

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO FLUXO SUBTERRÂNEO, SUA INTERAÇÃO COM A INTRUSÃO SALINA E COM OS FENÔMENOS ATMOSFÉRICOS TÍPICOS DA REGIÃO – APLICAÇÃO À PRAIA DO CASSINO, BRASIL.

CONCEIÇÃO LAGOS DE AVILA

Dissertação apresentada à Comissão de Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Scotti Fontoura

Co-orientador: Prof. Dr. Luis Felipe Hax Niencheski

Rio Grande, abril de 2012.

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao orientador Prof. José Antônio Scott Fontoura pela dedicação, amizade e profissionalismo que conduziu minha orientação na elaboração deste trabalho.

Ao meu co-orientador Prof. Luis Felipe Hax Niencheski pelos conselhos e por todo o aprendizado transmitido.

Ao Prof. José Antiquiera pela realização do perfil praias, ao Prof. Marco Romeu pela ajuda no Matlab, a Veridiana Herreira pela prestatividade nas análises de sedimentologia, ao Christian Serpa pelos conselhos e ajuda no projeto de pesquisa e durante a elaboração deste trabalho e a Nilza pelo carinho, amizade e prestatividade.

Pela ajuda nas saídas de campo agradeço ao Prof. Fontoura, ao meu pai Gilberto Avila, ao colega Felipe Sprovieri e Luiz Azambuja.

À minha cunhada, Raquel Avila, pela ajuda na formatação do texto.

À minha família, minha avó, meus irmãos, amigos e todos que fizeram parte desta caminhada.

Principalmente, agradeço aos meus pais Gilberto e Guaraci pela dedicação, amor, incentivo e apoio durante toda minha vida acadêmica, com certeza são por eles que estou seguindo esta caminhada.

Ao CNPq agradeço pela bolsa e auxílio financeiro.

"Somente a força do conhecimento pode permitir ao homem realizar até as mais altas aspirações, porque é ela o maior estímulo a que ele pode aspirar. Quanto mais conhecimentos possua, mais força terá, e mais formosos serão os frutos de sua realização".

*Carlos Bernardo González
Pecotche*

RESUMO

A compreensão dos fenômenos que regem os fluxos de água e o transporte de substâncias em vias subterrâneas na interface terra-mar é cada vez mais importante para os estudos dos sistemas costeiros. Esta dissertação avalia a influência dos fatores climáticos, hidrogeológicos e meteorológicos sobre os fluxos de água e de substâncias associadas e objetiva criar uma base de dados (hidrogeológicos, meteorológicos e sedimentares) capaz de fornecer as entradas necessárias para a futura aplicação de um modelo matemático numérico de simulação do comportamento dos fluxos subterrâneos na região. A metodologia envolveu análise de dados meteorológicos, construção e instalação de poços de monitoramento do lençol freático, obtenção de dados do nível do lençol freático, determinação do perfil de salinidade e cálculo dos fluxos subterrâneos. A área estudada fica aproximadamente 10 km ao sul do Molhe Oeste da desembocadura da Lagoa dos Patos, localizada na Praia da Querência. Durante o período de coletas foi observada a passagem de pelo menos onze frentes frias na região, sugerindo fortemente que todo o processo é governado pelos fenômenos meteorológicos. Com mar baixo e baixa precipitação temos um gradiente salino acentuado na face da praia com valores de sal muito próximos dos valores encontrados na água da costa, já com o mar alto não ocorreram variações significativas nos valores da salinidade mesmo nos pontos próximos do mar, as alterações ocorridas nunca foram significativas, os valores quase sempre se mantiveram constantes mesmo em condições extremas. Observamos que o nível do lençol freático responde diretamente às taxas de precipitação. Quando há um acúmulo de chuvas, os níveis aumentam rápida e significativamente, aumentando também os fluxos subterrâneos em direção ao mar. Mesmo com a passagem de frentes frias e o mar avançando bastante em direção ao continente, não houve registros de fluxos na direção mar-continente.

Palavras-chave: água subterrânea, lençol freático, fluxos subterrâneos de água, intrusão salina.

ABSTRACT

The understanding of the phenomena governing the flow of water and transportation of substances in groundwater pathways in the land-sea interface is each time more important for studies of coastal systems. The present report analyzes the influence of climatic factors on these hydrogeological and meteorological phenomena. Aiming to collect and create a database (hydrological, meteorological and sedimentary) capable of providing the required inputs for the future application of a mathematical model for numerical simulation of groundwater flow in the region, the methodology involved analysis of meteorological data, construction and installation of wells for monitoring groundwater, data acquisition of the groundwater level, determining the profile of salinity and calculation of groundwater flow. The studied area is situated at about 10 km south from the west breakwater at the mouth of the Patos Lagoon, located on the beach of Querência. During the collection period was observed to pass through at least eleven cold fronts in the region, strongly suggesting that the whole process is governed by meteorological phenomena. With sea below and low precipitation have a strong salinity gradient in the face of the beach with salt values very close to the values found in the water at the coast, the sea has no significant variations in the values of salinity at places near the sea, changes were not significant, the values remained almost constant even in extreme conditions. We have noted that the groundwater level responds directly to the precipitation rates. When there is an accumulation of rainfall, the levels increase rapidly and significantly, also increasing the groundwater flow towards the sea. Even with the passage of cold fronts and sea advancing a lot towards the continent, there were no reports of flows towards sea-continent.

Keywords: groundwater, underground water flows, seawater intrusion.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS.....	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJETIVO.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA DE ESTUDO.....	13
2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
4. METODOLOGIA.....	23
4.1 CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO.....	23
4.2 OBTENÇÃO DE DADOS DO NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO.....	30
4.3 DETERMINAÇÃO DO PERFIL DE SALINIDADE.....	32
4.4 DADOS METEOROLÓGICOS.....	34
4.5 DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (MÉTODO DE HAZEN).....	35
4.6 METODOLOGIA DE CÁLCULO DOS FLUXOS SUBTERRÂNEOS	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1 NÍVEL DOS POÇOS FREÁTICOS E SALINIDADE.....	43
5.2 FRENTE FRIAS.....	58
5.3 FLUXOS SUBTERRÂNEOS.....	63
6. CONCLUSÃO.....	74
7. RECOMENDAÇÕES.....	75
ANEXOS.....	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo.	17
Figura 2 – Detalhes do poço de monitoramento.....	24
Figura 3 - Detalhes da elaboração dos poços de monitoramento. Modificado de SERPA (2008).....	25
Figura 4 - Escavação para colocar o poço de monitoramento.	26
Figura 5 - Colocação do tubo guia para não desmoronar o solo.....	27
Figura 6 – Localização final dos Poços de Monitoramento, sendo T=transversal e L=longitudinal.	28
Figura 7 - Poço instalado antes da concretagem.	29
Figura 8 - Poço de monitoramento instalado.....	29
Figura 9 – Localização, altura e nivelamento dos poços.....	30
Figura 10 - Leitura do nível freático.	31
Figura 11 - Detalhe da leitura do nível freático.....	31
Figura 12 - Esquema de coleta de salinidade. a) equipamentos utilizados; b) inserção da bomba de vácuo no solo; c) bomba de vácuo inserida do tubo guia; d) retirada de sedimentos e água do tubo guia; e) detalhe dos equipamentos inseridos no solo após a coleta.	33
Figura 13 - Detalhe de coleta de sedimento.....	36
Figura 14 - Detalhe da lavagem do sedimento.....	36
Figura 15 – $\frac{1}{4}$ Phi.	37
Figura 16 – Detalhe do peneiramento.	38
Figura 17 - Perfil praial, compreendido da estaca de ferro (poço 1T) no meio das dunas até a linha d'água, realizado em fevereiro de 2010.	39
Figura 18 - Perfil praial, compreendido da estaca de ferro (poço 1T) no meio das dunas até a linha d'água, realizado em maio de 2011.	40
Figura 19 - Esquema demonstrativo das cargas hidráulicas, de pressão e de elevação.	41
Figura 20 - Nível do lençol freático dos poços transversais à linha de costa. ..	45
Figura 21 - Nível do lençol freático dos poços paralelos à linha de costa.	45
Figura 22 - Salinidade, temperatura e ph .Fonte:(Windom & Niencheski (2003).	48

Figura 23 - Nível do lençol freático nos 6 poços de monitoramento.....	49
Figura 24 - Perfil salino do verão.....	50
Figura 25 - Perfil salino do outono.....	50
Figura 26 - Perfil salino do inverno.....	51
Figura 27 - Perfil salino da primavera.....	51
Figura 28 - Praia com o nível do mar elevado.....	53
Figura 29 - Praia com o nível do mar baixo.....	53
Figura 30 - Salinidade mês de março.....	54
Figura 31 - Salinidade mês de abril.....	54
Figura 32 - Salinidade mês de maio.....	54
Figura 33 - Salinidade mês de junho.....	55
Figura 34 - Salinidade mês de julho.....	55
Figura 35 - Salinidade mês de agosto.....	55
Figura 36 - Salinidade mês de setembro.....	56
Figura 37 - Salinidade mês de outubro.....	56
Figura 38 - Salinidade mês de novembro.....	56
Figura 39 - Salinidade mês de dezembro.....	57
Figura 40 - Carga hidráulica (h) dos poços de monitoramento transversais à linha de costa.....	64
Figura 41 - Carga hidráulica (h) dos poços de monitoramento longitudinais à linha de costa.....	64
Figura 42 - Curvas de frequência acumulada.....	66
Figura 43 - Valores médios de Phi entre os poços.....	67
Figura 44 - Carga de pressão (hp) para os poços transversais à linha de costa.	71
Figura 45 - Carga de pressão (hp) para os poços longitudinais à linha de costa.	71
Figura 46 - Fluxos transversais à linha de costa.....	72
Figura 47 - Taxas de precipitação e evapotranspiração.....	72
Figura 48 - Fluxos longitudinais à linha de costa.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do nível do lençol freático em metros	44
Tabela 2- Frentes frias encontradas no período de estudo.	60
Tabela 3 - Fluxos subterrâneos para os poços transversais à linha de costa. .	69
Tabela 4 - Fluxos subterrâneos para os poços longitudinais à linha de costa.	70

1. INTRODUÇÃO

O fluxo hídrico subterrâneo é um fenômeno hidrológico natural de grande importância para os processos na região costeira, especialmente quando há conexão do aquífero freático com o mar através de uma zona de sedimentos permeáveis, como é o caso das praias arenosas que compõem o litoral sul do Brasil. Existem fortes evidências da importância das vias subterrâneas para o transporte de solutos através de sedimentos permeáveis em aquíferos rasos nas zonas próximas da fronteira marítima. Este transporte pode alterar a composição das águas de superfície através do fluxo de nutrientes, sedimentos terrígenos e substâncias químicas contaminantes de origem continental.

Em diferentes regiões do mundo existem registros de lagoas costeiras que proporcionam condições favoráveis ao intercâmbio das águas subterrâneas no limite terra-mar e ao desenvolvimento de estuários subterrâneos. Estas lagoas são geralmente reservas de água doce ou salobra, separadas do mar por uma barreira de areia ou cascalho, que mantêm um pequeno desnível topográfico em relação ao nível do mar. Essas barreiras tanto impedem o intercâmbio do fluxo de superfície entre a lagoa e o mar quanto favorecem o transporte de águas subterrâneas, quando permeáveis.

Da mesma forma que os grandes estuários do mundo, as lagoas costeiras também polarizam ações humanas no seu entorno, tornando-se o centro de uma série de atividades recreativas, comerciais, industriais, e de transporte marítimo e pesca.

O extremo sul da costa brasileira é dominado por estas lagoas costeiras. Windom & Niencheski (2003) sugerem que uma quantidade significativa da água destas lagoas se dirige ao mar formando estuários subterrâneos, com processos semelhantes aos estuários tradicionais. Estes autores demonstraram que estes fluxos subterrâneos podem alterar a composição química das águas na plataforma continental adjacente. Foram inferidos também alguns processos que são típicos de estuários subterrâneos: como os

produtos da remineralização da matéria orgânica lagunar que são transportados através da água subterrânea para os oceanos, entre outros.

