Encontro Técnico AESABESP
34º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA SALINIDADE NAS ÁGUAS DO RIO ITAPANHAÚ E NO LENÇOL FREÁTICO DA REGIÃO OCUPADA POR RESTINGA

Klauss Wagner Dardin[(1)]
Engenheiro Ambiental e Urbano pela Universidade Federal do ABC, MBA em Saneamento Ambiental - Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo – FESPSP, Engenheiro SABESP.
Carlos Henrique Aranha[(2)]
Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Hidráulica, Socio e Coordenador de Projetos da PRIME Engenharia e Consórcio PRIME-AQUÁTICA.
Fabíola Sacchielle Pagliarane[(3)]
Geógrafa, Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, Sócia e Coordenadora de Projetos da PRIME Engenharia e Consórcio PRIME-AQUÁTICA.
Lucas Campaner Alves[(4)]
Engenheiro Ambiental, Mestre em Ciência – Tecnologia Nuclear, profissional da equipe técnica da PRIME Engenharia e do Consórcio PRIME-AQUÁTICA.
Ricardo de Oliveira Lemos[(5)]
Engenheiro Ambiental, profissional da equipe técnica da PRIME Engenharia e do Consórcio PRIME-AQUÁTICA.

Endereço(1): Av. do Estado, 561 - Ponte Pequena - São Paulo - SP - CEP 01107-900 - Brasil - Tel: +55 (11) 98212-0799 - Fax: +55 (11) 3388-6035 - e-mail: kwdardin@sabesp.com.br.

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados do monitoramento da salinidade das águas no baixo curso do rio Itapanhaú e na água do lençol freático em zonas marginais ocupadas por vegetação de restinga, no Município de Bertioga. O monitoramento faz parte do **Plano de Monitoramento do Médio e Baixo Itapanhaú**, integrante dos programas ambientais associados ao licenciamento ambiental do empreendimento *Aproveitamento das Águas da Bacia do Rio Itapanhaú para Abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo*, em implantação pela SABESP. Para monitorar a salinidade das águas no rio foram instaladas quatro estações telemétricas na margem direita, entre os km 16 e 27, dotadas de sensores de salinidade (superfície e fundo) e nível d'água, além de pluviógrafo, com registros a cada 20 min, com transmissão automática à central de monitoramento da Sabesp. Para monitoramento da salinidade nas águas do lençol freático foram instalados 33 poços piezométricos dotados de sensores de nível, salinidade e temperatura, com registros a da 30 min. Os resultados constituem um detalhado levantamento do comportamento da salinidade nas condições naturais da bacia antes da operação do empreendimento.

PALAVRAS-CHAVE: Salinidade, Nível D'água, Itapanhaú, Estação telemétrica, Piezômetros

INTRODUÇÃO

O *Aproveitamento das Águas da Bacia do Itapanhaú para Abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo*, empreendimento em implantação pela SABESP, tem por objetivo contribuir para a ampliar a segurança hídrica do abastecimento Biritiba, um dos integrantes do Sistema Produtor Alto Tietê (SPAT).

O licenciamento ambiental desse empreendimento incluiu, entre os programas ambientais, a execução do *Plano de Monitoramento do Médio e Baixo Itapanhaú*. Esse Plano tem por objetivo monitorar, antes do início e durante os primeiros anos de operação, variáveis hidrológicas na bacia do rio Itapanhaú (chuvas e vazões), a salinidade das águas superficiais e subterrâneas, assim como variáveis bióticas e abióticas associadas à vegetação de mangue e de restinga que ocupa as margens da região baixa da bacia. O Plano tem por objetivo caracterizar de forma detalhada o comportamento natural da salinidade das águas e sua influência sobre a vegetação, e comparar com situação futura, quando da operação do empreendimento. A execução do monitoramento está a cargo do Consórcio PRIME-AQUÁTICA, sob supervisão da equipe da Coordenação de Licenças e Autorizações para Empreendimentos (TEEL) da Sabesp.

Este artigo apresenta os resultados do monitoramento da salinidade das águas no baixo curso do rio Itapanhaú e na água do lençol freático em zonas marginais ocupadas por vegetação de restinga, no período denominado de Linha de Base, antes do início da operação do empreendimento.

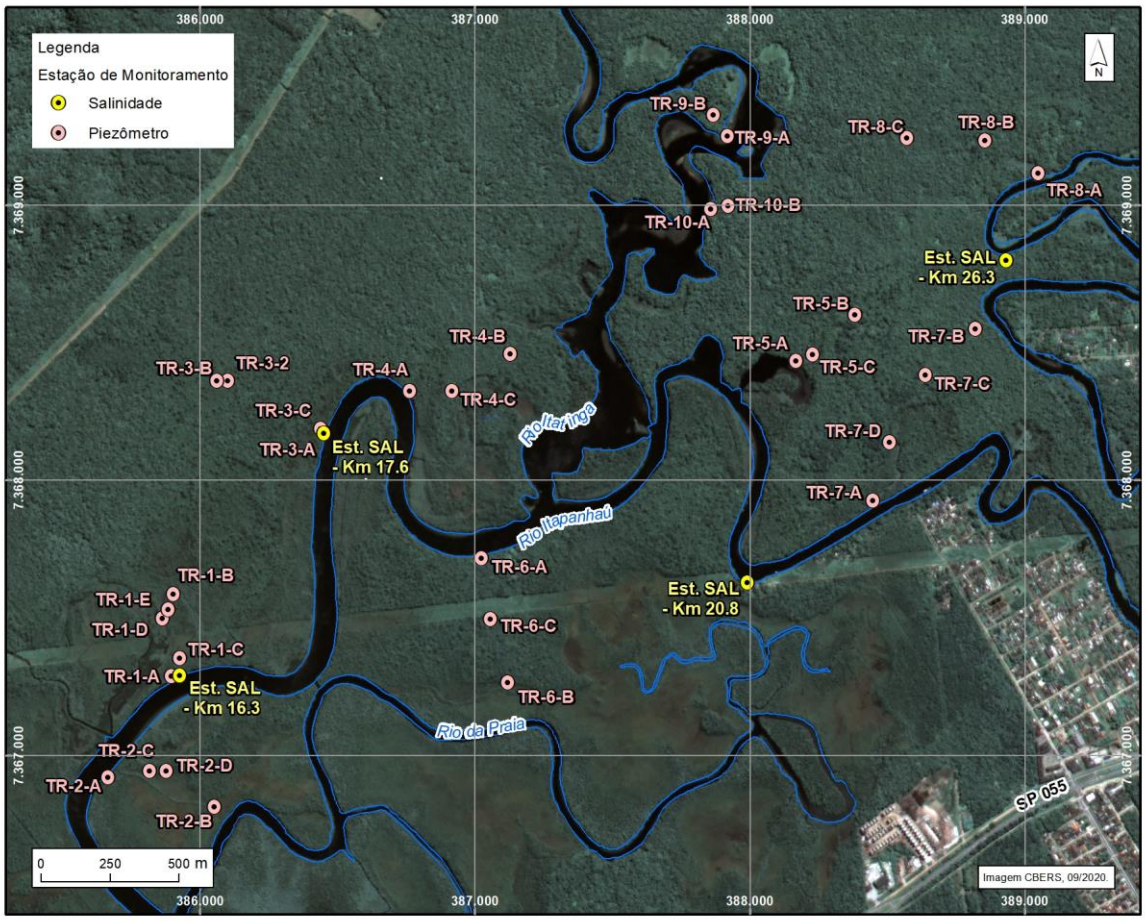
OBJETIVO

O objetivo deste artigo é caracterizar o comportamento natural da salinidade em um trecho do rio Itapanhaú e no lençol freático das áreas marginais ao longo de um ano hidrológico completo, identificando as variações semidiárias decorrentes do ciclo de marés, e de variações sazonais nos períodos secos e úmidos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O monitoramento da salinidade previsto no *Plano de Monitoramento do Médio e Baixo Itapanhaú* abrange a medição contínua do nível d´água (NA) e da salinidade da água do estuário do rio Itapanhaú em 4 estações telemétricas e a medição do nível e da salinidade da água do lençol freático em 33 poços piezométricos distribuídos em 10 transectos, situados em área cuja vegetação predominante é a restinga. A localização das 4 estações telemétricas da rede de salinidade e dos poços piezométricos é apresentada na **Figura 1.**

