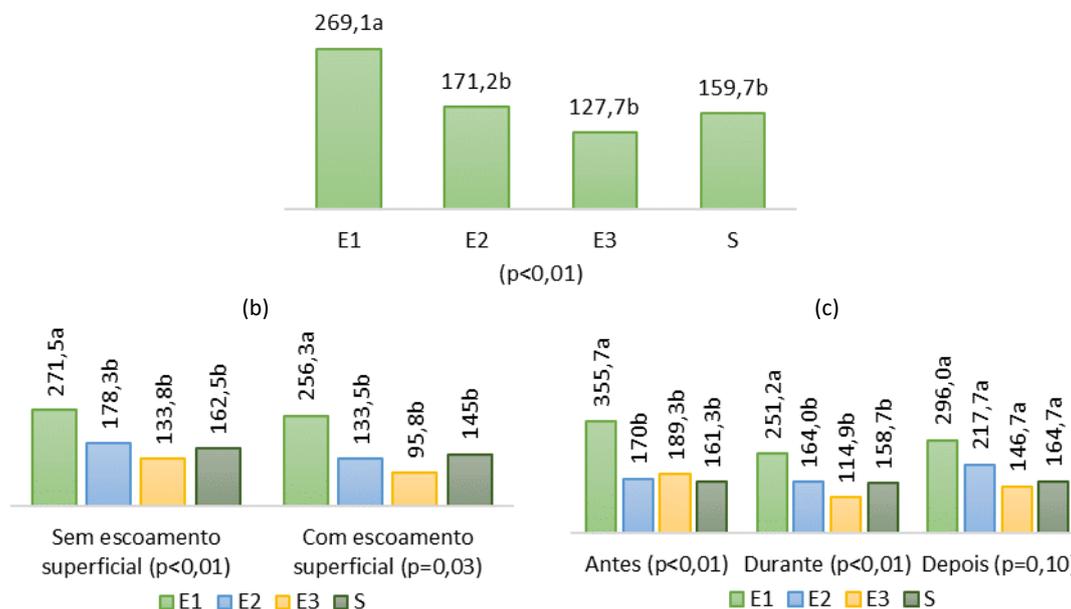


(p<0,01)
Médias seguidas de mesma letra não se diferem ao nível de p<0,05
Fonte: Autoria própria (2022)

4.2 Sólidos totais

Analisando o fator isolado pontos, no ponto E1 foi observada a maior média de concentração de sólidos totais (269,1 mgL⁻¹), sendo 76% superior à média dos outros pontos (E2, E3 e S) (Figura 3a). Os valores mais altos relacionam-se ao ponto a montante em que o corpo d'água está mais assoreado.

Figura 3 - Médias da concentração de sólidos totais (mg L⁻¹) em função do fator P_o (a), da interação entre os fatores P_{Esc}xP_o (b) e da interação entre os fatores P_{Des}xP_o (c) (CV=43,37)



Médias seguidas de mesma letra não se diferem ao nível de p<0,05
Fonte: Autoria própria (2022)

Foram observadas diferenças significativas na interação entre períodos de escoamento e pontos (Figura 3b), onde a média do ponto E1 se manteve maior que os outros pontos (E2, E3 e S) nos períodos sem e com escoamento superficial.

No desdobramento dos pontos dentro dos períodos de desassoreamento (Figura 3c), houve significância estatística nos instantes antes e durante a escavação, com o ponto E1 possuindo a maior média. No período depois, não houve diferença significativa entre as médias.

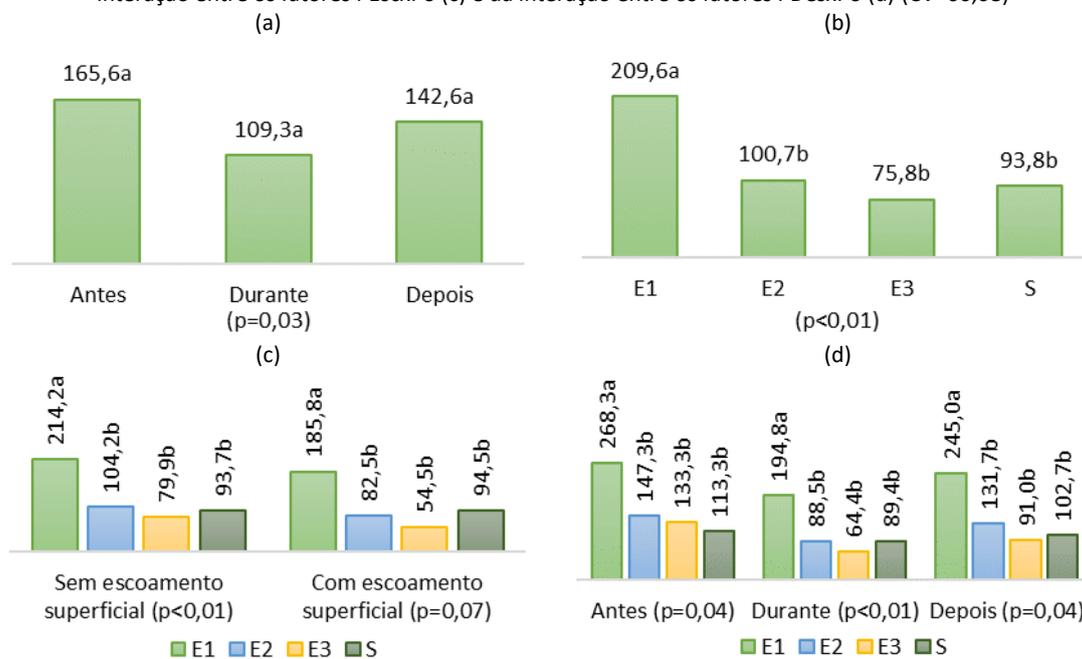
Não é possível associar os resultados obtidos com a legislação vigente, pois a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), não possui limite estabelecido para ST em corpos hídricos classe 4. Valores altos de ST costumam estar relacionados ao maior índice de chuvas, que permite o transporte de sedimento para o leito d’água, porém, a alta urbanização próxima aos cursos d’água, também incrementa as médias de concentração de sólidos (ALVES *et al.*, 2021), o que explica a grande concentração de ST encontrada no ponto E1.