A descarga de água subterrânea pode causar modificações na qualidade da água, tais como aumento de nutrientes e outros solutos que podem ser resultado de atividades domésticas, agrícolas e industriais, na área de drenagem do aquífero costeiro. Como a maior parte da planície costeira do Rio Grande do Sul é composta por uma barreira arenosa, o aquífero superficial fica sujeito a ser facilmente contaminado por poluentes tanto industriais como agrícolas ou mesmo de origem urbana, toda vez que ocorrer um manejo ou tratamento inadequado destas fontes de contaminação.

Na cidade de Rio Grande, as indústrias de fertilizantes têm sido consideradas uma fonte potencial de contaminação das águas superficiais e subterrâneas nas zonas urbanas, e dependendo de alguns fatores que podem aumentar a descarga de água doce subterrânea, como as taxas de precipitação elevadas, o relevo do local, e a permeabilidade do solo, essa contaminação pode se estender à escala regional.

Da mesma forma pode ocorrer a contaminação do aquífero costeiro com intrusão salina, pois em situações em que há extração de água subterrânea para uso doméstico ou agrícola, durante a ocorrência de períodos longos de estiagem, onde o fluxo em direção ao oceano diminui, pode acontecer que o aquífero fique contaminado com água salgada, impedindo ou prejudicando o seu uso para os fins citados anteriormente. Em vários lugares do mundo, onde a extração de água subterrânea é utilizada para fins de abastecimento urbano, se verifica a ocorrência de intrusão salina nos poços de abastecimento.

1.1 OBJETIVO

Objetivo Geral:

Estudar o comportamento do fluxo de água subterrânea, sua interação com a intrusão salina e com os fenômenos atmosféricos típicos da região. Criar uma base de dados hidrogeológicos e sedimentares, capaz de fornecer as entradas necessárias para a futura aplicação de um modelo matemático numérico de simulação do comportamento dos fluxos subterrâneos na região.

Objetivos Específicos:

- Estudar o comportamento do fluxo subterrâneo de água no lençol freático da Praia do Cassino, em frente à Estação Marinha de Aquicultura da FURG;
- Investigar o efeito da precipitação sobre a altura dos níveis freáticos;
- Determinar a direção e intensidade dos fluxos e refluxos subterrâneos através da aplicação teórica da equação de Dupuit descrita em Fetter (2001).

1.2 JUSTIFICATIVA DE ESTUDO

A compreensão dos fenômenos que regem os fluxos de água e o transporte de substâncias em vias subterrâneas na interface terra-mar é cada vez mais importante para os estudos dos sistemas costeiros. Os aquíferos costeiros associados a sedimentos permeáveis permitem o surgimento de uma zona de mistura da água doce e água do mar, semelhante à superfície de mistura na zona estuarina. A descarga subterrânea se origina em aquíferos de água doce e é basicamente controlada pela água infiltrada nos pontos de recarga. Seu efeito sobre o litoral pode ser significativo, pois os aquíferos

costeiros podem transportar material terrígeno para o oceano e muitas vezes em concentrações muito superiores aquelas observadas em águas superficiais, gerando um enriquecimento de nutrientes nestas regiões marginais.

Os aquíferos costeiros são aqueles que estão situados em planícies próximas ao mar ou lagoas salgadas e são geralmente do tipo freático, livres e muito vulneráveis. As águas destes aquíferos que sofrem influência das águas salgadas podem ter características bem marcantes, pois nestes locais o fluxo subterrâneo de água doce que vem do continente encontra o fluxo subterrâneo de água salgada que se infiltra pelo mar ou lago, ocorrendo uma estratificação, que devido à diferença de densidades, a água doce fica acima da água salgada ou salobra. Essa separação se mantém razoável devido ao fato de que ambas estão em um meio poroso onde a difusão de solutos é muito lenta, essa interface de água doce-salgada é uma zona com vários graus de mistura entre as duas águas.

A descarga submarina de água subterrânea (Submarine Groundwater Discharge - SGD) conforme Burnett et al. (2003) apud Crusius(2005) , se refere à "Todo e qualquer fluxo de água nas margens continentais do fundo do mar ao oceano costeiro, independentemente da composição do fluido ou força motriz." Esta definição inclui tanto a água doce subterrânea, quanto a água de circulação do mar através dos sedimentos, pois a SGD pode se originar tanto da descarga de aquíferos subterrâneos como também da recirculação de água do estuário, que é bombeada através do sedimento, devido às diferenças de pressão que podem ser causadas por marés e ventos.

Estudos recentes têm mostrado que a SGD pode ser responsável por uma fração significativa do fluxo de água doce em áreas onde a descarga de um rio não é significativa. Como em muitas das interfaces terra-mar do mundo se caracterizam como uma "fuga" dos sistemas de aquíferos costeiros, deve-se esclarecer a importância do fluxo de água subterrânea através desse "vazamento".

Em muitas regiões costeiras o aumento da demanda por água de superfície e águas subterrâneas pode resultar na diminuição do fluxo dos cursos d'água para rios e lagos, assim como os fluxos de águas subterrâneas, podendo causar variação dos níveis potenciométricos e alguns efeitos

ambientais, como a intrusão salina, fluxo interaquífero, aluimento de terras e contaminação das águas subterrâneas.

É evidente também a necessidade de estudos específicos do processo de urbanização das praias, visando criar uma infraestrutura capaz de suportar o desenvolvimento de balneários em áreas adjacentes à costa. Um dos principais fatores a serem avaliados é a drenagem urbana e praial, que são importantes para o controle de enchentes causadas por fenômenos meteorológicos, principalmente em áreas onde as características hidrogeológicas dificultam o escoamento das águas para locais de amortecimento.

No balneário Cassino, por exemplo, algumas áreas urbanas ficam sujeitas a alagamento quando o volume de chuva é excessivo, e isto está geralmente associado a uma insuficiente rede de drenagem, penalizando áreas mais baixas ou geologicamente menos privilegiadas em termos de escoamento. A intensa tráfegabilidade das praias oceânicas do Rio Grande do Sul, expostas à circulação de automóveis e de veículos de carga, faz com que a pressão exercida no solo cause uma compactação dos substratos facilitando o escoamento superficial em detrimento do subterrâneo.

A notável urbanização ao longo do litoral do Rio Grande do Sul torna de grande importância o estudo dos sangradouros e do comportamento do fluxo subterrâneo de água no lençol freático. Mudanças nas praias litorâneas do Rio Grande do Sul são iminentes, considerando a conclusão da BR-101 que liga o município de Rio Grande a Pelotas. Essa rodovia com cerca de 350 km, certamente resultará em instalações de novos balneários em locais ainda intocados da costa, bem como proporcionará o crescimento dos já existentes.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida para o presente trabalho fica na EMA (Estação Marinha de Aquicultura da FURG), localizada nas coordenadas (32º 12' 22" S e 52º 10' 34" W) aproximadamente 10 km ao sul do Molhe Oeste da desembocadura da Lagoa dos Patos (Figura 1).

Foram aspectos importantes na escolha da área de estudo: a facilidade de acesso e apoio logístico; as características do cordão de dunas frontais; a morfodinâmica da zona de surfe e o comportamento hidrológico da região.

A praia oceânica da planície costeira do Rio Grande do Sul, com seus mais de 600 quilômetros de extensão, é considerada sob o ponto de vista geomorfológico uma costa retilínea e uniforme, apresentando extensas praias arenosas dominadas por ondas e ventos. Nessa faixa se observa uma extensa barreira arenosa, em sua maioria composta por sedimentos de granulação fina, ficando submetida à ação intensa da hidrodinâmica costeira e de fatores meteorológicos e antrópicos, que tendem a modificar cíclica ou permanentemente as características geomorfológicas e a linha de costa.

Segundo Calliari (1993), esta área proporciona um bom exemplo de uma restinga dominada por ondas, pois a associação entre a configuração da linha de praia e a largura da plataforma continental contribui para um regime médio de energia de ondas, com altura significativa mais freqüente de 1,5 m associada a um regime de micromaré. Na região do terminal, que se localiza aproximadamente 3km ao Sul do Molhe Oeste da desembocadura da Lagoa dos Patos e na região da querência, localizada aproximadamente a 10km desta mesma referência, são encontrados sedimentos mais finos que evidenciam a influência da descarga lagunar.

As praias nesta região da costa são caracterizadas como dissipativas, pois tem granulometria mais fina, declividade baixa e maior largura. Outras

características referem-se às mudanças morfológicas induzidas pela ação eólica na região da pós-praia e dunas embrionárias.

Mudanças sazonais são evidenciadas ao longo de toda área, e se caracterizam por bermas acentuadas, com posição variável nos perfis praias, ocorrendo predominantemente entre os meses de novembro e março.

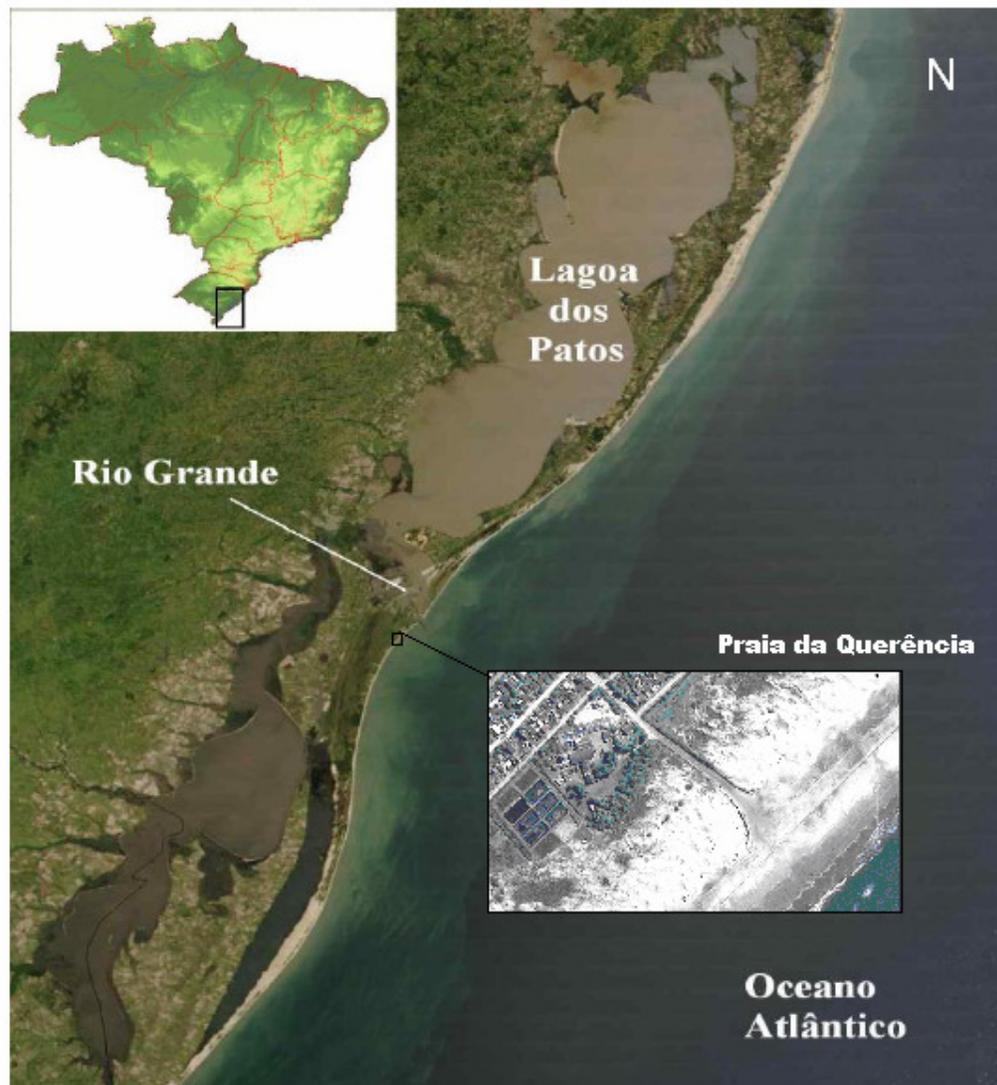


Figura 1 - Localização da área de estudo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Windom & Niencheski em 2003, a fim de avaliar a importância da via subterrânea associada a lagoas costeiras, realizaram um estudo de mistura da água doce e da água do mar através da barreira que forma a fronteira da Lagoa dos Patos no sul do Brasil. Estes verificaram a ocorrência de variação sazonal de salinidade da água subterrânea ao longo da restinga entre a Lagoa e o mar. Verificaram também durante o inverno, quando os níveis de água da lagoa ficam mais altos, baixas salinidades eram observadas ao longo da praia, que são difíceis de explicar por quaisquer outros processos, evidenciando o transporte de água subterrânea através dos sedimentos permeáveis da localidade da barreira do Estreito-RS. Baseado nisto, testaram a hipótese de que a água doce e água do mar se misturam em um estuário subterrâneo debaixo do Estreito. Com os resultados da análise de salinidade, ficou indicado claramente que a água doce e salgada se misturam, e que ocorre uma série de processos ativos na zona de mistura subterrânea através de sedimentos permeáveis, e é provável que esses processos não sejam importantes apenas para a região estudada, mas talvez para as zonas costeiras em geral.