Figura 1 – Localização das estações telemétricas e dos poços piezométricos



a) <u>Monitoramento de Nível d'Água e Salinidade no Estuário do rio Itapanhaú</u>

O monitoramento da salinidade no rio Itapanhaú é feito no trecho de transição entre restinga e mangue, onde ocorre o gradiente entre água salgada/salobra/doce, e se dá por meio de quatro estações automáticas fixas, nos kms 16.3, 17.6, 20.8 e 26.3 do rio, contados partir da foz no Oceano Atlântico. O **Quadro 1** mostra a identificação e as coordenadas geográficas das quatro estações.

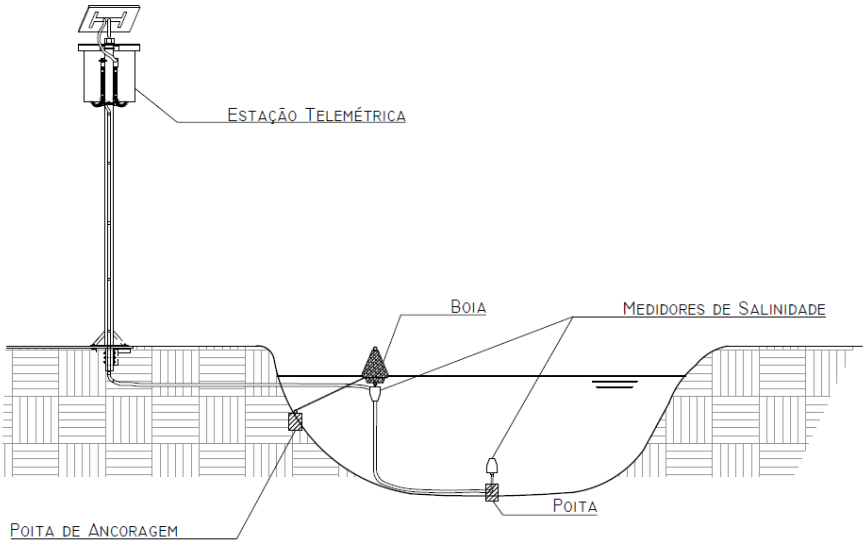
Estas estações contam com 2 sensores instalados junto à margem direita do rio Itapanhaú, que medem as variáveis (nível d'água e salinidade) nas camadas superior e inferior (em superfície e no fundo) do rio, além de possuir um pluviógrafo implantado no poste de instrumentação da estação, conforme esquema apresentado na **Figura 2**.

Estas estações são telemétricas e realizam a coleta e a transmissão de dados de salinidade, nível d'água (NA) e Pluviometria a cada 20 minutos à central de monitoramento da Sabesp.

Quadro 1 – Localização das estações telemétricas.

	Estação	Rio	Tipo	Coordenadas geográficas	
				Latitude	Longitude
1	Km 16.3	Itapanhaú	Plu, NA, Salinidade	-23.801582	-46.119802
2	Km 17.6	Itapanhaú	Plu, NA, Salinidade	-23.793660	-46.114590
3	Km 20.8	Itapanhaú	Plu, NA, Salinidade	-23.798660	-46.099518
4	Km 26.3	Itapanhaú	Plu, NA, Salinidade	-23.788150	-46.090180

Figura 2 – Corte esquemático das estações de salinidade no estuário do rio Itapanhaú



As **Figuras 3 a 6** ilustram as estações em operação e serviços de manutenção periódica. Em especial nas **Figuras 5 e 6** é possível observar as estruturas implantadas nas margens do rio Itapanhaú, nas quais os sensores foram fixados. É possível se observar uma régua, utilizada para aferição dos dados de NA quantificados no equipamento, permitindo a realização de ajustes finos durante as manutenções periódicas.

Figura 3 – Estação Telemétrica da Rede Salinidade.



Figura 4 – Detalhe para manutenção do pluviômetro.



Figura 5 – Vista da poste de instrumentação da estação.



Figura 6 – Detalhe para manutenção períodica da estação.



b) Salinidade do lençol freático

Conforme previsto no *Plano de Monitoramento do Médio e Baixo Itapanhaú*, a localização dos poços piezométricos está relacionada ao monitoramento da vegetação de restinga, que previu a implantação de 10 transecções aproximadamente perpendiculares aos rios, sendo oito no rio Itapanhaú (entre os km 16 e 27), e duas transecções de controle às margens do rio Itatinga, em áreas não sujeitas à futura influência do empreendimento.

Ao todo são trinta e três poços piezométricos, distribuídos nos 10 transectos, sendo que os poços situados nos transectos de controle (TR-9 e TR-10) margeiam o Rio Itatinga, enquanto os demais estão localizados nas margens direita (TR-1, TR-3, TR-4, TR-5, TR-7 e TR-8) e esquerda (TR-2 e TR-6) do Rio Itapanhaú.

Cada poço piezométrico é dotado de um sensor para quantificação do nível d'água, temperatura e salinidade, registrando os dados de forma contínua a cada 30 minutos. Os equipamentos não possuem transmissão de dados em tempo real, sendo os registros armazenados em *datalogger* e coletados mensalmente por ocasião das visitas de manutenção dos poços.

As coordenadas geográficas, cotas do terreno e cotas de fundo dos poços são apresentadas no **Quadro 2**. Também é apresentada a distância entre o poço piezométrico e a margem do curso d'água mais próximo. A **Figura 7** exemplifica um poço piezométrico e a rotina de manutenção e coleta dos dados.

Quadro 2 – Localização, cota do terreno e cota de fundo dos poços piezométricos.