4.3 Sólidos dissolvidos

No fator isolado períodos de desassoreamento não foi observado significância estatística, sendo que a concentração média observada nos três instantes foi 139,1 mgL⁻¹ (Figura 4a). Segundo a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), águas doces de classe 4 não possuem um limite máximo de concentração de SD, porém, com as concentrações médias observadas na água (≤ 500 mgL⁻¹), esse trecho do córrego da Aldeia poderia ser classificado como classe 1.

Na Figura 4b, pode ser observada a concentração média de sólidos dissolvidos em função do fator isolado pontos. Seguindo o padrão dos sólidos totais, o maior valor foi observado no ponto E1, sendo 132,6% superior à média dos pontos E2, E3 e S (90,1 mgL⁻¹).

Figura 4 - Médias da concentração de sólidos dissolvidos (mg L⁻¹) em função do fator PDes (a), do fator Po (b), da interação entre os fatores PDesxPo (c) e da interação entre os fatores PDesxPo (d) (CV=60,08)



Médias seguidas de mesma letra não se diferem ao nível de p<0,05

Fonte: Autoria própria (2022)

No fator interação entre períodos de escoamento e pontos (Figura 4c), novamente a média da concentração de SD do ponto E1 se manteve maior que os outros pontos (E2, E3 e S) nos dois períodos. O período menos chuvoso detém maiores valores de sólidos dissolvidos, pois

há uma arraste maior de materiais presentes no leito do curso d’água, fazendo que os sólidos estejam mais presentes. Já no período com mais chuvas, a concentração tende a diminuir, uma vez que os sólidos estão diluídos em maior volume de água (ALENCAR *et al.*, 2019).

O desdobramento dos pontos dentro dos períodos do desassoreamento, apresentou diferença significativa nos três instantes, sendo as médias do ponto E1, respectivamente, 104,3%, 141,3% e 125,9% superior que as médias entre os pontos E2, E3 e S (Figura 4d). Nota-se que o padrão permaneceu o mesmo nos três momentos da obra, podendo concluir que não houve influência da escavação na concentração de sólidos dissolvidos, podendo associar os valores encontrados com à descarga de sólidos, principalmente no ponto E1.

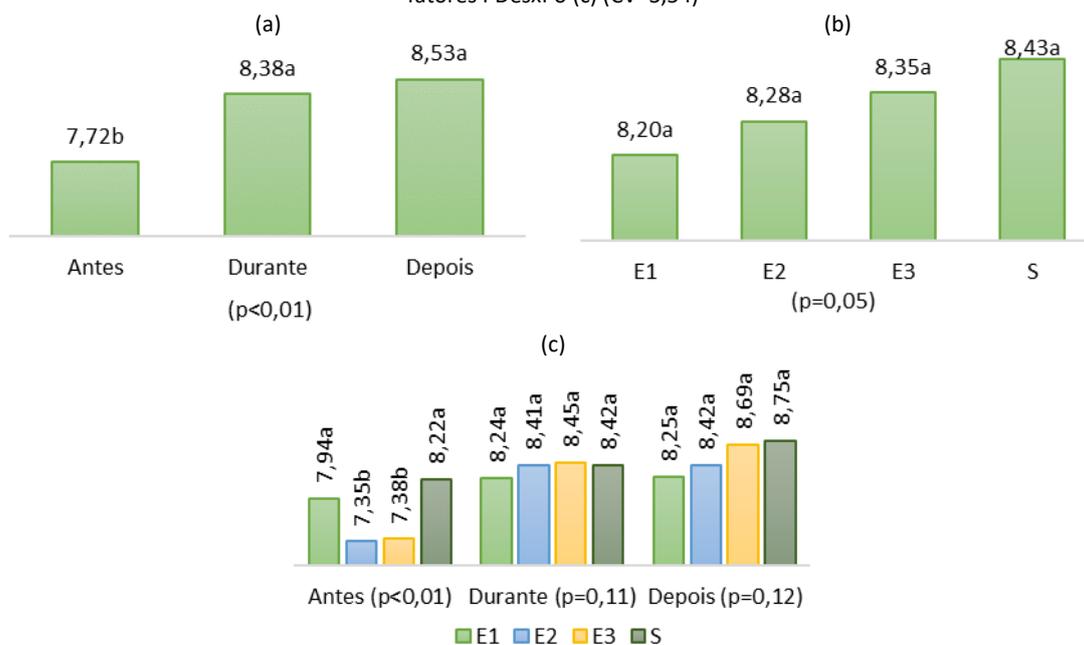
4.4 Sólidos suspensos

A média geral da concentração de sólidos suspensos em todo o período avaliado foi de 61,9 mg L⁻¹. Não foi apresentado diferença significativa para os fatores analisados e houve uma baixa concentração de sólidos suspensos comparada com as médias de sólidos totais e dissolvidos. Esse fato pode ser justificado por se tratar de trechos próximos a um reservatório, associando com os valores médios de concentração de SS encontrados nos trabalhos de Belém (2019) e Guimarães (2019) em pontos próximos a águas represadas.