Em 2007, Niencheski et al. sugeriram que existem dois sistemas diferentes de águas subterrâneas sob a barreira, um composto por um aquífero superficial que responde ao nível de água da lagoa, e outro, mais profundo, que talvez seja de escala mais regional. Amostras de águas subterrâneas coletadas ao longo da praia apresentaram variação da salinidade de 0 a 34, sem nenhuma tendência de variação em função da distância da boca da lagoa. Os autores observaram que o fluxo artesianos pode estar associado a um aquífero regional e ser indicativo da presença de camadas sedimentares confinadas, o que pode dificultar a interpretação química e os intercâmbios hídricos, por exemplo: uma carga hidráulica maior do que o nível da lagoa pode sugerir a existência de um fluxo do Oceano Atlântico para o interior. Independente disso, o sistema Patos-Mirim, claramente produz gradientes hidráulicos que resultam no fluxo das águas subterrâneas do aquífero superior

em direção ao atlântico sul. Neste trabalho eles consideraram fluxos em direção ao oceano, negligenciando outras fontes que possam contribuir para a Lagoa.

Estudos sobre SGD têm sido realizados no mundo inteiro com diferentes características. Stieglitz et al (2007) estudaram o comportamento da SGD sob influência de um cais, em Shelter Island em New York. Gradientes verticais de condutividade observados no sedimento indicaram que uma camada densa, a uma profundidade de 20-50 cm, separava dois aquíferos rasos e esta camada separava o escoamento de um outro aquífero mais profundo que se estendia mais longe da costa. Não obtiveram dados de salinidade sob o cais, mas a condutividade indicou que a descarga provavelmente consistia de água doce. Este estudo forneceu um exemplo do caminho de fluxo preferencial para as águas subterrâneas, neste caso, nas proximidades do cais analisado.

Solsona et al (2010), usou isótopos de rádio de curta e longa duração (^{223}Ra , ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra) para quantificar a descarga submarina de águas subterrâneas (SGD) na região costeira da Ilha de Menorca (mar Mediterrâneo Ocidental). Os resultados mostraram que as águas da enseada continham 20% de água subterrânea salobra, das quais 6% era água do mar reciclada e 14% correspondia à descarga da água doce. As salinidades das águas subterrâneas variaram de valores baixos indicando água doce a valores intermediários, que indicavam água salobra. Estes resultados mostraram a ocorrência de uma mistura de água doce subterrânea salobra com a água salgada recirculada. A salinidade reduziu ainda mais nas águas de superfície, sugerindo a existência de uma camada flutuante de água fresca que se intensificou no prazo de 50 m da linha de costa. Os autores concluíram que a fonte mais provável de água subterrânea para esse sistema fosse o aquífero cárstico superficial que é alterado por processos de dissolução.

Fear et al (2007) no Neuse River Estuary, na Carolina do Norte quantificaram o montante de SGD que entra no estuário. As mudanças na SGD não foram controladas de maneira uniforme em todas as estações de amostragem, mas os autores verificaram que os valores em algumas estações aumentaram, enquanto os de outras diminuíram. Notaram também que os nutrientes poderiam ser provenientes de duas fontes: (1) do transporte fora do

estuário, através do aquífero superficial, caso em que os nutrientes seriam considerados novos, e (2) de processos de degradação dos sedimentos, o que não representaria novos nutrientes, e também não representariam carga de SGD. Neste estudo, os dados não permitiram a separação destas duas fontes de nutrientes. Independentemente da fonte de nutrientes, o SGD representa um mecanismo pelos quais os nutrientes, especialmente o nitrogênio, podem ser transportados a partir de sedimentos para a coluna de água.

Crusius et al (2005), em Salt Pond, nos Estados Unidos se concentraram no uso de radônio, principalmente pelo fato que este se comporta de forma conservadora e mede a escala de salinidade desde água doce até água do mar, simplificando a interpretação da zona costeira, onde grandes gradientes de salinidade são comuns. Os valores de salinidade no canal estudado atingiram valores mínimos, em torno de 29, após a maré baixa e aumentaram rapidamente para máximos de 32 na maré alta. Os dados de temperatura e salinidade sugerem que o canal foi bem misturado verticalmente em praticamente todos os momentos, a salinidade da água de superfície foi comprovadamente mais baixa do que a salinidade das águas profundas em apenas um dos perfis. Apesar da salinidade durante o estudo ter uma variação pequena em relação à salinidade média de 30, fica evidente que a água é muito bem misturada, pois essa pequena diferença é notada, observa-se também que nem a ligeira estratificação da lagoa, nem a influência da evaporação, podem ser negligenciadas na avaliação de equilíbrio de sal. A estratificação poderia reduzir esta estimativa, enquanto que a evaporação no interior da lagoa pode aumentá-la. Pela observação dos valores baixos observados durante a maré baixa, os autores sugerem que a descarga de águas subterrâneas ocorra nas imediações do canal durante cada maré baixa. É possível que esta descarga de baixa salinidade aconteça também em outros momentos.

Lambert & Burnett (2003) estimaram a variação na descarga de águas subterrâneas em uma área costeira no nordeste do Golfo do México (Florida) com base em medições contínuas das concentrações de radônio. Os resultados sugerem que a descarga é fortemente influenciada pelas marés,

com picos de fluxo a cada 12 horas. A taxa de descarga foi calculada usando as taxas de advecção e variaram entre $1,7 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ entre $2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

Don et al (2008) na planície Shiroishi, sudoeste da Ilha de Kyushu no Japão, verificaram que o aluimento de terras devido à extração de águas subterrâneas tem sido reconhecido como uma questão ambiental e pode ter várias implicações negativas, econômicas e sociais. Verificaram que os resultados das simulações indicaram que o volume das águas subterrâneas retiradas aumentaram desde 1978 e que a maioria das quedas ocorreu no nível do lençol freático sob os leques aluviais e nas imediações dos poços de produção.

Santos et al (2008)^a, estudaram o complexo lagunar Mirim-Mangueira, onde a principal atividade econômica dessa área é a plantação de arroz, a qual exige uma manutenção das camadas de água sobre os arrozais durante o período de crescimento total. Avaliaram a necessidade de incluir o transporte subterrâneo da Lagoa Mangueira para a zona costeira como uma das principais fontes para o aumento da produtividade encontrada na região do Albardão, fornecendo elementos que provam o transporte de nutrientes através das águas subterrâneas, pois os valores de concentração média no Albardão foram sempre muito próximos ou acima da média de nutrientes em geral. Este estudo demonstrou que a região do Albardão é alimentada ao longo do ano por uma fonte independente das oscilações na descarga do rio da Prata e da Lagoa dos Patos. Concluíram que a pesquisa com ^{222}Rn foi extremamente útil para determinar qualitativamente que as áreas de solo reforçado onde ocorre a troca de água de superfície, estão nos canais de irrigação de arroz, onde a camada superficial do confinamento foi retirada durante a dragagem destes, mostrando que podem, portanto, representar uma importante fonte de nutrientes.

Em outro trabalho, Santos et al.(2008)^b também realizaram medições de parâmetros hidroquímicos em águas subterrâneas e superficiais da região da Lagoa Mangueira. Esta região representa um exemplo extremo de controle do uso da água (por exemplo, a irrigação do arroz) e, portanto, oferece uma oportunidade única de investigar as relações entre mudanças do uso da terra e de descarga das águas subterrâneas. Os valores obtidos através desse estudo

indicaram que a mistura de águas subterrâneas é uma grande fonte de espécies dissolvidas na Lagoa Mangureira, apoiando a hipótese que a entrada de águas subterrâneas desempenha um papel significativo na biogeoquímica da Lagoa Mangureira.

Attisano et al (2008), associaram dados de nutrientes das Lagoas Mirim e Mangureira a dados da plataforma da região do Albardão, todos em período de alta precipitação. Os autores verificaram que os teores médios de nutrientes na região do Albardão sempre foram muito próximos ou acima da média, mesmo quando as concentrações eram altas ou baixas no Chuí e em Rio Grande, tornando cada vez mais claro que a área estudada é alimentada ao longo do ano por uma fonte independente das oscilações da descarga do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos. Estes indicam a necessidade de incluir o transporte de água subterrânea da Lagoa Mangureira para a zona costeira, como uma das principais fontes para o aumento da produtividade encontrada no Albardão. Porém, verificaram que para ser capaz de quantificar e compreender melhor esse fenômeno no litoral sul do Rio Grande do Sul é necessário quantificar o transporte de água subterrânea usando isótopos naturais como traçadores.

Existem várias metodologias utilizadas em torno no mundo, grande parte dos estudos tem sido feito através de isótopos de rádio e radônio, porém tem um custo alto e um trabalho minucioso por se tratar de elementos radioativos. Outros estudos têm sido feitos através de associações de valores de nutrientes encontrados em lugares remotos. Para este trabalho, foi utilizada a metodologia que será descrita a seguir, pelo fato de ser mais acessível, ter um menor custo e parte dela ser utilizada no laboratório de Hidroquímica da Furg.

4. METODOLOGIA

4.1 CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO

Para investigar o comportamento e a variação das propriedades hidrogeológicas do lençol freático na área de estudo, optou-se pela instalação de poços de monitoramento, que ficaram localizados perpendicularmente e paralelamente à orientação da linha de costa.

A metodologia dos trabalhos de campo seguiu a seguinte ordem: levantamento topográfico do terreno, determinação da variação da fronteira salina através de prospecção sequencial de poços de controle temporário e determinação dos locais de instalação dos poços piezométricos.

A metodologia aplicada foi utilizada por SERPA (2008), que se inspirou em estudos realizados por TURNER (1998), nos procedimentos descritos na norma da ABNT NBR 113895:1997 – Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem e na norma da ASTM D 5092:2004 – Standard Practice for Design and Installation of Ground Water Monitoring Wells.

Os poços foram elaborados com materiais não-metálicos (exceto os rebites e braçadeiras) devido à salinidade do ambiente que estão expostos.

Os seguintes materiais foram utilizados para a fabricação dos poços de monitoramento:

- Tubo de PVC de 50 mm de diâmetro e comprimento de 2m;
- Tampões de PVC de 50 mm de diâmetro;
- Manta geotêxtil MacDrain®;
- Braçadeiras metálicas reguláveis;

- Rebites de repuxo em alumínio;
- Furadeira elétrica Bosch® e broca de 6 mm.

Para possibilitar a percolação de água do lençol freático, cada poço teve metade de seu comprimento perfurado por broca de 6 mm de espessura, em 4 colunas dispostas ao longo do perímetro, totalizando 25 linhas, espaçadas de 5 cm, totalizando 60 furos por tubo. A disposição dos furos foi escolhida para a entrada de água ficar homogênea ao longo do tubo, as distâncias foram marcadas com trena e caneta marcadora para retroprojektor.

Para impedir que ocorra assoreamento do poço com a entrada de areia, foi utilizada uma camada dupla de geotêxtil filtrante fabricado em material não-tecido de poliéster da marca MacDrain®, que garante a alta permeabilidade evitando a penetração de sedimentos. A manta geotêxtil foi fixada através de braçadeiras metálicas e rebites, como podemos observar na Figura 2. A Figura 3 apresenta os detalhes do poço de monitoramento.

A instalação dos poços de monitoramento na área de estudo foi realizada conforme descrição detalhada a seguir.

Todos os poços foram concretados na altura da sua boca com laje de concreto de 20 cm de espessura, para dificultar a retirada ou destruição completa do poço por vândalos, essa laje foi feita abaixo do nível do solo, e a boca do poço ficou escondida no nível do solo.