Poço	Latitude	Longitude	Cota do terreno (m)	Cota do fundo do poço (m)	Distância à margem do curso d'água (m)
TR-1-A	-23,8016	-46,1198	0,345	-1,305	Margem (Itapanhaú)
TR-1-B	-23,7989	-46,1199	0,590	-0,270	284,60 (Itapanhaú)
TR-1-C	-23,8010	-46,1199	0,220	-1,410	59,60 (Itapanhaú)
TR-1-D	-23,7998	-46,1204	0,526	-0,934	204,50 (Itapanhaú)
TR-1-E	-23,7994	-46,1202	0,451	-0,709	242,80 (Itapanhaú)
TR-2-A	-23,8049	-46,1224	0,684	-0,766	Margem (Itapanhaú)
TR-2-B	-23,8059	-46,1186	0,667	-1,403	370,8 (Itapanhaú) / 62,7 (afluente)
TR-2-C	-23,8047	-46,1209	3,272	1,572	112,50 (Itapanhaú)
TR-2-D	-23,8047	-46,1203	0,582	-1,118	155,80 (Itapanhaú)
TR-3-A	-23,7936	-46,1144	0,484	-1,166	Margem (Itapanhaú)
TR-3-B	-23,7918	-46,1184	1,169	-0,331	433,80 (Itapanhaú)
TR-3-C	-23,7935	-46,1147	0,310	-1,110	29,60 (Itapanhaú)
TR-3-2	-23,7919	-46,1179	1,024	-0,586	387,60 (Itapanhaú)
TR-4-A	-23,7931	-46,1113	0,593	-0,487	Margem (Itapanhaú)
TR-4-B	-23,7911	-46,1079	0,340	-0,820	400,4 (Itapanhaú) / 186,7 (Itatinga)
TR-4-C	-23,7924	-46,1100	1,137	-1,113	147,20 (Itapanhaú)
TR-5-A	-23,7915	-46,0977	0,586	-1,364	Margem (Itapanhaú)
TR-5-B	-23,7899	-46,0956	0,659	-0,861	281,80 (Itapanhaú)
TR-5-C	-23,7912	-46,0971	1,396	-0,734	73,40 (Itapanhaú)
TR-6-A	-23,7978	-46,1090	1,046	-1,174	Margem (Itapanhaú)
TR-6-B	-23,8019	-46,1081	0,573	-1,177	484,6 (Itapanhaú) / 138,7 (afluente)
TR-6-C	-23,7998	-46,1087	0,795	-0,885	233,90 (Itapanhaú)
TR-7-A	-23,7961	-46,0949	0,136	-1,884	Margem (km 21 do Itapanhaú)
TR-7-B	-23,7903	-46,0912	0,347	-1,213	43,3 (km 24 do Itapanhaú)
TR-7-C	-23,7919	-46,0930	0,575	-0,845	287,5 (km 24 do Itapanhaú)
TR-7-D	-23,7941	-46,0944	0,371	-1,279	177,8 (km 21 do Itapanhaú)
TR-8-A	-23,7855	-46,0890	0,737	-2,263	Margem (Itapanhaú)
TR-8-B	-23,7842	-46,0909	0,635	-0,875	195,70 (Itapanhaú)
TR-8-C	-23,7841	-46,0936	1,175	-0,495	394,70 (Itapanhaú)
TR-9-A	-23,7840	-46,1000	0,886	-0,654	Margem (Itatinga)
TR-9-B	-23,7833	-46,1006	0,655	-0,675	50,90 (Itatinga)
TR-10-A	-23,7863	-46,1008	2,207	-0,373	Margem (Itatinga)
TR-10-B	-23,7863	-46,1002	1,886	-0,154	53,00 (Itatinga)

Figura 7 – Sensor de piezometria e rotina de manutenção e coleta de dados no poço TR-1-E (janeiro/2021).



RESULTADOS OBTIDOS

a) Nível de Água e Salinidade no Estuário do rio Itapanhaú

Este item reúne os resultados de nível d'água e da salinidade de fundo e superficial nas estações instaladas no estuário do rio Itapanhaú (entre os km 16 e 26), referente ao período de dados de 07/10/2020 a 30/11/2021.

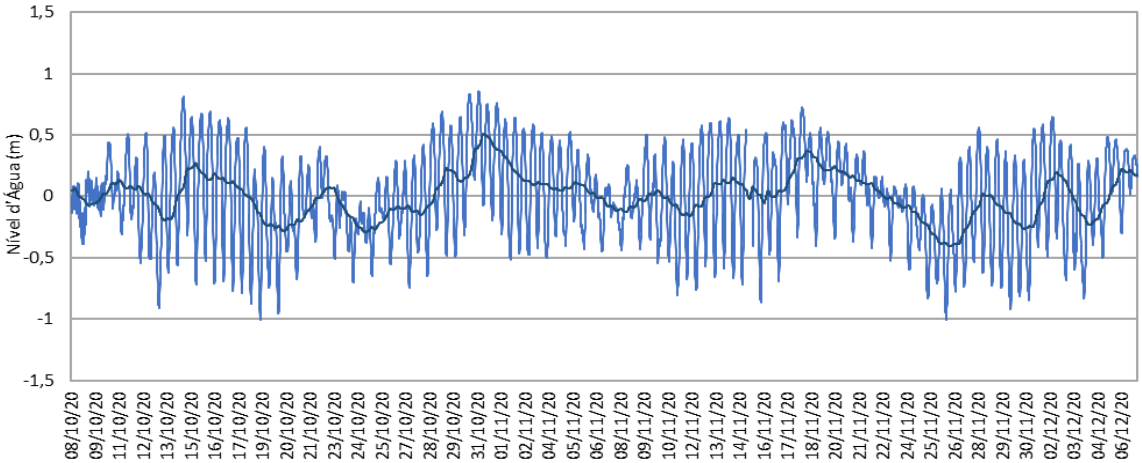
- Nível d'Água

A **Tabela 1** apresenta a amplitude média da variação do NA sob influência da maré semidiária, bem como as médias dos maiores e menores valores dos picos das marés enchente e vazante, nas quatro estações, para o período de 07/10/2020 a 30/11/2021. Nesta Tabela é exibido também os maiores valores de NA atingidos na maré enchente, bem como os mínimos alcançados na maré vazante. Salienta-se que as cotas do NA são referidas ao *datum* Imbituba (cota zero, nível médio do mar) adotado pelo IBGE. A **Figura 8** ilustra, a título de exemplo, a variação diária e a média diária do NA observado na Estação Km 16.3 no período de 8/10/2020 a 05/12/2020, onde se verifica o efeito das flutuações devido à maré (em cor mais escura o NA médio diário).

Tabela 1 – Variações e Amplitudes do NA nas Estações no Estuário do Rio Itapanhaú

VARIÁVEL	ESTAÇÕES			
	Km 16.3	Km 17.6	Km 20.8	Km 26.3
Amplitude média (m)	0,847	0,844	0,830	0,845
NA médio nos picos da maré enchente	0,437	0,433	0,370	0,405
NA médio nos vales da maré vazante	-0,410	-0,410	-0,459	-0,442
NA máximo na maré enchente	1,023	1,028	0,904	1,157
NA mínimo na maré vazante	-1,180	-1,191	-0,837	-1,322

Figura 8 – Nível d'água observado e Nível Médio Diário na Estação Km 16.3. Período 8/10 a 7/12/2020



- Salinidade

A salinidade das águas do rio Itapanhaú, em três das quatro estações, apresentaram valores oscilando ao longo do dia conforme as variações da maré, com valores médios decrescentes no sentido de montante. A concentração no fundo é pouco superior à observada na superfície no mesmo instante. É clara a influência das precipitações na bacia: após os períodos chuvosos a salinidade cai a níveis próximos de zero, em todas as estações, permanecendo assim pelo período de alguns dias.