4.5 Potencial hidrogeniônico

Os resultados de pH no fator períodos de desassoreamento mostram que a média aumentou após o início da escavação. Comparando a média de antes (7,72) com a média encontrada entre instantes durante e depois (8,45), houve um incremento de 9,5% (Figura 5a). Como as médias foram superiores a 7,0, entende-se que a água é alcalina (ANA, 2016).

Figura 5 - Médias de potencial hidrogeniônico em função do fator PDes (a), do fator Po (b) e da interação entre os fatores PDesxPo (c) (CV=3,54)



Médias seguidas de mesma letra não se diferem ao nível de p < 0,05

Fonte: Autoria própria (2022)

Não foi encontrada diferença estatística no fator isolado pontos no teste de comparação de médias (Figura 5b), porém os valores de pH registrados atenderam ao intervalo limite padrão disposto pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), que é de 6,0 a 9,0.

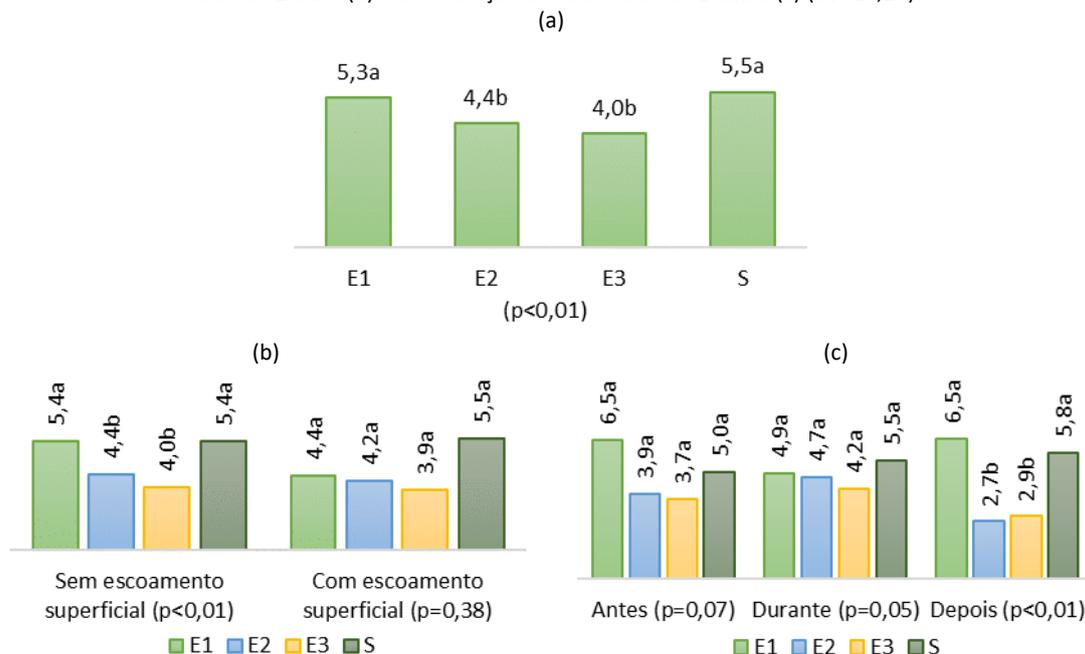
No fator interação períodos de desassoreamento e pontos, verificou-se que o pH médio aumentou em todos os pontos após o início da escavação (Figura 5c), o que pode ser explicado pelo crescimento de macrófitas aquáticas nos pontos de amostragem que foi observado. Valores altos de pH podem estar associados à proliferação de vegetais, que causam a redução do ácido carbônico da água e consequente contribuição para que o meio se torne alcalino (VON SPERLING, 2014).

4.6 Oxigênio dissolvido

A concentração de OD apresentou diferença significativa para o fator isolado pontos e a média dos pontos E1 e S ($5,3 \text{ mgL}^{-1}$) foi 28,3% maior que a média de E2 e E3 ($4,18 \text{ mgL}^{-1}$) (Figura 6a). Os valores mais altos apontados nos pontos E1 e S provavelmente são devido ao maior fluxo de água que ocorre nesses locais.

Ao analisar a interação períodos de escoamento e pontos (Figura 6b), foi apresentado significância estatística no período sem escoamento superficial, sendo que as maiores médias foram encontradas nos pontos E1 e S. A média nesses dois pontos em relação à média dos pontos E2 e E3, foi 29,5% maior. Observa-se que os valores encontrados atendem a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), que estabelece limite de 2 mgL^{-1} na concentração de oxigênio dissolvido para águas doces classe 4.

Figura 6 - Médias da concentração de oxigênio dissolvido (mgL^{-1}) em função do fator Po (a), da interação entre os fatores PEscxPo (b) e da interação entre os fatores PDesxPo (c) (CV=29,28)



Médias seguidas de mesma letra não se diferem ao nível de $p < 0,05$

Fonte: Autoria própria (2022)