Figura 2 – Detalhes do poço de monitoramento.

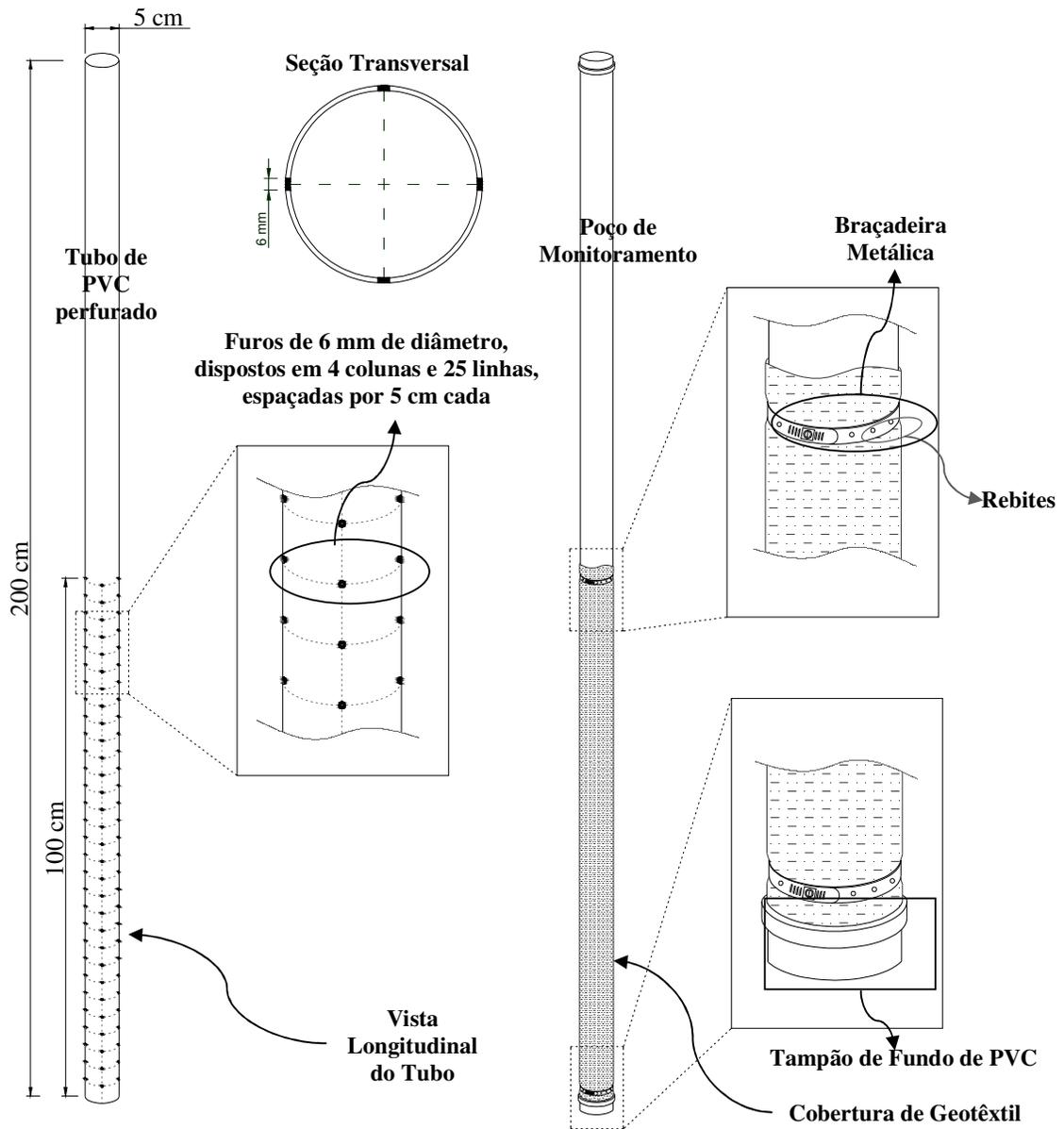


Figura 3 - Detalhes da elaboração dos poços de monitoramento. Modificado de SERPA (2008).

No dia 8 de maio de 2010, foi feita a primeira instalação dos poços de monitoramento. Inicialmente, foi feito um furo com trado manual até chegar ao nível da água e a seguir foi inserido um tubo guia de diâmetro igual a 100 mm

para evitar o desmoronamento do solo e com isso conseguiu-se alcançar a profundidade final requerida para inserção do poço. A profundidade final foi alcançada removendo-se sedimento com o trado de dentro do tubo guia. As Figuras 4 e 5 demonstram esse processo. Alcançada a profundidade esperada, foi introduzido o poço através do tubo guia e posteriormente o tubo guia foi removido deixando-se instalado o poço de monitoramento. Os poços não ficaram nivelados ao solo, pois devido a presença de água na determinada profundidade, houve dificuldade de extração do sedimento somente com o trado, todos eles ficaram entre 0,5m a 1m acima do mesmo. Quanto mais próximo do nível do mar, mais raso foi encontrado o lençol freático.

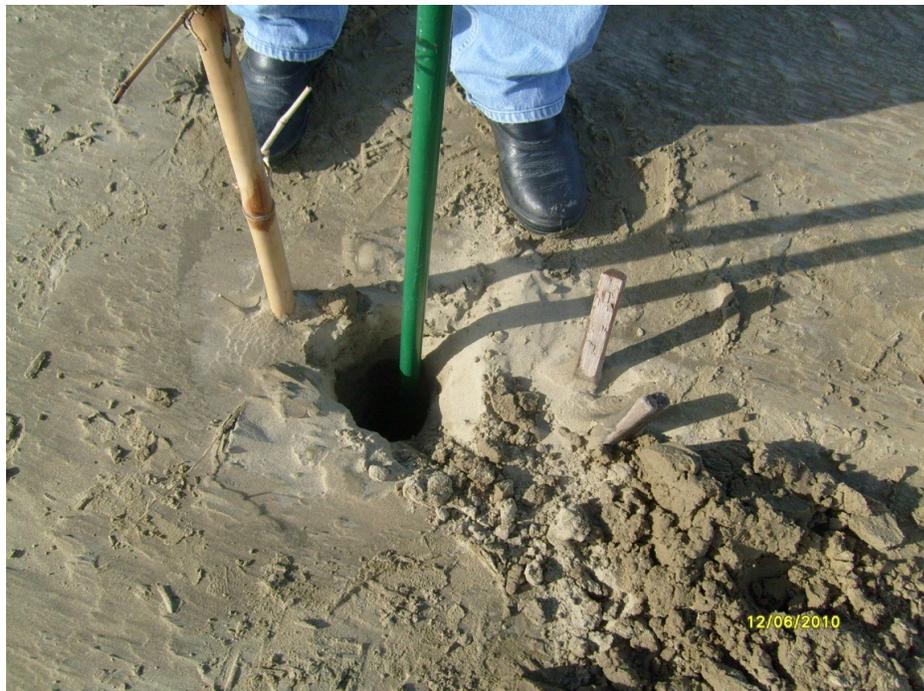


Figura 4 - Escavação para colocar o poço de monitoramento.



Figura 5 - Colocação do tubo guia para não desmoronar o solo.

A disposição dos poços foi escolhida para melhor monitoramento do fluxo, tanto transversal quanto longitudinal à linha de praia. Longitudinalmente foram colocados 3 poços com distância de 15m entre eles, e transversalmente 4 poços, sendo que um poço coincidindo com o longitudinal, formando uma cruz. Os demais poços transversais têm distâncias diferentes, o primeiro 50m de distância até o segundo, e a partir deste, 25 m entre eles.

Este primeiro experimento foi prejudicado por ato de vandalismo no qual os seis poços foram roubados, ocasionando a perda dos dados referentes a um período de aproximadamente 30 dias, pois ainda não havia sido realizado o levantamento topográfico e o nivelamento da posição vertical das suas bocas em relação ao nível médio do mar local. Este ato de vandalismo esteve associado aos poços terem ficado expostos, em local frequentado por banhistas, pescadores, e moradores.

No dia 12 de junho de 2010, ocorreu a segunda instalação dos poços, seguindo a mesma metodologia utilizada na primeira instalação, porém, optou-se por envelopar a boca dos poços dentro de um bloco de concreto situado cerca de 0,20m abaixo do nível do solo, e cortar o excedente dos poços no

nível do bloco de concreto, para não ficarem expostos e não correr o risco de serem roubados novamente. A disposição dos poços localizados paralelamente à costa teve uma modificação de distância, ficando 25m entre eles, em vez de 15m como feito anteriormente, como pode ser visto na figura 6. Todos os poços foram cobertos com areia e sinalizada a sua posição com estacas de madeira. Nas Figuras 7 e 8 pode-se observar os detalhes da concretagem dos poços de monitoramento.

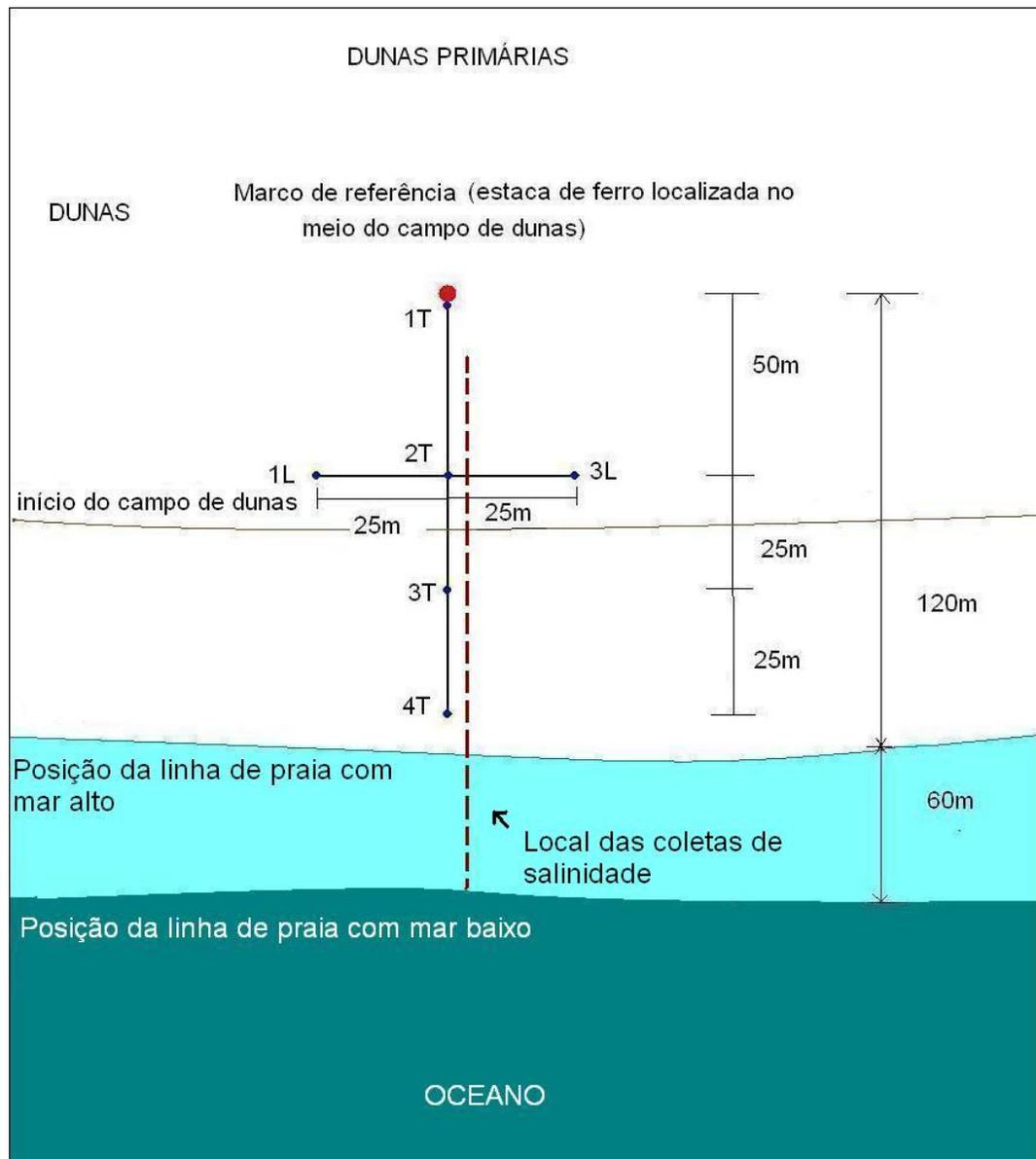


Figura 6 – Localização final dos Poços de Monitoramento, sendo T=transversal e L=longitudinal.