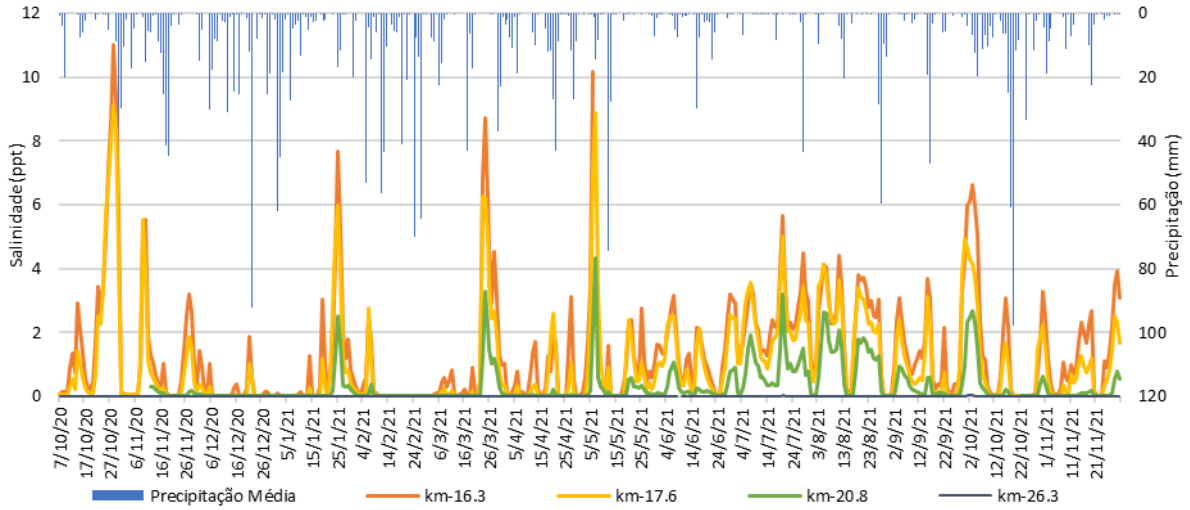
A **Tabela 2** mostra alguns indicadores estatísticos para a salinidade nas estações, assim como a porcentagem das medições cujos valores foram inferiores a 0,5ppt, considerado pela Resolução CONAMA 357/2005 como limite entre água doce, sendo, a partir deste, considerada água salobra até 30ppt. Na maior parte do tempo as águas classificam-se como água doce em três das estações mais a jusante. Na estação do km 26.3 já não se observa efeito da maré na salinidade da água, apenas na oscilação do NA.

Tabela 2 - Indicadores estatísticos de salinidade nas estações de monitoramento

Indicador		Estação Km 16.3			Estação Km 17.6		
		Fundo	Superfície	Média	Fundo	Superfície	Média
Salinidade	**Média**	**1,49**	**1,22**	**1,35**	**1,34**	**0,73**	**1,04**
	Máxima instantânea	33,12	26,35	**23,61**	28,66	26,82	**19,92**
	Mínima instantânea	0,00	0,00	**0,00**	0,00	0,00	**0,00**
	Maior média diária	12,15	9,89	**11,02**	10,16	8,97	**9,13**
	Menor média diária	0,01	0,01	**0,01**	0,01	0,00	**0,00**
	Mediana	**0,37**	**0,27**	**0,35**	**0,15**	**0,10**	**0,14**
% do tempo <= 0,5 ppt (água doce)	**Total do Período**	52,54%	56,48%	**53,80%**	59,25%	66,37%	**61,40%**
	Estação Chuvosa	64,68%	68,31%	**65,89%**	72,32%	78,13%	**73,95%**
	Estação Seca	36,40%	40,76%	**37,74%**	41,92%	50,78%	**44,77%**
Indicador		**Estação Km 20.8**			**Estação Km 26.3**		
		Fundo	**Superfície**	**Média**	**Fundo**	**Superfície**	**Média**
Salinidade	**Média**	**0,34**	**0,32**	**0,33**	**0,01**	**0,01**	**0,01**
	Máxima instantânea	10,70	7,66	**8,85**	0,32	0,14	**0,32**
	Mínima instantânea	0,00	0,00	**0,00**	0,00	0,00	**0,00**
	Maior média diária	4,86	3,82	**4,34**	0,03	0,02	**0,02**
	Menor média diária	0,00	0,00	**0,00**	0,00	0,00	**0,00**
	Mediana	**0,03**	**0,02**	**0,03**	**0,01**	**0,01**	**0,01**
% do tempo <= 0,5 ppt (água doce)	**Total do Período**	82,38%	83,57%	**82,59%**	100%	100%	**100%**
	Estação Chuvosa	90,76%	91,98%	**90,94%**	100%	100%	**100%**
	Estação Seca	72,58%	74,37%	**73,45%**	100%	100%	**100%**

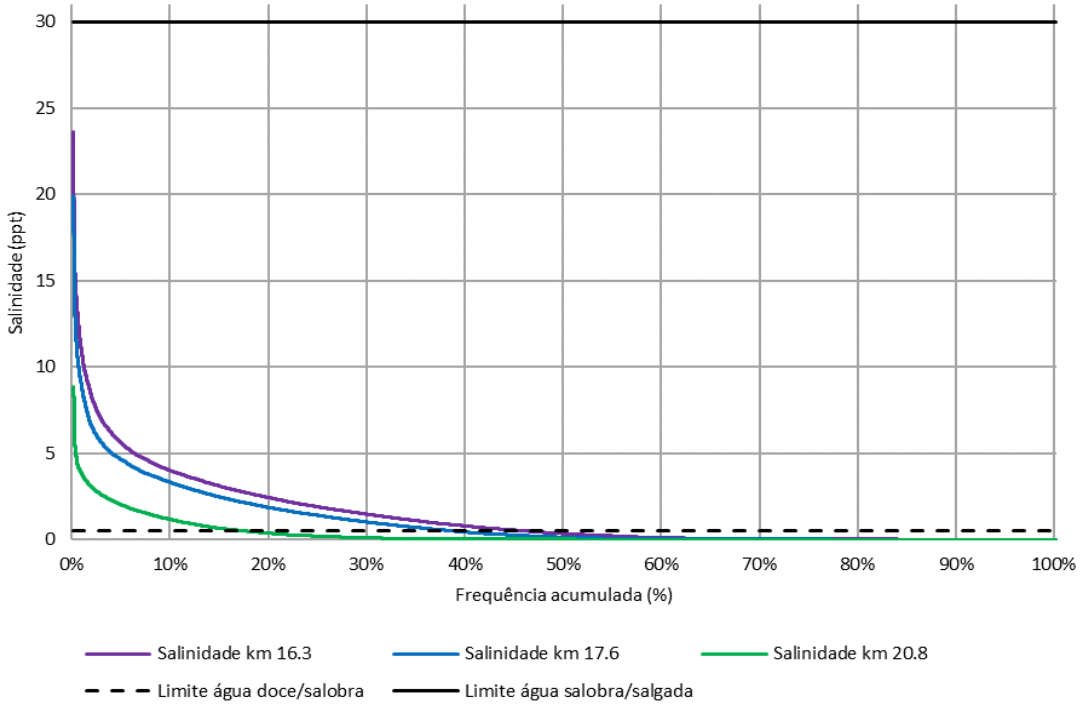
O comportamento da salinidade média diária da água do rio Itapanhaú nas estações monitoradas é apresentada na **Figura 9**. Km 16.3, Km 17.6, Km 20.8 e Km 26.3, ao longo do período de 07/10/2020 a 30/11/2021. Salienta-se que os valores de salinidade apresentados nesta Figura correspondem média entre os dados dos sensores de superfície e de fundo no mesmo momento, assim como a média de todos os dados obtidos ao longo do dia. Nesta Figura também é apresentada a precipitação diária média destas 4 estações.

Figura 9 – Salinidade média diária e precipitação diária média das estações Km 16.3, Km 17.6, 20.8 e 26.3 para o período de dados analisados (07/10/20 a 30/11/21)



A **Figura 10** apresenta as curvas de frequência da salinidade nas estações Km 16.3, 17.6, e 20.8 para o período de dados analisados, juntamente com os limites de transição de água doce para salobra (0,5ppt) e de água salobra para salgada (30ppt), preconizados na Resolução CONAMA 357/2005. Conforme apresentado na **Tabela 2**, a Estação Km 26.3 apresenta salinidade média diária variando entre zero e 0,02 ppt. O maior valor instantâneo alcançado foi de 0,32 ppt, motivo pelo qual seus dados não foram inseridos na **Figura 11**.

Figura 10 – Salinidade – Frequência de Ocorrência nas estações Km 16.3, Km 17.6 e 20.8.