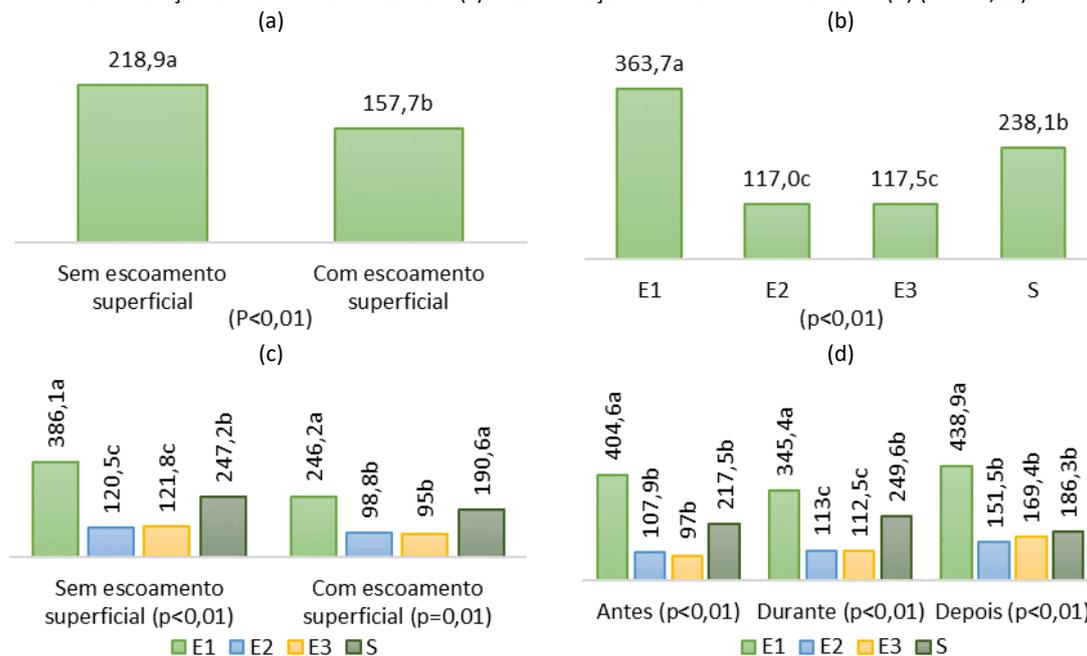
Dentro do mesmo período, foi observado significância estatística entre os pontos somente depois do término da escavação sendo que os pontos E1 e S apresentaram as maiores médias (Figura 6c). Os baixos valores de OD encontrados nos pontos E2 e E3, afetam os organismos aquáticos e podem ter sido influenciados pela matéria orgânica presente nesses locais. Conforme destaca Costa *et. al* (2021), menores médias na concentração de OD, pode indicar que o oxigênio está sendo consumido no processo de decomposição da matéria orgânica pelo próprio ambiente aquático. Enquanto nos pontos E1 e S, possuem oxigenação aumentada a partir da maior movimentação da água.

4.7 Condutividade elétrica

No fator isolado períodos de escoamento, a maior média de CE foi observada no período em que não houve escoamentos, sendo 38,8% superior à média do período com escoamento superficial (Figura 7a). É possível verificar que a precipitação afeta a condutividade elétrica, pois, com o aumento das vazões, que provocam a diluição da carga poluidora, as médias das concentrações de CE diminuem.

Os resultados apresentados na Figura 7b mostram que houve diferença significativa ao analisar o fator isolado pontos, sendo que a média no ponto E1 foi superior aos outros pontos. De acordo com Cetesb (2020b), concentrações de CE entre 200 e 500 μScm^{-1} sugerem tratar-se de corpo de água afetado por cargas poluidoras.

Figura 7 - Médias da concentração de condutividade elétrica (μScm^{-1}) em função do fator PEsc (a), do fator Po (b), da interação entre os fatores PEscPo (c) e da interação entre os fatores PDesxPo (d) (CV=36,22)



Médias seguidas de mesma letra não se diferem ao nível de p<0,05

Fonte: Autoria própria (2022)

Na interação períodos de escoamento e pontos, todos os pontos apresentaram valores de CE maiores no período sem escoamento superficial (Figura 7c), sendo o ponto E1, superior

aos demais pontos. No período com escoamento, o ponto E1 não se diferenciou do ponto S. Obteve-se maior valor de CE no ponto E1, uma vez que este possui uma extensa área de urbanização e solo exposto em sua bacia, assim como o lançamento clandestino de esgoto. O solo exposto contribui para o direcionamento de partículas sólidas para os cursos d’água, elevando os valores de condutividade elétrica (GUIMARÃES *et al.*, 2018).

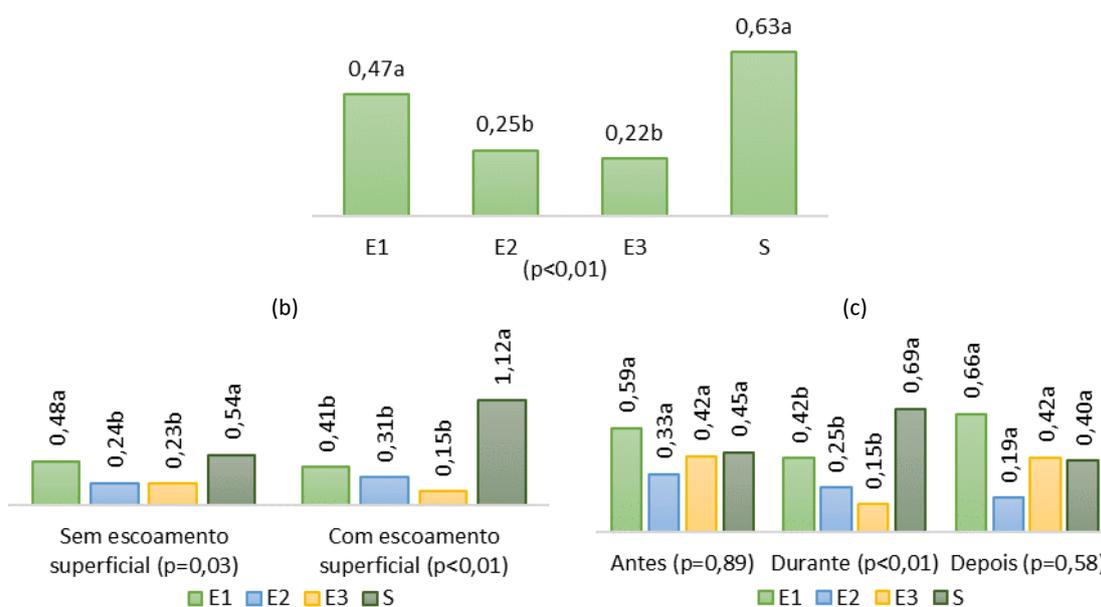
Analisando a interação períodos de desassoreamento e pontos, foram observadas significâncias estatísticas em todos os períodos (Figura 7d). A maior média foi do ponto E1, sendo superior às médias dos demais pontos nos três instantes. Depois do término da escavação a média observada no ponto S não se diferenciou dos pontos E2 e E3. Os altos valores de condutividade elétrica indicam que o corpo hídrico está sendo impactado por cargas poluidoras.