Figura 7 - Poço instalado antes da concretagem.



Figura 8 - Poço de monitoramento instalado.

Foi realizado um levantamento altimétrico do terreno para obtenção da posição topográfica da boca de cada um dos poços em relação ao nível do mar local, com auxílio de nível e régua graduada. Na figura 9 podemos ver estes valores.

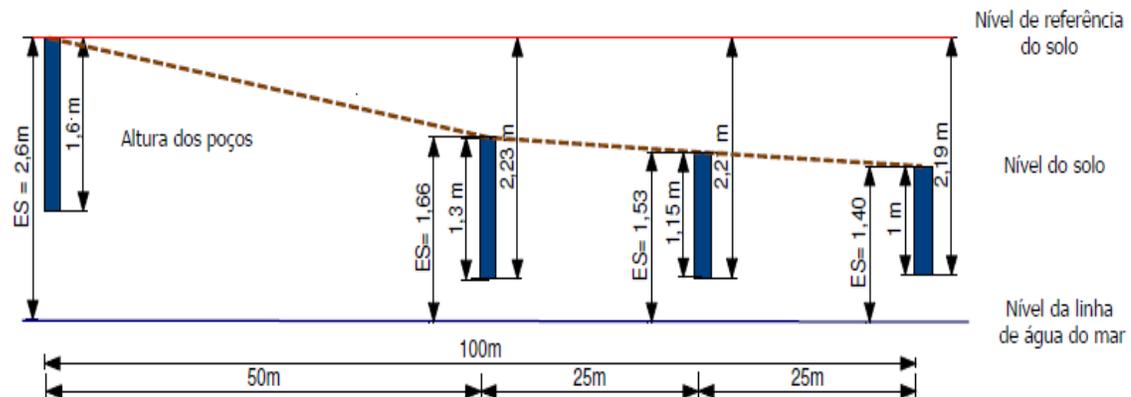


Figura 9 – Localização, altura e nivelamento dos poços.

4.2 OBTENÇÃO DE DADOS DO NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO

Para obtenção (leitura) dos dados do nível do lençol freático utilizou-se uma trena de fibra de vidro com graduação principal em centímetros e secundária em milímetros, com uma boia de isopor de diâmetro 20 mm, acoplada na ponta, a fim de garantir a leitura entre a boca do poço e a superfície livre da água dentro do mesmo. A trena foi inserida até tocar na superfície da água e a leitura realizada contra a borda do poço. Foi marcado um ponto de referência na borda superior do poço com o objetivo de padronizar as medidas. As Figuras 10 e 11 demonstram este processo.



Figura 10 - Leitura do nível freático.



Figura 11 - Detalhe da leitura do nível freático.

4.3 DETERMINAÇÃO DO PERFIL DE SALINIDADE

Para a coleta das amostras para determinação da salinidade foram utilizados os seguintes materiais:

- Bomba de vácuo;
- Tubo de PVC de 32 mm de diâmetro e de 1m de comprimento;
- Tubo de PVC de 40 mm de diâmetro e de 1m de comprimento;
- Mangueira de silicone de 2,5mm com 1,5m de comprimento.

A metodologia utilizada para amostragem de água para posterior determinação da salinidade foi a seguinte: primeiro fez-se um furo no solo com uma bomba de vácuo de PVC de 32 mm de diâmetro, após introduziu-se um tubo guia de 40 mm de diâmetro, para não ocorrer desmoronamento do solo, logo após era retirada a amostra tendo-se sempre o cuidado de fazer a coleta na mesma profundidade de um metro, a fim de padronizar as amostras. Na Figura 12 podemos ver as etapas deste procedimento. A seguir inseria-se a mangueira de silicone através do tubo guia coletando-se então uma amostra de água para determinação da salinidade. As amostras eram armazenadas em frascos de plástico para posterior análise no laboratório da EMA.

Todas as amostras foram retiradas mantendo-se uma distância de 5m entre elas, no trecho de praia compreendido entre a linha d'água e o cordão de dunas frontais, já nas dunas a distância foi de 10m. As perfurações nas dunas foram realizadas mantendo-se um número fixo de 5 amostras, porém no trecho compreendido entre a praia e o cordão de dunas o número de amostras variou conforme a posição da linha d'água no dia da coleta. Durante os 10 meses de coleta estes valores ficaram compreendidos entre 5 e 30 amostras.



Figura 12 - Esquema de coleta de salinidade. a) equipamentos utilizados; b) inserção da bomba de vácuo no solo; c) bomba de vácuo inserida do tubo guia; d) retirada de sedimentos e água do tubo guia; e) detalhe dos equipamentos inseridos no solo após a coleta.

Foi realizada coleta da água no lençol freático com a finalidade de se obter o gradiente de salinidade, sendo esta realizada em pontos sucessivos ao longo de transectos transversais a linha de costa. No total foram feitas 50 saídas de campo semanalmente, dentre elas 24 em regime intensivo, a amostragem foi feita com uma frequência intercalada de dois dias.

As medições de salinidade foram feitas no laboratório, localizado na Estação Marinha de Aquicultura da FURG. Para tanto se utilizou um refratômetro portátil manual, com escala de 0 a 100%, com compensação de temperatura. Com um conta-gotas, retira-se uma amostra de água e coloca-se no aparelho, logo após, lê-se o valor obtido no refratômetro.

4.4 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos da estação meteorológica da Praticagem, localizada na 4ª Secção da Barra do Rio Grande.

Os dados meteorológicos fornecidos foram obtidos diariamente e obedecendo a intervalos horários de registro. A direção dos ventos é registrada por quadrante enquanto que os demais dados são disponibilizados por valores, a precipitação registrada em milímetros, temperatura em graus centígrados, velocidade do vento e rajadas de vento em nós.

Para melhor entendimento do balanço hídrico e da variação do nível freático, Pereira da Silva (1998) e Serpa (2008) sugerem a utilização das taxas de evaporação ou evapotranspiração, as quais a Praticagem não disponibiliza. Neste caso foi utilizado o banco de dados da FURG mantido pela Estação Meteorológica Principal de Rio Grande que é operada pelo Laboratório de Meteorologia da FURG em convênio com o Oitavo Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia. Esta realiza a medição das variáveis meteorológicas três vezes ao dia, nos horários padrões de observação de 12h00min, 18h00min, 00h00min UTC (que correspondem a 09h00min, 15h00min e 21h00min hora local) desde março de 1989 até o presente momento. Estas medidas são coletadas e pré-processadas segundo as normas padrão da Organização Meteorológica Mundial e representam as condições meteorológicas que predominam no momento da observação no local onde está situada esta estação, a 32°04'43"S e 52°10'03"W, a 2 m de altitude. Os dados utilizados neste trabalho são: taxa de evaporação e total de horas de insolação solar direta.

Existe uma distinção entre ventos (ou rumos) reinantes e dominantes onde os ventos reinantes estão associados à noção de frequência máxima, enquanto que os dominantes estão referenciados à noção física de transferência da energia do vento para o ambiente. Este conceito considera que os efeitos que os corpos sofrem sob a ação dos ventos variam com o quadrado da velocidade (v), portanto o rumo dominante será aquele que

corresponder ao valor mais alto do somatório $\sum f_i v_i^2$, em que v_i é o valor médio da velocidade do escalão de ordem i e f_i é a frequência correspondente, evidentemente o rumo mais freqüente é aquele que corresponde o maior valor de $f (f = \sum f_i)$.

Foi utilizada a ferramenta Matlab para obter os ventos dominantes, que foram identificados diariamente, e com o resultado do vento dominante de cada dia, temos uma noção da influência que o mesmo tem sobre a costa.

4.5 DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (MÉTODO DE HAZEN)

Optou-se pela utilização do método de Hazen, pelo fato de estar descrito em Fetter (2001), livro em que foram baseados os cálculos dos fluxos subterrâneos, para tanto, a metodologia utilizada para análise sedimentológica foi baseada em SUGUIO (1973), sendo inicialmente extraídas as amostras de sedimento, adjacentes aos poços 1T, 2T, 3T e 4T, com trado manual (Figura 13), posteriormente acondicionadas em sacos plásticos e levadas para o laboratório. No laboratório as quatro amostras foram colocadas em bacias e lavadas com água até a total dessalinização, observada quando a água não continha mais espuma, método utilizado no laboratório de sedimentologia da Furg, demonstrado na Figura 14. Os excessos de água foram retirados manualmente, de forma cuidadosa a fim de não remover junto parcelas de argila, se presentes na amostra. Posteriormente as amostras foram levadas para secagem à estufa com temperatura aproximadamente de 60 °C.



Figura 13 - Detalhe de coleta de sedimento.



Figura 14 - Detalhe da lavagem do sedimento.

A análise granulométrica e a classificação dos sedimentos foram realizadas através de processo de peneiramento, utilizando a escala de Wentworth com intervalos de $\frac{1}{4}$ Phi (Figura 15). O material recuperado do becker relativo a fração grosseira foi levado para secagem em estufa até sua total desidratação e levado para pesagem em balança de precisão. O peso obtido representou o peso inicial dos sedimentos grosseiros. Os sedimentos retidos nas diferentes malhas foram recuperados em folha de papel almaço

com auxílio de pincel e pesados em balança de precisão. O peso registrado representa o percentual de sedimentos presentes na amostras, relativo ao tamanho do grão retido na peneira. Após passar por todas as peneiras, a amostra foi pesada novamente, este valor representa o peso final dos grosseiros. A Figura 16 mostra o detalhe de peneiramento.



Figura 15 – ¼ Phi.



Figura 16 – Detalhe do peneiramento.

Utilizou-se a ferramenta SYSGRAN versão 3.0, para obter as curvas de frequência acumulada das amostras analisadas. Estas curvas serão utilizadas para a determinação dos valores dos diâmetros correspondentes a cada uma das frações de frequência acumulada discretizadas na curva.

A condutividade hidráulica de sedimentos arenosos pode ser estimada pela curva de distribuição do tamanho do grão, utilizando-se o método de Hazen (1911), que se vale da fórmula $K = C(d_{10})^2$, onde o d_{10} é a fração de tamanho do grão correspondente à frequência acumulada de 10%. Com os valores de d_{84} e d_{16} pela fórmula $\sigma\phi = \frac{d_{84} - d_{16}}{2}$, (DEAN, 2004), obtemos a informação de que se trata de uma amostra 'bem classificada' de sedimentos, uma vez que segundo DEAN (2004) isto ocorre quando os valores de $\sigma\phi$ encontram-se $\sigma\phi \leq 0.5$.

Com o valor de d_{10} e com o valor 'C' que é um coeficiente baseado na granulometria do sedimento, onde para areia fina e pobremente classificada, o valor fica compreendido entre 40-80, optamos por $C=70$, foi calculado o valor da condutividade hidráulica das amostras 'K'.

4.6 METODOLOGIA DE CÁLCULO DOS FLUXOS SUBTERRÂNEOS

Para viabilizar a execução do cálculo dos fluxos subterrâneos foi necessária a determinação, através da medição 'in situ', do valor da carga hidráulica, da carga de pressão e a determinação da cota de elevação da superfície (ES).

O valor da cota de elevação da superfície foi obtido através da média de dois perfis de praia realizados no intervalo de um ano, foi definido como elevação da superfície o valor da cota correspondente à distância vertical entre o topo da estaca de referência (tubo metálico cravado no topo da duna mais alta do perfil) localizado ao lado do poço 1T e o nível da linha d'água (nível médio do mar). Nas Figuras 17 e 18 podemos ver os perfis realizados em 2010 e 2011, com as medidas de elevação de superfície correspondentes.