A **Figura 11** apresenta os valores médios diários de salinidade, enquanto o **Figura 12** apresenta as máximas diárias de salinidade, nas estações Km 16.3, Km 17.6 e Km 20.8.

Figura 11– Médias diárias de salinidade nas estações Km 16.3, 17.6 e 20.8

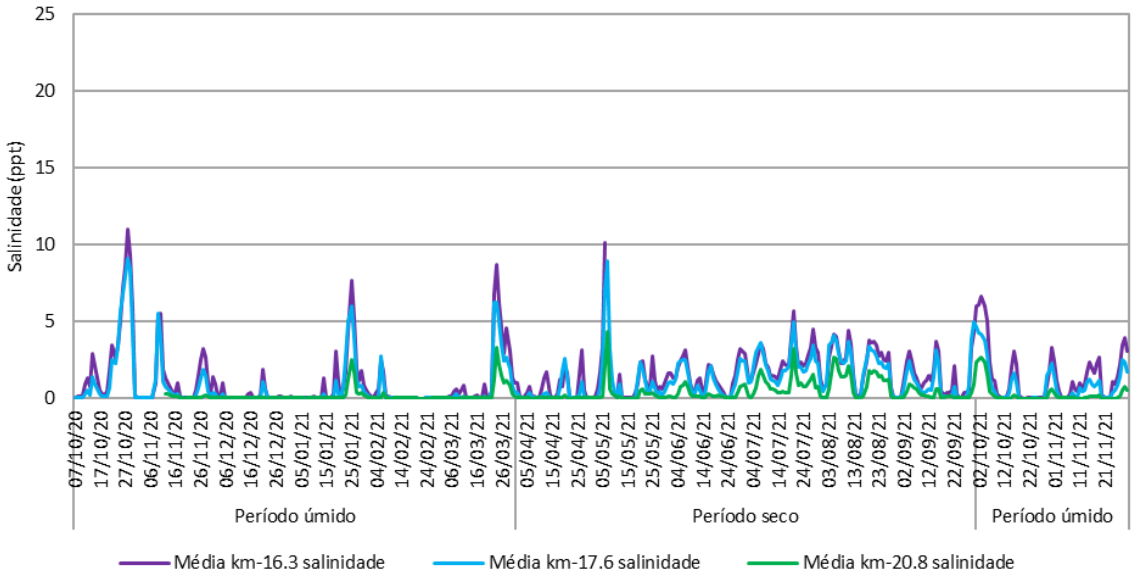
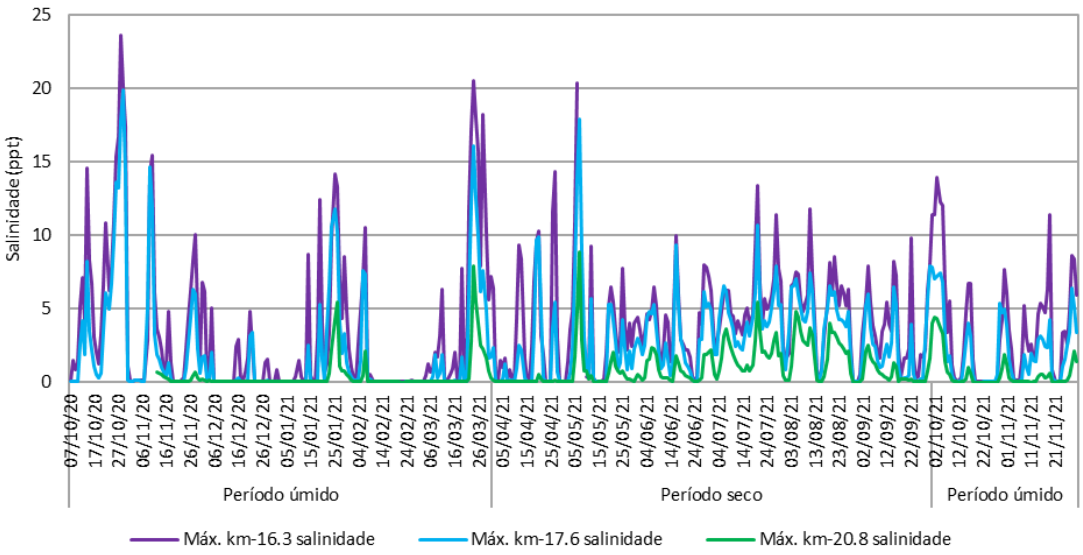
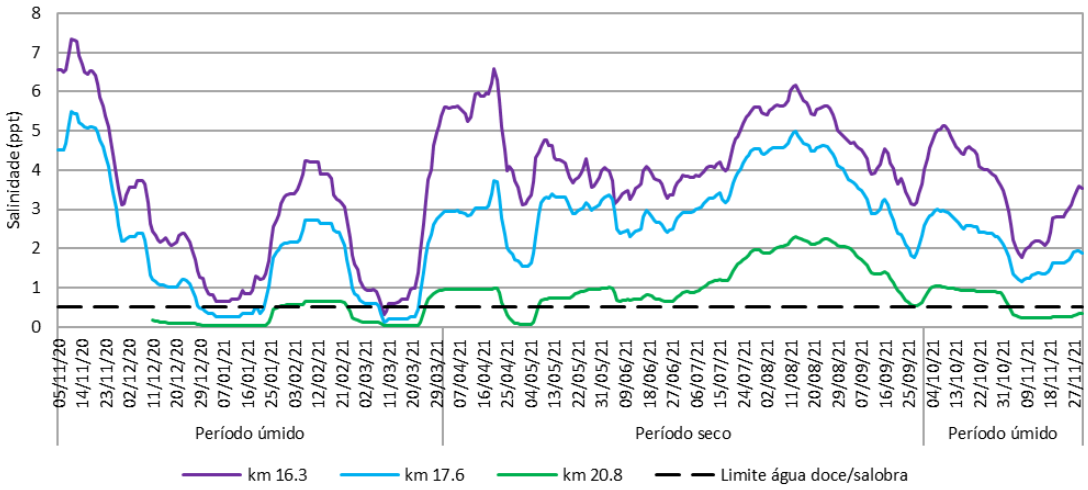


Figura 12 – Valores máximos diários de salinidade nas estações Km 16.3, 17.6 e 20.8



A seguir, a **Figura 13** apresenta-se de forma ilustrativa o comportamento da média móvel de 30 dias (MM 30D) calculada a partir dos valores máximos diários de salinidade nas estações Km 16.3, Km 17.6 e Km 20.8.

Figura 13 – Médias móveis de 30 dias dos valores máximos diários de salinidade das estações Km 16.3, 17.6 e 20.8 (07/10/20 a 30/11/21).



b) Salinidade do lençol freático

A **Tabela 3** apresenta a síntese dos dados de salinidade do lençol freático e profundidade do nível d'água obtidos ao longo do período monitorado, de dezembro/2019 a novembro/2021. São apresentados os valores de salinidade máxima, média e mínima, e os valores médios de profundidade do nível d'água.