4.8 Amônio

Ao analisar a concentração de a NH_4^+ no fator isolado pontos, as maiores médias encontram-se nos pontos E1 e S. A média entre esses dois pontos ($0,55 \text{ mgL}^{-1}$) é 133,2% maior que a média dos pontos E2 e E3 ($0,23 \text{ mgL}^{-1}$) (Figura 8a).

Observando o desdobramento dos pontos nos períodos de escoamento (Figura 8b), percebe-se que houve diferença significativa e o ponto S apresentou a maior média no período com escoamento, mas não diferenciando do ponto E1 no período sem escoamento. Os resultados obtidos no estudo de Sarmento (2019), não apresentaram diferença espacial e sazonal estatisticamente significativa, porém no período chuvoso, obteve-se as maiores concentrações de NH_4^+ , assim como nos trabalhos de Mitsuya (2014) e Silva (2013).

Figura 8 - Médias da concentração de amônio (mgL^{-1}) em função do fator Po (a), da interação entre os fatores P_{EscxPo} (b) e da interação entre os fatores P_{DesxPo} (c) (CV=105,64)



Médias seguidas de mesma letra não se diferem ao nível de $p<0,05$

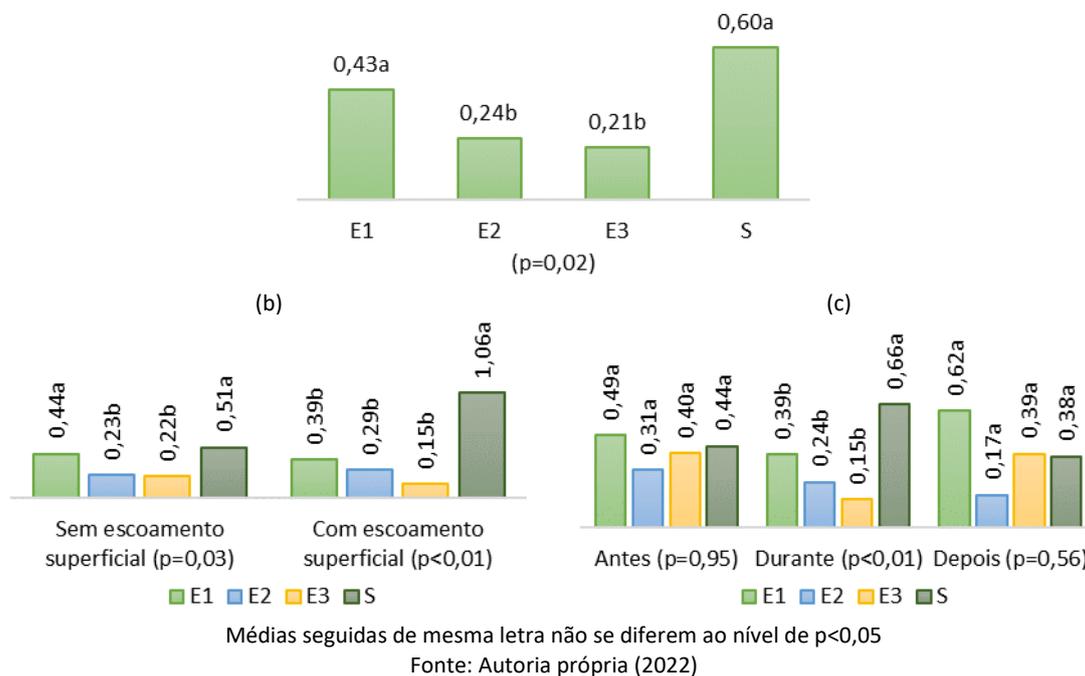
Fonte: Autoria própria (2022)

No fator interação períodos do desassoreamento e pontos (Figura 8c), houve significância estatística apenas durante a escavação, sendo que a maior média encontrada foi no ponto S (0,69 mgL⁻¹), equivalendo a 154,1% superior que a média entre os pontos a montante (0,27 mgL⁻¹). Concentrações altas de NH₄⁺ podem intervir nos organismos aquáticos, uma vez que com pH elevado, o amônio se transforma em amônia (NH₃), se tornando tóxica para os peixes (KUBITZA, 2017).