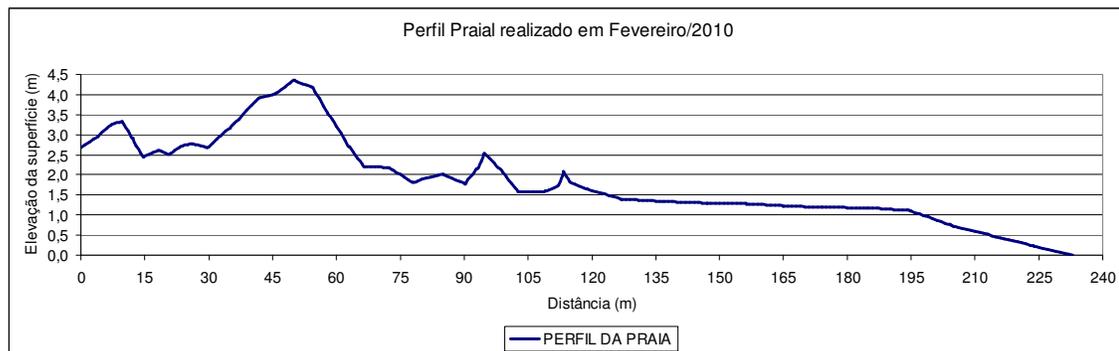


Figura 17 - Perfil praial, compreendido da estaca de ferro (poço 1T) no meio das dunas até a linha d'água, realizado em fevereiro de 2010.

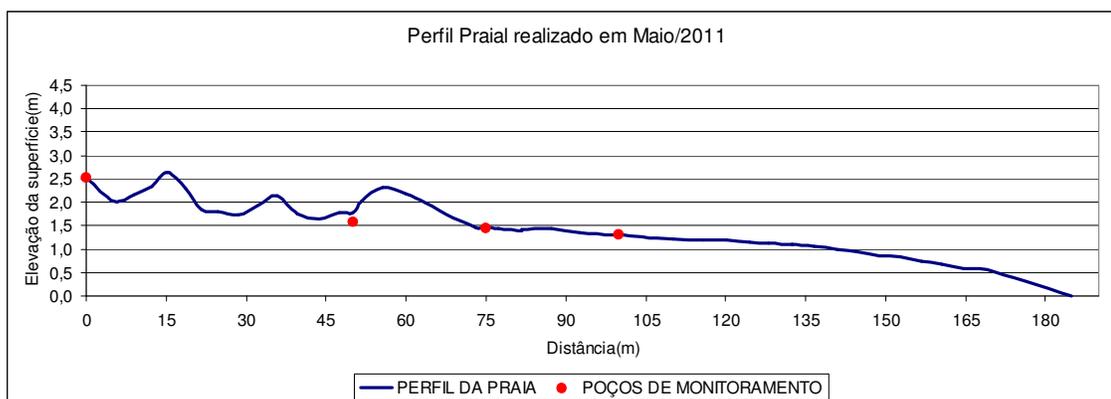


Figura 18 - Perfil praiado, compreendido da estaca de ferro (poço 1T) no meio das dunas até a linha d'água, realizado em maio de 2011.

A carga hidráulica pode ser obtida de duas formas diferentes:

a) Usando-se a relação, $h = ES - D_w$ onde 'h' é a carga hidráulica, 'ES' a elevação da superfície e 'D_w' a leitura do nível do poço.

ou então:

b) Usando a relação $h = z + h_p$ onde 'z' é a carga de elevação e 'h_p' a carga de pressão.

A carga de pressão é definida como sendo $h_p = l - D_w$, onde 'l' é o comprimento total do poço e 'D_w' o nível da água medido no poço.

A carga de elevação tanto pode ser definida através da relação $z = h - h_p$, como pela relação $z = ES - l$.

Onde,

h é a carga hidráulica;

h_p é a carga de pressão;

z é a carga de elevação;

l é o comprimento do poço de monitoramento, e

ES é a superfície de elevação, que é a referência de posição até a linha d'água.

Todas as relações acima descritas podem ser melhor visualizadas graficamente através do desenho apresentado na Figura 19.

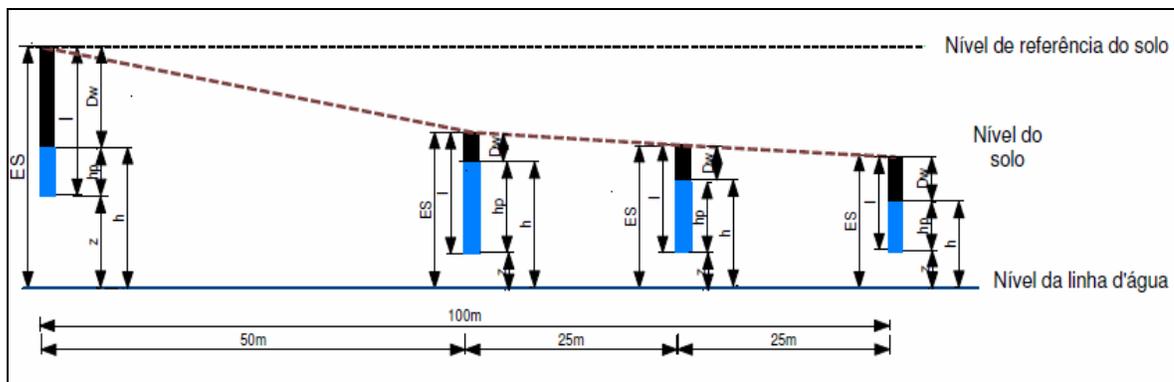


Figura 19 - Esquema demonstrativo das cargas hidráulicas, de pressão e de elevação.

Para a obtenção do valor de K (condutividade hidráulica) foi utilizada a fórmula $K = C(d_{10})^2$ onde $d_{10} = 2^{-\phi}$ é o diâmetro correspondente à posição de 10% da curva de distribuição da amostra e ϕ é o valor correspondente ao tamanho da malha da peneira.

Para o cálculo do fluxo entre os poços, foi utilizado o valor médio de d_{10} obtido das amostras coletadas. As equações utilizadas para o cálculo do fluxo subterrâneo freático são parte da teoria desenvolvida por Dupuit (1863) apud Fetter (2001) e foram utilizadas para o cálculo do fluxo considerando-se uma condição de fluxo constante em um aquífero livre:

$$q' = \frac{1}{2} K \left(\frac{h_1^2 - h_2^2}{L} \right) \quad \text{Expressa em } \text{m}^3 \cdot (\text{dia} \cdot \text{m})^{-1}$$

Onde, q' é o fluxo por unidade de comprimento ($\text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$);

K é a condutividade hidráulica ($\text{m} \cdot \text{dia}^{-1}$);

h_1 é a carga hidráulica de origem (m);

h_2 é a carga hidráulica a uma distância L da origem (m), e

L é a distância entre os poços (m).

Com o auxílio da equação acima, foram calculados os fluxos subterrâneos para as 36 observações feitas durante as saídas de campo, compreendidas entre os meses de junho a dezembro de 2010. Os cálculos totalizaram 173 diferentes valores de fluxos ocorridos neste período entre os poços instalados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 NÍVEL DOS POÇOS FREÁTICOS E SALINIDADE

Foram realizadas medições do nível do lençol freático nos seis poços de monitoramento instalados nas dunas primárias e na face da praia. No total foram obtidas trinta e seis medições de nível entre os meses de junho e dezembro de 2010.

A Tabela 1, mostra os dados obtidos e referenciados à cota do poço 1T.

Tabela 1 - Dados do nível do lençol freático em metros

POÇOS	Profundidade (m)						
	1T	2T	3T	4T	1L	2L	3L
18/jun	1,086	1,268	1,447	1,547	1,251	1,268	1,281
27/jun	1,116	1,336	1,533	1,764	1,329	1,336	1,349
29/jun	1,146	1,436	1,631	1,852	1,423	1,436	1,449
1/jul	1,186	1,462	1,659	1,880	1,449	1,462	1,475
3/jul	1,216	1,490	1,689	1,904	1,477	1,490	1,521
5/jul	1,236	1,512	1,707	1,928	1,493	1,512	1,537
7/jul	1,258	1,526	1,717	1,920	1,521	1,526	1,557
9/jul	1,288	1,560	1,757	1,950	1,547	1,560	1,575
11/jul	1,296	1,572	1,759	1,956	1,563	1,572	1,589
13/jul	1,278	1,490	1,629	1,782	1,477	1,490	1,495
15/jul	1,302	1,494	1,599	1,690	1,487	1,494	1,505
20/jul	0,912	1,256	1,241	1,658	1,057	1,256	1,107
22/jul	0,702	0,934	1,129	1,410	0,839	0,934	0,777
26/jul	0,566	0,974	1,315	1,624	0,933	0,974	0,947
29/jul	0,654	1,094	1,389	1,666	1,061	1,094	1,119
1/ago	0,690	1,090	1,359	1,616	1,043	1,090	1,075
3/ago	0,758	1,140	1,353	1,556	1,107	1,140	1,141
5/ago	0,802	1,180	1,433	1,672	1,155	1,180	1,193
7/ago	0,850	1,230	1,483	1,746	1,211	1,230	1,239
9/ago	0,896	1,272	1,525	1,766	1,259	1,272	1,277
11/ago	0,924	1,286	1,529	1,770	1,277	1,286	1,313
14/ago	0,938	1,086	sem dados	Sem dados	1,087	1,086	1,097
16/ago	0,964	1,236	1,427	1,518	1,211	1,236	1,233
18/ago	1,000	1,306	1,537	1,792	1,295	1,306	1,319
20/ago	1,032	1,366	1,595	1,822	1,357	1,366	1,367
29/ago	1,170	1,478	1,669	1,846	1,465	1,478	1,497
7/set	0,944	1,292	1,529	1,756	1,261	1,292	1,297
15/set	0,780	1,090	1,293	1,466	1,047	1,090	1,107
24/set	1,014	1,350	1,569	1,784	1,329	1,350	1,361
30/set	1,100	1,418	1,663	1,898	1,423	1,418	1,447
13/out	1,206	sem dados	1,703	1,918	sem dados	sem dados	1,499
25/out	1,320	1,550	1,703	1,840	1,555	1,550	1,563
23/Nov	1,458	1,628	1,737	1,888	1,629	1,628	1,643
29/Nov	1,432	1,658	1,767	1,894	1,667	1,658	1,677
5/dez	1,526	1,708	1,845	1,922	1,663	1,708	1,737
19/dez	1,514	1,656	1,735	1,852	1,663	1,656	1,671

As figuras 20 e 21 mostram a variação da altura do lençol freático nos poços de monitoramento. Quatro poços transversais à linha de costa (1T, 2T, 3T e 4T) e três paralelos a mesma (1L, 2L e 3L), sendo que 2T e 2L são referências do mesmo poço.

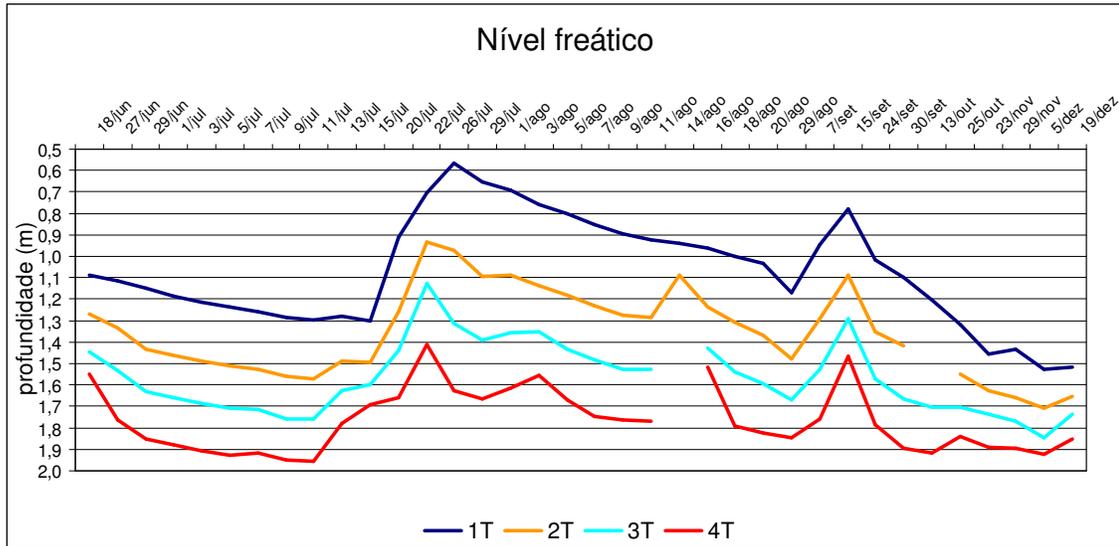


Figura 20 - Nível do lençol freático dos poços transversais à linha de costa.