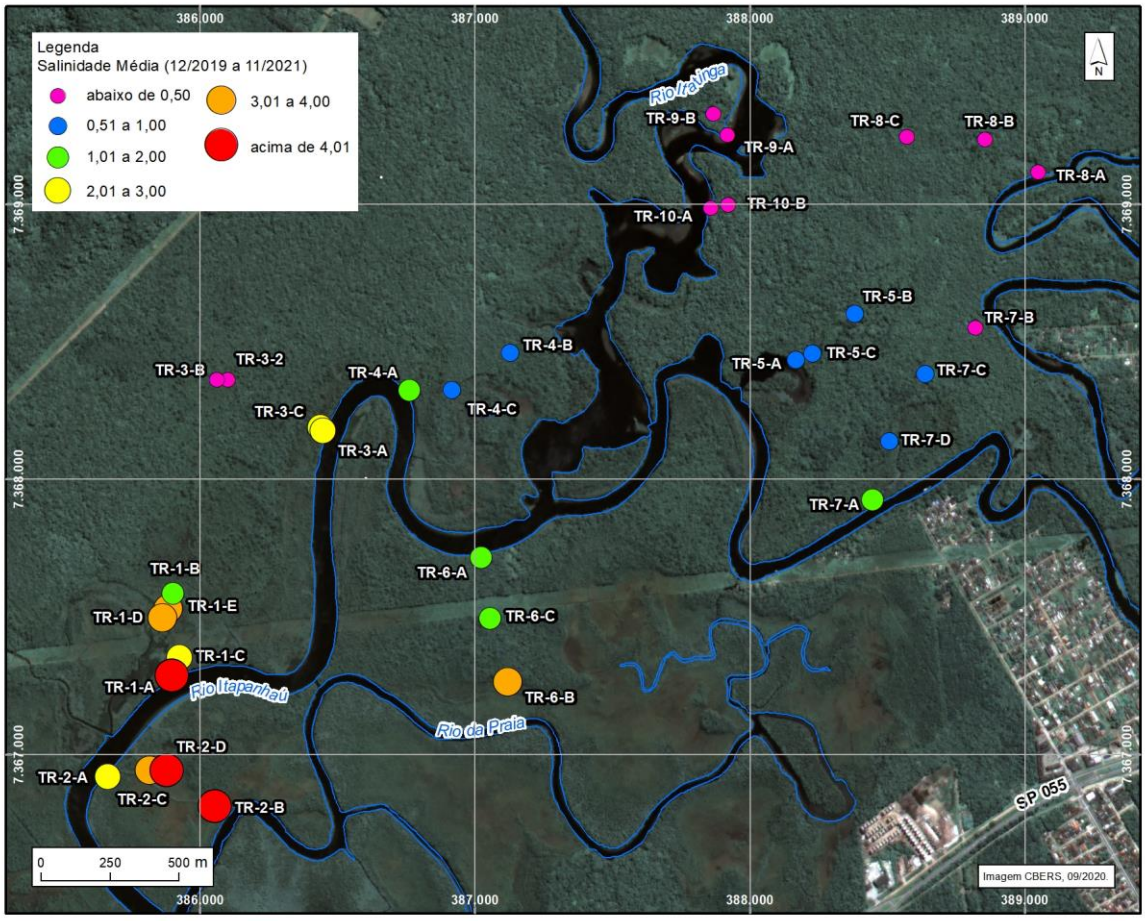
A **Figura 14** ilustra a localização dos poços piezométricos em conjunto com os resultados de salinidade média da água do lençol freático, de modo a espacializar os resultados sobre a área de estudo da restinga.

Tabela 3 – Dados de salinidade (ppt) e profundidade do nível d'água (m) nos piezômetros.

Poço	Salinidade máxima	Salinidade média	Salinidade mínima	Profundidade média do NA
TR-1-A	11,91	4,70	1,19	0,23
TR-1-B	3,39	1,73	0,45	-0,02
TR-1-C	4,15	2,64	0,92	0,19
TR-1-D	7,32	3,14	0,64	0,06
TR-1-E	8,00	3,46	0,75	0,20
TR-2-A	6,43	2,97	1,23	0,34
TR-2-B	7,12	4,41	1,79	0,17
TR-2-C	7,34	3,27	0,81	0,21
TR-2-D	6,95	4,86	1,21	0,21
TR-3-A	6,99	2,23	0,06	0,29
TR-3-B	0,31	0,23	0,05	0,02
TR-3-C	6,02	2,84	0,60	0,22
TR-3-2	0,46	0,28	0,08	0,27
TR-4-A	4,01	1,43	0,00	0,15
TR-4-B	2,35	0,97	0,38	0,79
TR-4-C	1,65	0,99	0,25	0,34
TR-5-A	1,17	0,74	0,32	0,44
TR-5-B	1,07	0,81	0,59	0,40
TR-5-C	1,52	0,84	0,25	0,20
TR-6-A	2,31	1,61	1,06	0,57
TR-6-B	3,34	3,13	2,60	0,15
TR-6-C	1,34	1,21	1,00	0,20
TR-7-A	1,62	1,42	1,09	-0,03
TR-7-B	0,29	0,14	0,00	0,54
TR-7-C	1,11	0,80	0,22	-0,06

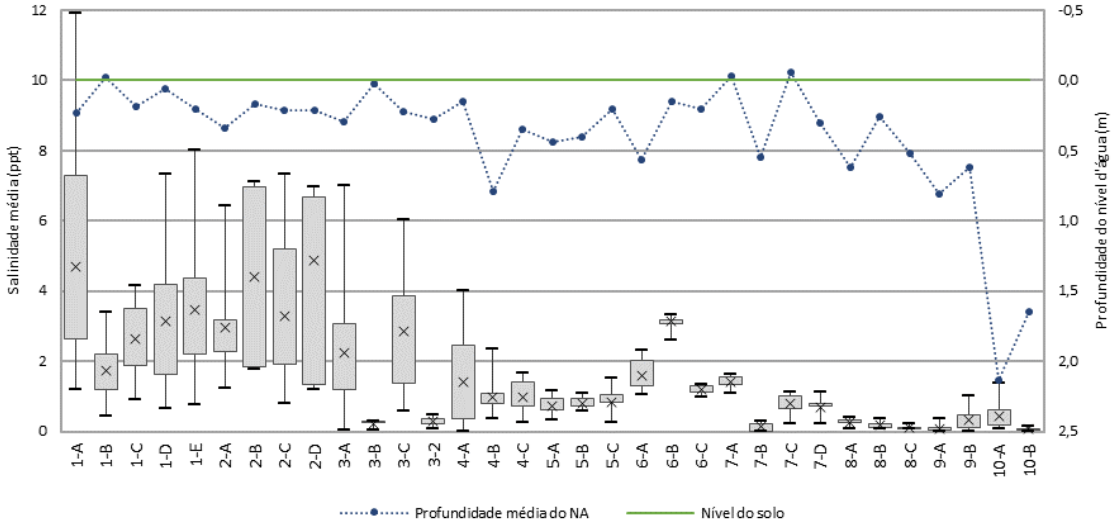
Poço	Salinidade máxima	Salinidade média	Salinidade mínima	Profundidade média do NA
TR-7-D	1,11	0,69	0,22	0,30
TR-8-A	0,41	0,27	0,07	0,62
TR-8-B	0,35	0,17	0,07	0,26
TR-8-C	0,22	0,11	0,06	0,52
TR-9-A	0,37	0,07	0,00	0,81
TR-9-B	1,02	0,31	0,01	0,62
TR-10-A	1,39	0,45	0,06	2,14
TR-10-B	0,15	0,06	0,02	1,64
Média	**3,13**	**1,61**	**0,55**	**0,39**
Desvio padrão	**3,02**	**1,43**	**0,60**	**0,44**
Máxima	**11,91**	**4,86**	**2,60**	**2,14**
Mínima	**0,15**	**0,06**	**0,00**	**-0,06**

Figura 14 – Distribuição dos teores de salinidade média da água do lençol freático (ppt) na área de estudo da restinga.