4.9 Amônia

Os resultados da concentração média de amônia apresentados na Figura 9, são semelhantes aos de amônio apontados no item anterior. Analisando o fator isolado pontos, as maiores médias encontram-se nos pontos E1 e S. A média entre esses dois pontos (0,52 mgL⁻¹) é 129,7% superior que a média dos pontos E2 e E3 (0,22 mgL⁻¹) (Figura 9a). De acordo com Kubitzka (2017), a amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos organismos aquáticos, valores acima de 0,20 mgL⁻¹ já são suficientes para induzir toxicidade crônica e influenciar no crescimento dos peixes, assim como aumentar a probabilidade de adquirir doenças.

Figura 9 - Médias da concentração de amônia (mgL⁻¹) em função do fator Po (a), da interação entre os fatores P_{EscxPo} (b) e da interação entre os fatores P_{DesxPo} (c) (CV=104,57)



Para o fator interação períodos de escoamento e pontos (Figura 9b), no período sem escoamento superficial, o ponto S não se diferenciou do ponto E1 e no período com escoamento superficial, o ponto a jusante (S) apresentou maior concentração média que os pontos a montante, sendo 285,5% superior. Em ambientes naturais, a NH₃ pode originar-se da chuva, do material orgânico e inorgânico do entorno e da fixação de nitrogênio molecular dentro do próprio lago (PEREIRA; MERCANTE, 2018).

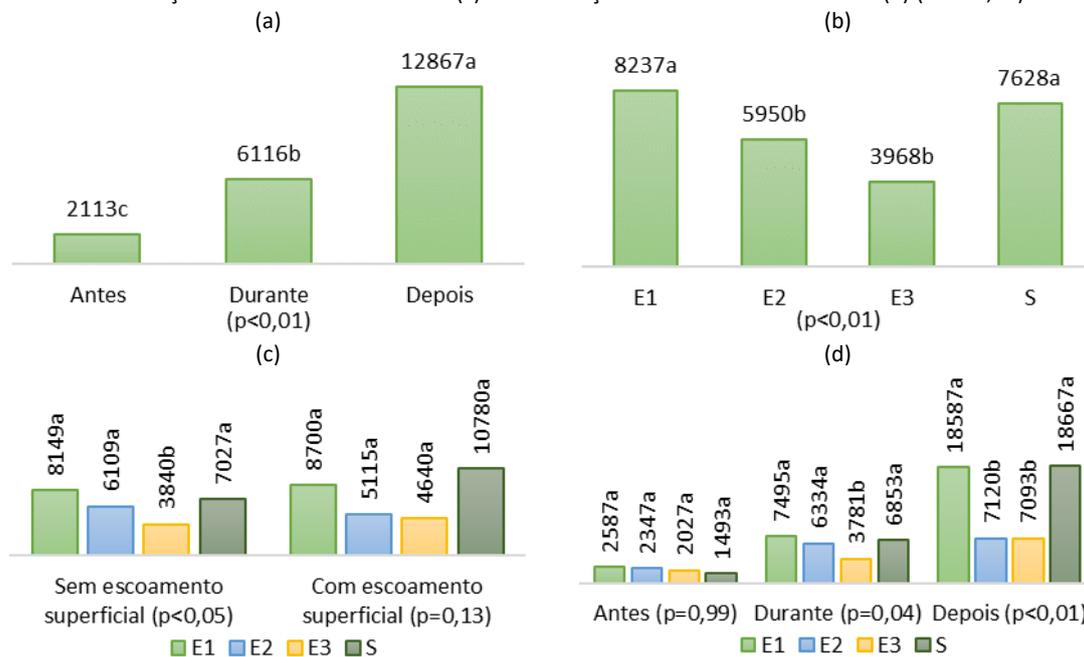
No desdobramento dos pontos dentro dos períodos do desassoreamento, houve significância estatística no instante durante a escavação (Figura 9c), sendo que a maior concentração média foi no ponto S (0,66 mgL⁻¹), correspondendo a 151,9% superior que a média entre os pontos a montante (0,26 mgL⁻¹). A determinação da forma que o nitrogênio se encontra no local, pode fornecer informações sobre o estágio da poluição de um corpo d’água. Uma poluição recente é caracterizada pela concentração em forma de NH₃ (VON SPERLING, 2014).

4.10 Coliformes totais

Os resultados da concentração média de CT nos períodos do desassoreamento mostram que a média aumentou após o início da obra. Comparando a média de antes com as médias encontradas durante e depois, houve um incremento de 189,4% e 508,8%, respectivamente (Figura 10a). O aumento significativo depois do início da obra, pode estar relacionado com o revolvimento do material que estava decantado, pelo maquinário.

Ao comparar os resultados pelo fator isolado pontos (Figura 10b), foi observado significância estatística em que as maiores concentrações foram encontradas nos pontos E1 e S, sendo sua média (7.932 UFC/100 mL) 60% superior à média entre os pontos E2 e E3 (4.959 UFC/100 mL). A Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), não possui limite estabelecido para coliformes totais em corpos hídricos classe 4.

Figura 10 - Média da concentração de coliformes totais (UFC/100 mL) em função do fator PDes (a), do fator Po (b), da interação entre os fatores PEscxPo (c) e da interação entre os fatores PDesxPo (d) (CV=65,44)



Médias seguidas de mesma letra não se diferem ao nível de p<0,05

Fonte: Autoria própria (2022)

No desdobramento dos pontos dentro dos períodos de escoamento, verificou-se que a concentração média de CT foi inferior no ponto E3 no período sem escoamento, sendo 46% inferior que a média dos outros pontos. No período com escoamento não foram observadas diferenças significativas (Figura 10c).