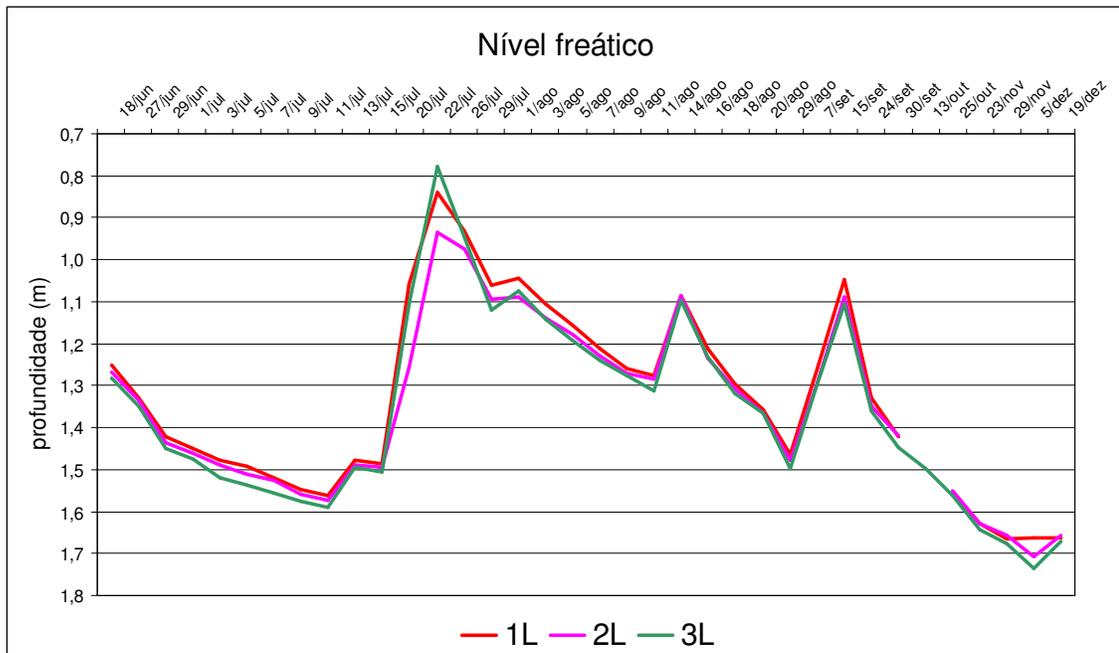


Figura 21 - Nível do lençol freático dos poços paralelos à linha de costa.

Foram registrados 14 eventos de aumento do nível dos poços, dentre esses, em apenas três casos ocorreu diminuição da salinidade. Estes fatos estiveram associados a dias consecutivos de chuva e aumento gradativo do nível dos poços fixos, a uma alta precipitação, em torno de 40 mm, na semana antecedente até a data da leitura dos poços e mais de 80 mm nos 15 dias antecedentes. Na maioria dos casos não ocorreu tendência de acréscimo ou decréscimo dos valores, ocorreram sete eventos que houve aumento em alguns pontos e diminuição em outros, porém não ocorreu um aumento uniforme em todos os pontos de coleta.

Durante os trabalhos de campo observou-se que a maior distância encontrada entre a posição da linha d'água e o marco de referência (estaca de ferro) foi de 180 m e a menor distância foi de 120 m. Portanto a linha d'água variou de uma posição mais baixa (180 m) a uma posição mais alta (120 m) dando origem a uma faixa úmida de 60 m, denominado como estuário subterrâneo, que correspondeu à máxima variabilidade da posição da linha d'água sobre a face da praia observada durante este trabalho. Diante desta observação e para efeito exclusivo deste trabalho decidiu-se tomar como referência zero para as excursões da linha d'água sobre a face da praia a posição de praia mais baixa anteriormente citada, ou seja, 180 m a partir do marco de referência (estaca de ferro), conforme pode ser melhor entendido observando-se a Figura 6.

No dia 7 de julho de 2010 somente o poço 4T aumentou o nível, o mar estava a 35 m acima da referência e a precipitação da última semana foi de apenas 2 mm. Ocorreu aumento de salinidade em 8 pontos diferentes, diminuição em 9 e em 5 pontos os valores se mantiveram iguais.

No dia 13 de julho de 2010 todos os poços aumentaram de nível, o mar estava a 35 m acima da referência e a precipitação da última semana foi de 15,2 mm. Ocorreu aumento de salinidade em 18 pontos diferentes, diminuição em 2 e em 2 pontos os valores se mantiveram iguais.

No dia 15 de julho de 2010 somente os poços 3T e 4T aumentaram o nível, o mar estava a 45 m acima do referencial e a precipitação da última semana foi de 15,2mm. Ocorreu aumento de salinidade em 6 pontos diferentes, diminuição em 4 e em 10 pontos os valores se mantiveram iguais.

No dia 20 de julho de 2010 todos os poços aumentaram o nível, o mar estava no referencial (180 m da estaca de ferro) e a precipitação da última semana foi de 57,4mm. Ocorreu aumento de salinidade em 17 pontos diferentes e diminuição em 3 pontos.

No dia 22 de julho de 2010 todos os poços aumentaram o nível, o mar estava a 40 m acima da referência e a precipitação da última semana foi de 94 mm. Ocorreu aumento de salinidade em 4 pontos diferentes, diminuição em 14 e em 2 pontos os valores se mantiveram iguais.

No dia 26 de julho de 2010 somente o poço 1T aumentou de nível, o mar estava a 30 m acima da referência e a precipitação da última semana foi de 82,6mm. Ocorreu aumento de salinidade em 5 pontos diferentes, diminuição em 13 e em 2 pontos os valores se mantiveram iguais.

No dia 1° de agosto de 2010 os poços 2T, 3T, 4T, 1L e 2L aumentaram o nível, o mar estava a 40 m acima do referencial e a precipitação da última semana foi de 31,6mm. Ocorreu aumento de salinidade em 10 pontos diferentes, diminuição em 3 e em 8 pontos os valores se mantiveram iguais.

No dia 3 de agosto de 2010 os poços 3T e 4T aumentaram o nível, o mar estava a 50 m acima do referencial e a precipitação da última semana foi de 16mm. Ocorreu aumento de salinidade em 6 pontos diferentes, diminuição em 5 e em 8 pontos os valores se mantiveram iguais.

No dia 14 de agosto de 2010 os poços 2T, 1L e 2L aumentaram o nível, o mar estava aproximadamente a 65 m acima da referência e a precipitação da última semana foi de 7,6mm. Não foi possível comparar os valores de salinidade, pois não foram coletadas amostras, em virtude de uma frente fria, em que o mar avançou até o cordão de dunas, ocorrendo acúmulo de lama que impossibilitou a retirada de amostras.

No dia 7 de setembro de 2010 todos os poços aumentaram o nível, o mar estava a 30 m acima do referencial e a precipitação da última semana foi de 38,8mm. Ocorreu aumento de salinidade em 9 pontos diferentes, diminuição em 8 e em 4 pontos os valores se mantiveram iguais.

No dia 15 de setembro de 2010 todos os poços aumentaram o nível, o mar estava a 55 m acima da referência e a precipitação da última semana foi

de 43,8mm. Ocorreu aumento de salinidade em 2 pontos diferentes, diminuição em 15 e em 1 ponto o valor se manteve igual.

No dia 25 de outubro de 2010 somente o poço 4T aumentou o nível, o mar estava a 35 m acima da referência e não houve precipitação na semana precedente. Ocorreu aumento de salinidade em 4 pontos diferentes, diminuição em 9 e em 9 pontos os valores se mantiveram iguais.

No dia 29 de novembro de 2010 somente o poço 1T aumentou o nível, o mar estava a 35 m acima do referencial e a precipitação da última semana foi de 4,2mm. Ocorreu aumento de salinidade em 14 pontos diferentes, diminuição em 2 e em 6 pontos os valores se mantiveram iguais.

No dia 9 de dezembro de 2010 todos os poços aumentaram o nível, o mar estava a 15 m acima do referencial e a precipitação da última semana foi de 3,8mm. Ocorreu aumento de salinidade em 7 pontos diferentes, diminuição em 9 e em 5 pontos os valores se mantiveram iguais.

É bastante provável que em aquíferos de profundidade maior que o freático a penetração da cunha salina subterrânea ocorra de forma mais evidente como foi demonstrado por Windom & Niencheski (2003) em estudo conduzido na Barreira do Estreito-RS, quando ficou evidente que com o aumento da profundidade aumentava também a salinidade conforme pode ser visto na Figura 22, a seguir. Entretanto, como as nossas pesquisas se limitaram ao lençol freático raso não foi possível observar a ocorrência deste fenômeno com clareza.

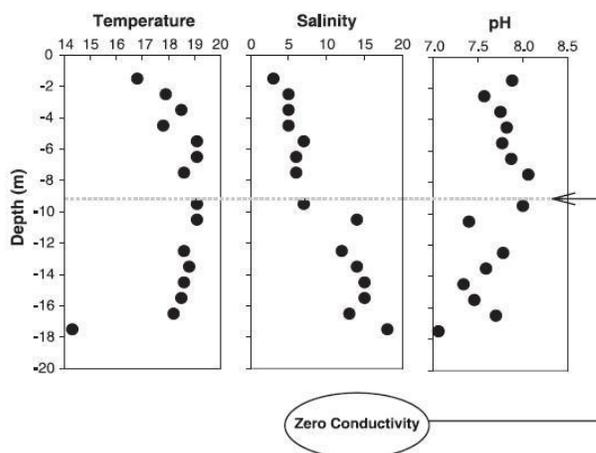


Figura 22 - Salinidade, temperatura e ph .Fonte:(Windom & Niencheski (2003).

Com base nos motivos anteriormente expostos é de se esperar que exista uma correlação direta entre o nível da água nos poços de monitoramento, a variação do nível do mar e o grau de salinidade no lençol freático. Entretanto nem todas as variações positivas de nível nos poços foram capazes de produzir variações negativas no valor da salinidade.

Observando-se os 14 eventos registrados nos quais o nível dos poços aumentou verificou-se que destes em apenas três momentos ocorreu uma sensível diminuição nos valores da salinidade (22/07/2010; 26/07/2010 e 15/09/2010) e estes três eventos tiveram em comum o fato de que os níveis de precipitação excederam os 40 mm acumulados na semana que antecedeu as coletas até o dia do registro.

Examinando a Figura 23 fica claro que a queda na salinidade (conforme as datas registradas no parágrafo anterior) acompanha os maiores picos de elevação dos níveis freáticos que por sua vez estão associados a elevados níveis de precipitação (Figura 47), fato este que sugere fortemente que as variações da salinidade da água subterrânea na face da praia aparentam ser mais dependentes dos fluxos de água doce continental do que propriamente das variações do nível do mar.

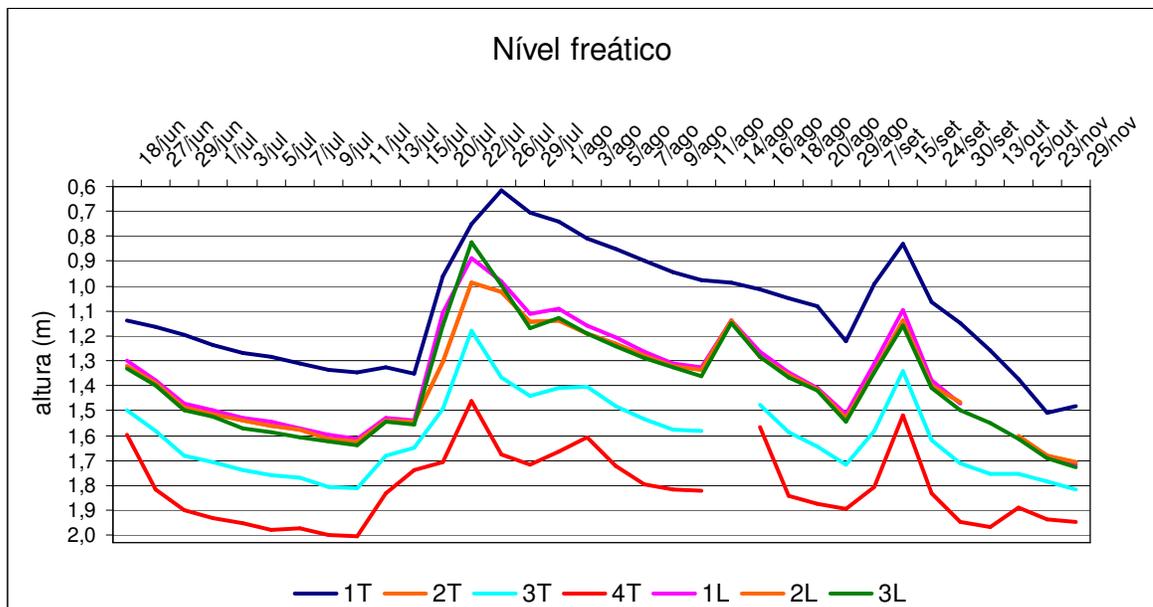


Figura 23 - Nível do lençol freático nos 6 poços de monitoramento.