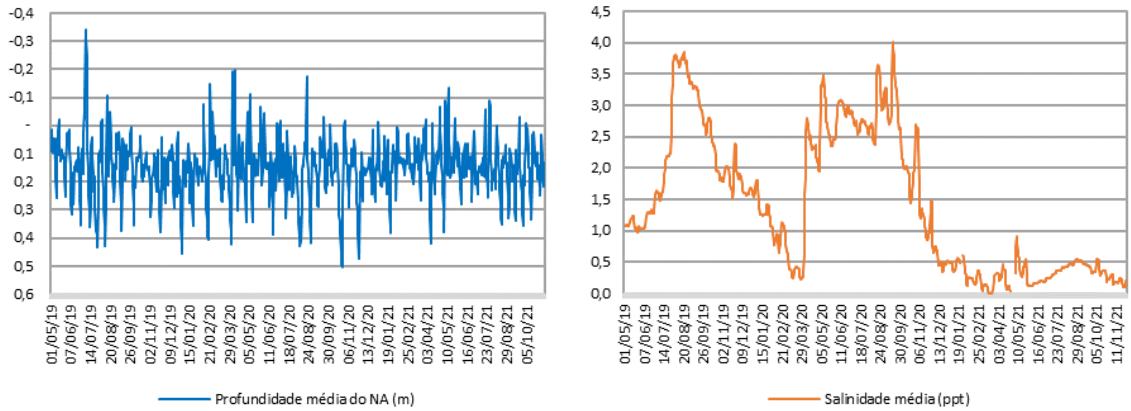
A **Figura 15** apresenta os dados de salinidade do lençol freático em gráfico do tipo *box-plot*, onde o marcador em 'x' representa a salinidade média; a caixa representa o intervalo interquartil, correspondente à distância entre o terceiro quartil (quartil superior) e o primeiro quartil (quartil inferior) dos dados de salinidade; e os extemos indicam os valores de salinidade máxima e mínima. Nesta figura também é apresentada a profundidade do nível d'água obtidos ao longo do período monitorado, assim como a cota do terreno, permitindo se verificar são predominantemente alagadas (exemplo: TR-1-B, TR-7-C, entre outros).

Figura 15– Variação da salinidade e profundidade do nível d'água nos poços piezométricos.



De forma a exemplificar o comportamento da salinidade e da profundidade do nível d'água ao longo do período monitorado, a **Figura 16** apresenta os dados médios diários destes parâmetros para o poço piezométrico TR-4-A.

Figura 16 – Salinidade média e profundidade média do nível d'água observados no poço TR-4-A.



ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

a) Nível de Água e Salinidade no Estuário do rio Itapanhaú

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que nas quatro estações situadas no estuário foram registradas variações do nível d'água sob influência da maré semidiária, com amplitudes médias próximas de 84 cm, para o período de 07/10/2020 a 30/11/2021.

Em relação à salinidade das águas do rio Itapanhaú, no período analisado, os sensores de fundo e de superfície registraram valores próximos entre si em todas as estações, com diferenças percentuais abaixo de 18%, denotando corpo hídrico bem misturado nesta região. Na estação Km 17.6 houve maior diferença entre superfície e fundo, provavelmente efeito local da configuração da seção transversal e proximidade da foz do rio Itatinga A salinidade de fundo apresentou ligeira superioridade com relação à superficial, como esperado.

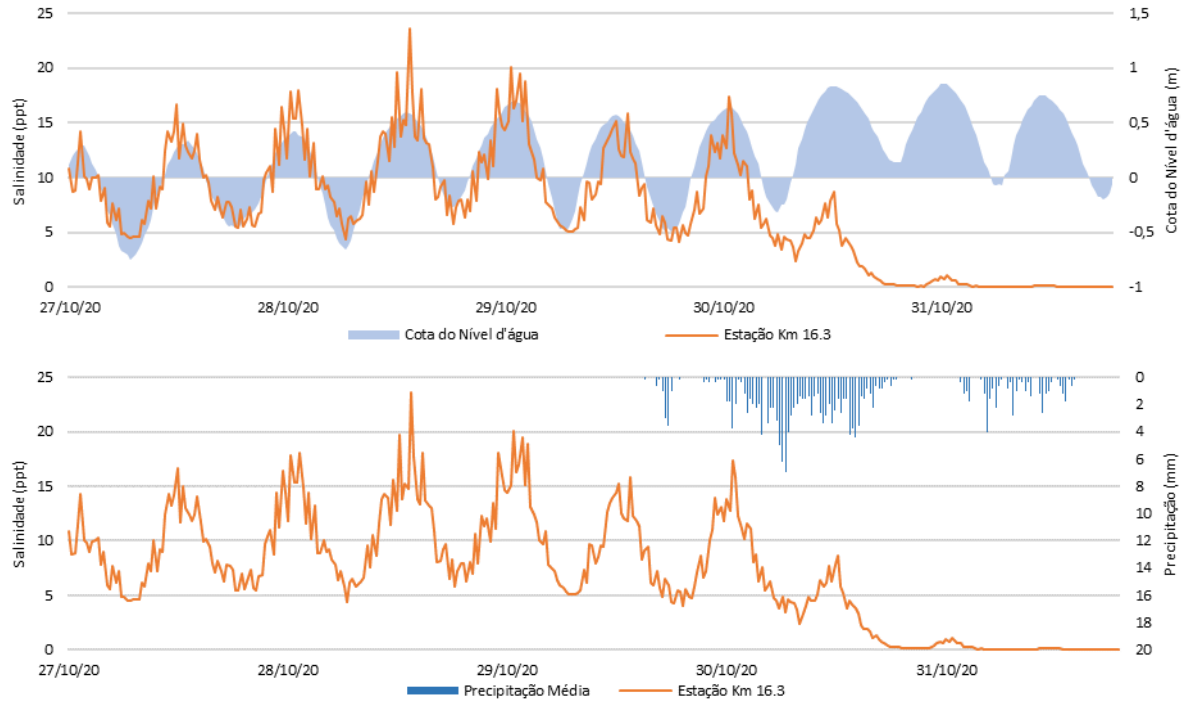
Analisando os resultados pluviométricos e correlacionando com as salinidades médias diárias, observa-se a clara influência das precipitações na bacia na salinidade quantificada no rio Itapanhaú, visto que após os períodos chuvosos a salinidade cai consideravelmente, permanecendo assim pelo período de alguns dias. Se a estiagem se prolonga, os valores de salinidade voltam a aumentar, até que novo período chuvoso ocorra, conforme pode ser observado na **Figura 9**.

As três estações localizadas mais próximas à foz apresentaram valores de salinidade oscilando ao longo do dia conforme as variações da maré, com valores médios decrescentes no sentido de montante. Já a estação Km 26.3 apresenta salinidade média diária variando entre zero e 0,02 ppt, sendo o maior valor instantâneo de 0,32 ppt, abaixo do limiar entre água salobra e água doce, indicando que nesta seção do rio praticamente não há influência da salinidade marinha na qualidade da água.

Na estação Km 16.3, situada mais a jusante, observa-se maior influência da salinidade marinha (como esperado), refletida em maior variação diária e maiores valores absolutos, alçando a máxima de 23,61 ppt, em outubro/2020. Em relação a frequência de ocorrência de água salobra em detrimento à água doce, em 53,8% das medições apresentaram salinidade inferior a 0,5 ppt (vide **Tabela 2**), sendo verificado predominância de água salobra no período seco (abril a setembro) e predominância de água doce no período úmido (outubro a março), corroborando com a análise apresentada anteriormente da influência das precipitações na bacia com a salinidade do rio Itapanhaú.