No fator interação períodos do desassoreamento e pontos (Figura 10d), foram observadas diferenças significativas, durante e depois do término da escavação. Depois do desassoreamento, as maiores concentrações médias foram nos pontos E1 e S, sendo que a média desses dois pontos (18.627 UFC/100 mL) foi 162,1% superior em relação à média dos pontos E2 e E3 (7.107 UFC/100 mL). No instante durante o desassoreamento, o ponto E3 obteve a menor média (3.781 UFC/100 mL) entre os pontos.

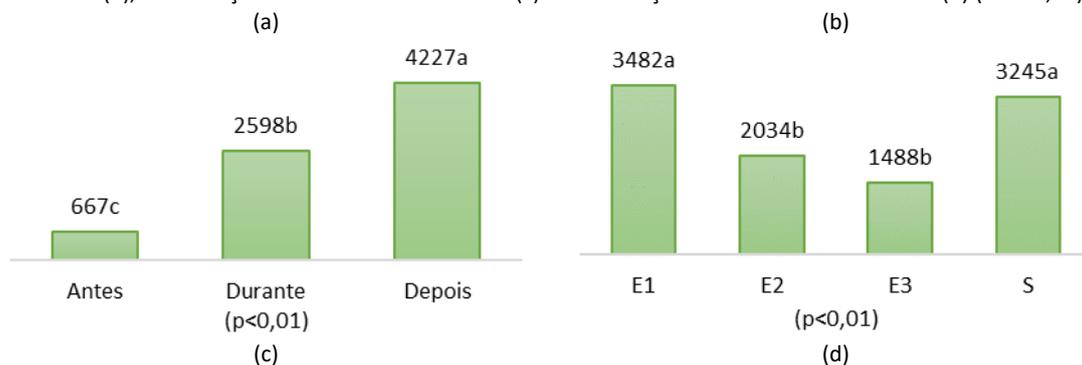
Em todos os pontos amostrados foram encontrados indícios de contaminação, comprovando-se pela alta concentração de CT amostrada. No ponto E1 há grande contribuição de carga de resíduos pela drenagem pluvial da área urbana, além de possuir lançamento clandestino de esgoto e presença de animais como equinos e bovinos. Enquanto o ponto E2 possui difusão de cargas de resíduos da área rural em sua maior parte, possuindo também animais em suas margens, que utilizam esses pontos para dessedentação. A área urbanizada na bacia do ponto E3 contribui para sua contaminação e o ponto S, recebe a propagação da poluição de todos os pontos juntos.

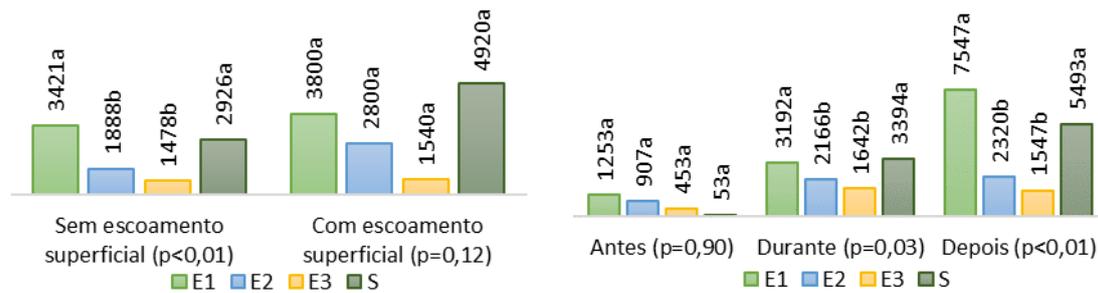
4.11 Bactérias termotolerantes (*E. coli*)

Seguindo as mesmas características dos resultados apresentados para coliformes totais, houve significância estatística para concentração de *E. coli* no fator isolado períodos do desassoreamento (Figura 11a), sendo que a média aumentou após o início da obra. Comparando a concentração média de antes com as encontradas durante e depois, houve um incremento de 289,8% e 534,0%, respectivamente.

Observando os resultados do fator isolado pontos, as maiores médias foram encontradas nos pontos E1 e S, sendo sua média (3.363 UFC/100 mL) 91% maior que a média entre os pontos E2 e E3 (1.761 UFC/100 mL) (Figura 11b). Assim como para coliformes totais, a legislação vigente não possui limite estabelecido para concentração máxima de *E. coli* em corpos hídricos classe 4 (BRASIL, 2005), porém os valores encontrados são considerados altos.

Figura 11 - Médias da concentração de bactérias termotolerantes (UFC/100 mL) em função do fator PDes (a), do fator Po (b), da interação entre os fatores PDesxPo (c) e da interação entre os fatores PDesxPo (d) (CV=79,54)





Médias seguidas de mesma letra não se diferem ao nível de p<0,05

Fonte: A autoria própria (2022)

Para o fator interação períodos de escoamento e pontos, foi observada diferença significativa no período sem escoamento superficial, onde a média dos pontos E1 e S (3.173 UFC/100 mL) foi superior à média dos pontos E2 e E3 (1.683 UFC/100 mL) em 88,6% (Figura 11c).

No desdobramento dos pontos dentro dos períodos do desassoreamento, houve significância estatística durante e depois do término da escavação, em que as médias dos pontos E1 e S se apresentaram superiores (Figura 11d). Durante a escavação, a concentração média desses dois pontos em relação à média entre E2 e E3, foi 72,9% maior e, no período depois da escavação, 237,2% maior.

De acordo com CETESB (2020b), as condições ambientais influenciam nos valores de *E. coli* e elevadas concentrações indicam uma contaminação fecal recente, o que possivelmente se deve pela presença de animais nos pontos de amostragem, que utilizam a água para dessedentação, assim como o lançamento de efluentes de esgoto clandestino no ponto E1.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que a operação de escavação para o desassoreamento do reservatório de água em Fernandópolis/SP promoveu impactos negativos nas variáveis hídricas amônio (NH₄⁺) e amônia (NH₃). Antes de iniciar a obra, as médias da concentração de NH₄⁺ e NH₃ no ponto S, eram 0,2% e 9,5%, respectivamente, maiores que a média entre os pontos E1, E2 e E3. Já com a obra em andamento, houve um incremento médio de 154,1% na concentração de NH₄⁺ e de 151,9% na concentração de NH₃ no ponto a jusante, em comparação com a média dos pontos a montante.

As outras variáveis hídricas qualitativas analisadas (T, ST, SD, SS, pH, OD, CE, CT e *E. coli*) foram influenciadas por interferências de uso e ocupação do entorno dos pontos monitorados e/ou fatores climáticos, não indicando relação com a obra de desassoreamento.

Para minimizar problemas futuros novos de assoreamento no reservatório, recomenda-se a restauração das áreas de preservação permanente (APPs) de montante, melhoria da varrição pública, para reduzir o transporte de resíduos sólidos diversos para o curso d'água, controle da criação de bovinos e equinos nas APPs, contenção de lançamentos pontuais clandestinos e promover educação ambiental contínua da população nos bairros localizados na bacia de drenagem para conscientização.

6 REFERÊNCIAS

ALENCAR, V. E. S. A. et al. Análise de Parâmetros de Qualidade da Água em Decorrência de Efeitos da Precipitação

na Baía de Guajará – Belém – PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 661–680, 2019.

ALVES, A. R. et al. Water quality in the Tietê River watershed, São Paulo State, Brazil. **International Journal of Development Research**, v. 11, n. 2, p. 44566–44570, 2021.

ANA. **Sistemas de Informação na gestão de águas: conhecer para decidir**. Brasília: Agência Nacional de Águas (Brasil), 2016. v. 8

BELÉM, F. L. **Influência das variáveis ambientais na qualidade das águas do reservatório da Usina Hidrelétrica da Ferreira Gomes – Amapá**. [s.l.] Universidade Federal de Goiás, 2019.

BRASIL. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>

BUOSI, G. G. P. **Relatório Técnico Pró-Atividade US: Processos eodinâmicos e desassoreamento da Represa Municipal De Fernandópolis – SP**. Fernandópolis: Secretaria Municipal de Meio Ambiente - Prefeitura Municipal de Fernandópolis, 2021.

CARVALHO, N. DE O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008.

CETESB. **Autorização CETESB nº 44663/2020**. CETESB/CFJ - Agência Ambiental de Jales, , 2020a.
CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2019**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2020b. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2021/09/Relatorio-Qualidade-das-Aguas-Interiores-no-Estado-de-Sao-Paulo-2020.pdf>>.

CIIAGRO. **Portal Agrometeorológico e Hidrológico do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.ciiagro.org.br/diario/cperiodo>>. Acesso em: 24 abr. 2022.

COSTA, K. A. et al. Influência Das Atividades Antrópicas Sobre a Qualidade Da Água Em Lagos Urbanos: Um Estudo De Caso. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 19889–19907, 2021.

GIUDICE, S. L. et al. **Aspectos operacionais do desassoreamento do Rio Tietê em São Paulo, Brasil**. Anais do XXVIII Congresso Latinoamericano de Hidráulica. **Anais...**Buenos Aires, Argentina: Asociación Internacional de Ingeniería e Investigaciones Hidro-Ambientales, 2018.

GUIMARÃES, A. G. et al. Qualidade Da Água E Potencial De Assoreamento Em Represas Com Influência De Diferentes Usos Do Solo. **Científic@ - Multidisciplinary Journal**, v. 5, n. 3, p. 125–139, 2018.

GUIMARÃES, T. T. **Utilização de imagens de satélite para predição de clorofila-a e sólidos suspensos em corpos d'água: estudo de caso da Represa do Lobo/SP**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2019.

KUBITZA, F. A água na aquicultura - parte 3. **Panorama da AQUICULTURA**, v. 27, n. 164, p. 14–27, 2017.

LEE, F. Z.; LAI, J. S.; SUMI, T. Reservoir Sediment Management and Downstream River Impacts for Sustainable Water Resources—Case Study of Shihmen Reservoir. **Water**, v. 14, n. 479, 2022.

MITSUYA, M. **Variação sazonal na composição química da água no leito principal do Rio Amazonas em frente à Cidade de Óbidos – PA**. [s.l.] Universidade Federal do Oeste do Pará, 2014.

PEREIRA, L. P. F.; MERCANTE, C. T. J. Ammonia in Fish Breeding Systems and Its Effects on the Water Quality – a Review. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 31, n. 1, p. 81–88, 2018.

SÃO PAULO. **Decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto n. 8.468 (1), de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas**. Governo do Estado de São Paulo, Brasil, 1977.

SARMENTO, I. C. C. **Dinâmica do Nitrato, Amônio e Nitrogênio Total Dissolvido no estuário Guajarinó**. [s.l.] Universidade Federal Rural da Amazônia, 2019.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A Cluster Analysis Method for Grouping Means in the Analysis of Variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507–512, 1974.

SILVA, M. DO S. R. DA. **Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas: contribuição para enquadramento e preservação.** [s.l.] Universidade Federal do Amazonas, 2013.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 2014. v. 1