A título de exemplo a **Figura 17**, apresentada a seguir, exemplifica o comportamento da salinidade e da oscilação do nível d'água ao longo do dia em função da variação da maré. Nota-se o aumento dos valores de salinidade durante a maré enchente, em função do deslocamento da cunha salina sentido a montante do rio Itapanhaú, enquanto os menores valores ocorrem vazante, onde ocorre o recuo da cunha salina.

Figura 17 – Comparação entre os dados absolutos de Salinidade, Cota do nível d'água e Precipitação na Estação km 16.3



Na Figura acima pode-se observar também a influência das precipitações na salinidade do rio Itapanhaú, mencionado anteriormente. Nota-se que a precipitação registrada a partir do dia 30/10/2020, cujo valor foi obtido pela média das 4 estações telemétricas, resultou na redução drástica da salinidade na estação do Km16.3. No dia 31/10/20, com a interrupção da chuva, a salinidade começa a se elevar, retornando a zero em função de novo período chuvoso. A pluviometria alterou também a cota do NA, que permaneceu em níveis mais elevados ao longo dos ciclos de mará dos dias 30 e 31/10/2020.

Na estação Km 17.6 também foi observada a influência da salinidade marinha, embora com amplitude menor, como esperado para uma estação situada mais a montante: os valores de salinidade alcançaram a máxima instantânea de 19,92 ppt, em outubro/2020. Nesta estação 61,4% das medições apresentaram salinidade inferior a 0,5 ppt, demonstrando uma presença maior de água doce em detrimento a água salobra quando

comparada a estação km 16.3. No entanto, assim como observado nesta outra estação, as predominâncias de água doce e salobra variam ao longo do ano, sendo no período seco (abril a setembro) a predominância de água salobra, enquanto no úmido (outubro a março) a de água doce (vide **Tabela 2**).

No Km 20.8 do rio Itapanhaú, contado a partir da foz, a influência da salinidade marinha decresce consideravelmente quando comparado as duas estações localizadas mais a jusante, com os valores de salinidade alcançando a máxima instantânea de 8,85 ppt, em maio/2021 (vide **Tabela 2**). Nesta estação há predominância da condição de água doce ao longo do período observado (82,6% das medições apresentaram salinidade inferior a 0,5 ppt), tanto no período seco quanto no período úmido.

A variável média móvel de 30 dias (MM30D) da salinidade foi calculada a partir dos valores máximos diários nas estações Km 16.3, Km 17.6 e Km 20.8, alçando máximas de 7,34 ppt na estação Km 16.3 (em 10/11/2020), 5,48 ppt na estação Km 17.6 (também em 10/11/2020), e 0,97 ppt na estação Km 20.8 (em 21/04/2021).

b) Salinidade do lençol freático

Em linhas gerais, as cotas de nível d'água nos poços encontram-se próximas de 1 m, exceto no TR-2-C, onde se alcança a cota 3 m. O lençol freático é raso e as amplitudes de variação do nível d'água ao longo do período (ou do dia) foram pequenas (próximas a 1 m), verificando-se influência da maré. A região onde se localizam os transectos é de baixa declividade e com presença de diversas drenagens, o que frequentemente ocasionou empoçamentos ou alagamentos em áreas de poços piezométricos e seus arredores.

É possível observar dois comportamentos distintos da salinidade nos piezômetros. Nos transectos situados mais próximos à foz do Rio Itapanhaú (poços dos TRs 1 e 2, e os poços TR-4-A, TR-3-A e TR-3-C), houve elevada variação de salinidade ao longo do período observado e valores médios mais elevados. As maiores salinidades máximas foram observadas nos poços TR-1-A e TR-1-E (11,91 ppt e 8,00 ppt), enquanto as maiores salinidades médias ocorreram nos poços TR-2-D e TR-1-A (4,86 ppt e 4,70 ppt).

Nos demais transectos (poços dos TRs 5 a 10, e os poços TR-4-C, TR-4-B, TR-3-2 e TR-3-B), se observou menores variações de salinidade e valores médios mais baixos. As maiores salinidades máximas foram observadas nos poços TR-6-B e TR-4-B (3,34 ppt e 2,35 ppt), enquanto as maiores salinidades médias ocorreram nos poços TR-6-B e TR-6-A (3,13 ppt e 1,61 ppt). Apresentaram salinidade média inferior a 0,5 ppt (característica de água doce) o TR-7-B, TR-3-2, TR-3-B e os poços dos TRs 8, 9 e 10.

Os transectos TR-2 e 6 possuem poços próximos à margem do Rio da Praia (TR-2-B e TR-6-B) e poços próximos à margem do Rio Itapanhaú (TR-2-A e TR-6-A). Os poços próximos ao Rio da Praia apresentaram salinidade mais elevada (porém com menor amplitude de variação) e menor variação do nível d'água em comparação aos poços próximos ao Rio Itapanhaú.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com o monitoramento da salinidade, juntamente com os demais monitoramentos que compõem o Plano de Monitoramento do Médio e Baixo Itapanhaú, constituem um amplo e inédito acervo de informações sobre o comportamento e a interação das variáveis bióticas e abióticas no ambiente na região.

Os resultados mostram que, no estuário, o efeito da maré sobre o nível d'água é observado nas quatro estações implantadas (do km 16,3 ao 26,3), com amplitudes médias relativamente próximas (na casa de 84 cm). O efeito sobre a salinidade, entretanto, é observado com grau decrescente de intensidade conforme se caminha para montante, sendo que na estação Km 26,3 já não se observa efeito dos ciclos de maré na salinidade.

Oscilações semidiárias da salinidade são observadas nas três primeiras estações (até km 20.8), sendo suas magnitudes fortemente influenciadas pela ocorrência de precipitações na bacia: os níveis de salinidade caem a valores próximos de zero pelo período de alguns dias após a ocorrência de chuvas intensas. Se a estiagem se prolonga, os valores de salinidade voltam a aumentar, até que novo período chuvoso ocorra.

As evidências indicam que se trata de um estuário bem misturado, no qual as diferenças de salinidade entre superfície e fundo são pequenas na maior parte do tempo e estações do ano.

Com relação à salinidade no lençol freático, há um gradiente decrescente no valor à medida em que se caminha de jusante para montante no Rio Itapanhaú, bem como à medida em que se afasta das margens do Rio Itapanhaú em um mesmo transecto. Os poços situados mais às margens do Rio Itapanhaú apresentaram maior influência das variações da maré e intrusão da cunha salina.

Nos poços em que se observaram as maiores amplitudes de salinidade, a variação deste parâmetro apresenta oscilações sazonais, possivelmente influenciada pela diluição de sais provocada pelas precipitações atmosféricas no período chuvoso.

Os poços situados às margens do Rio da Praia apresentaram maiores concentrações de salinidade, mas menores amplitudes de nível d'água e salinidade, denotando que este curso d'água possivelmente apresenta menor sensibilidade às variações da maré e maior influência da cunha salina.

Os resultados obtidos, ao mesmo tempo em que ampliam e detalham o conhecimento existente sobre os parâmetros monitorados, corroboraram as informações apresentadas nos estudos ambientais realizados nas etapas do processo de licenciamento ambiental do Aproveitamento das Águas da Bacia do rio Itapanhaú para Abastecimento da RMSP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Resolução CONAMA N.º 357, de 17 de março de 2005**.** *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, Seção 1, p. 58- 63, 2005.

SABESP / PRIME ENGENHARIA *Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA para o Aproveitamento das Águas da Bacia do Itapanhaú para Abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo. 2015.

SABESP / CONSÓRCIO PRIME/AQUÁTICA. *Relatório Final da Linha de Base do Plano de Monitoramento do Médio e Baixo Itapanhaú*. São Paulo. 2022.