Com base nas observações realizadas parece evidente que o comportamento da distribuição da salinidade no perfil transversal da praia não varia diretamente com a mudança das estações e sim é uma função direta dos eventos meteorológicos locais que podem ocorrer em qualquer uma das estações do ano com maior ou menor freqüência. Isto pode ser deduzido do fato que as variações de valores da salinidade ao longo das quatro estações nunca assumiram valores tão significativos que pudessem se tornar características desta ou daquela estação, conforme pode ser visto nas Figuras 24, 25, 26 e 27.

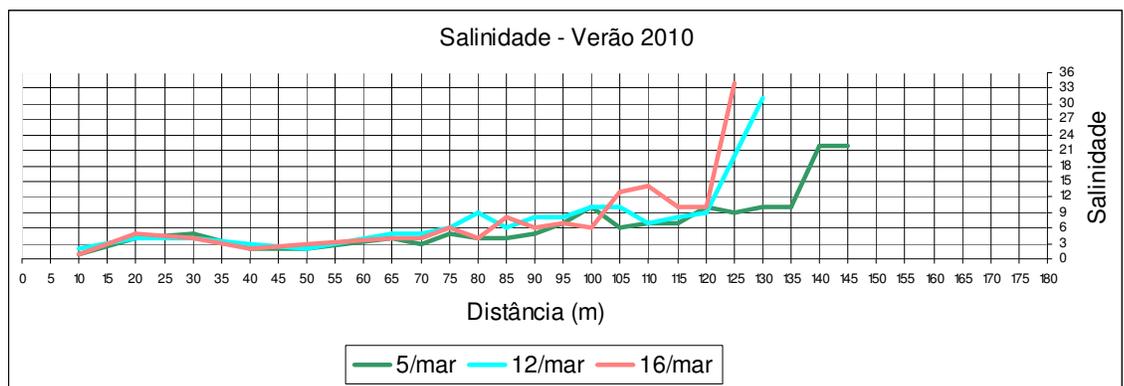


Figura 24 - Perfil salino do verão.

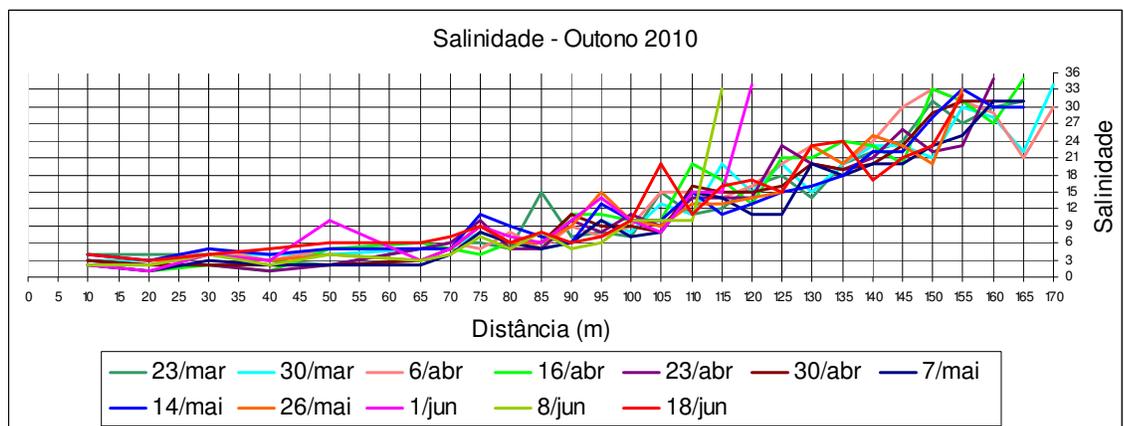


Figura 25 - Perfil salino do outono.

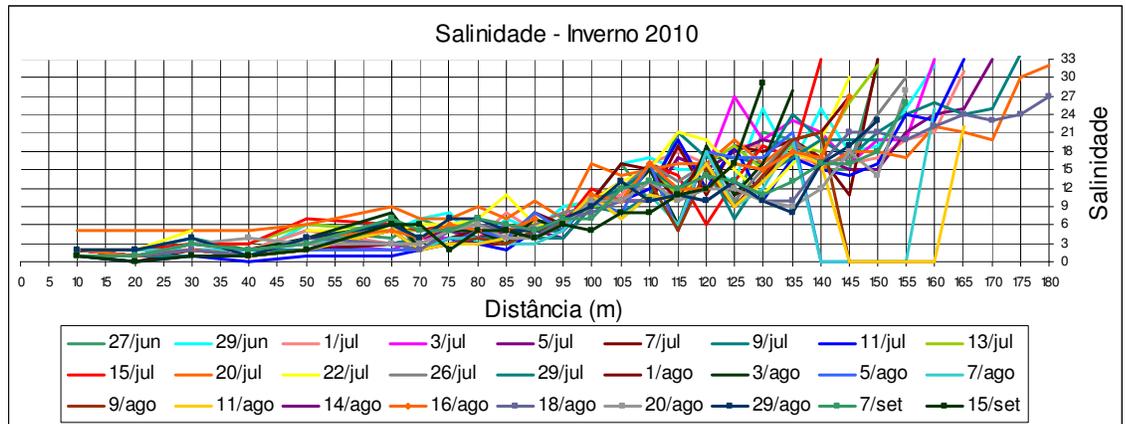


Figura 26 - Perfil salino do inverno.

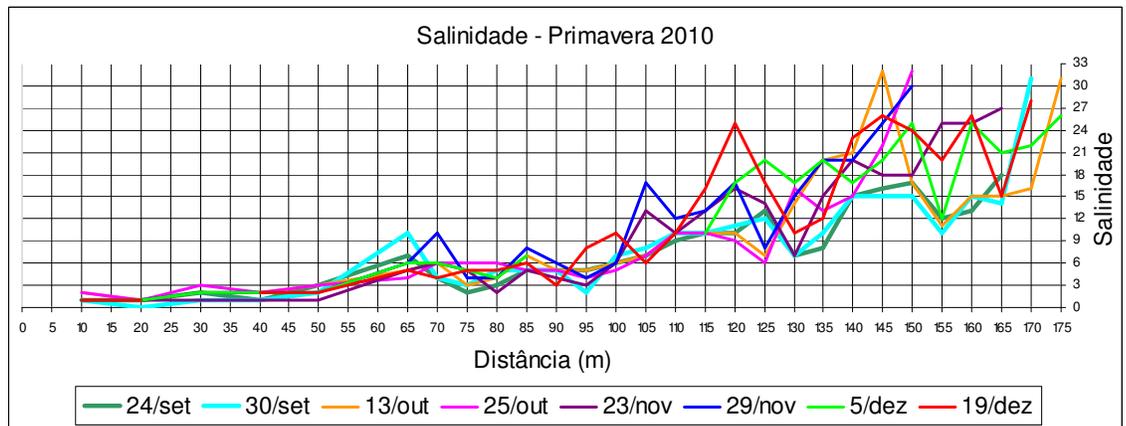


Figura 27 - Perfil salino da primavera.

Pode ser observado que há uma zona de maior declividade no gradiente de sal que vai da linha d'água até uma distância de aproximadamente 90 a 100 m desta em direção a linha de dunas, o que denota a existência neste trecho de uma baixa mistura da cunha salina com o lençol freático de origem continental. Isto sugere que neste segmento da praia ocorre intrusão salina que é o predomínio da água de origem marinha dentro do lençol freático.

No trecho seguinte que vai do ponto acima observado até a linha de dunas primárias e que tem aproximadamente 90 m de comprimento, foi observada uma acentuada diminuição no gradiente de salinidade sugerindo uma forte mistura da água doce proveniente do continente provocando uma distribuição mais homogênea do sal nesta parte do aquífero.

Observou-se também que durante períodos de baixa precipitação pluviométrica e baixo nível do mar, os valores do gradiente salino crescem em direção a praia chegando muito próximo dos valores encontrados para a água do mar. Quando ocorre o contrário, nível elevado do mar acompanhado de elevada precipitação praticamente desaparece o gradiente de sal no lençol freático raso, permanecendo a face da praia ocupada por um bolsão de água subterrânea com grande homogeneidade na mistura.

Examinando as Figuras 28 e 29, podemos observar que no lado do continente temos um fluxo subterrâneo de água doce induzido pelas precipitações de chuva enquanto que do lado do mar temos um fluxo subterrâneo de água salgada induzido pela pressão hidrostática da água do mar. Trabalhos anteriores (Niencheski, 2007) têm demonstrado que o fluxo continental (mais leve) se adianta em direção ao mar pela superfície enquanto que o fluxo marinho (mais pesado) avança em direção ao continente ocupando os aquíferos mais profundos.

Quando temos uma condição de nível elevado do mar (geralmente durante a passagem de frentes frias) a água marinha se aproxima muito da região ocupada pelo freático continental doce (geralmente magnificado pelo aumento das precipitações que acompanham a entrada destas frentes frias), conforme representado na Figura 28, fazendo com que a faixa de mistura (nas porções mais rasas do solo) seja muito pequena e, portanto facilitando a homogeneização do sal nesta região. Isto talvez explique, pelo menos em parte, o baixo gradiente salino encontrado nestes casos.

Por outro lado, quando temos uma condição de nível baixo do mar (geralmente combinado com baixos níveis de precipitação) a água marinha fica mais distante da região ocupada pelo freático continental doce (geralmente bem mais reduzido também, face às baixas precipitações), esta situação acaba fazendo com que a faixa de mistura (nas porções mais rasas do solo) aumente de forma significativa, como pode ser visto na Figura 29, dificultando bastante a distribuição do sal na região e, portanto dando origem a um gradiente salino bem mais acentuado e com valores de sal muito próximos dos valores da água na costa, indicando a ocorrência de intrusão salina.

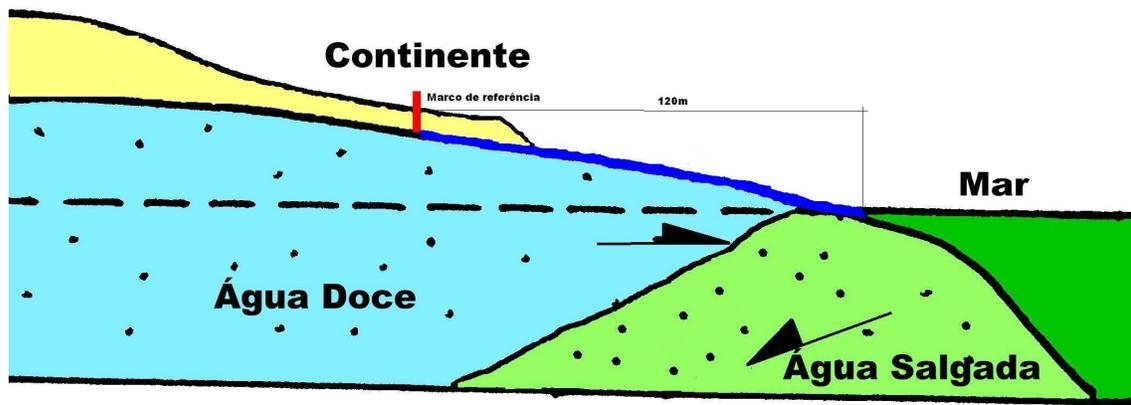


Figura 28 - Praia com o nível do mar elevado.

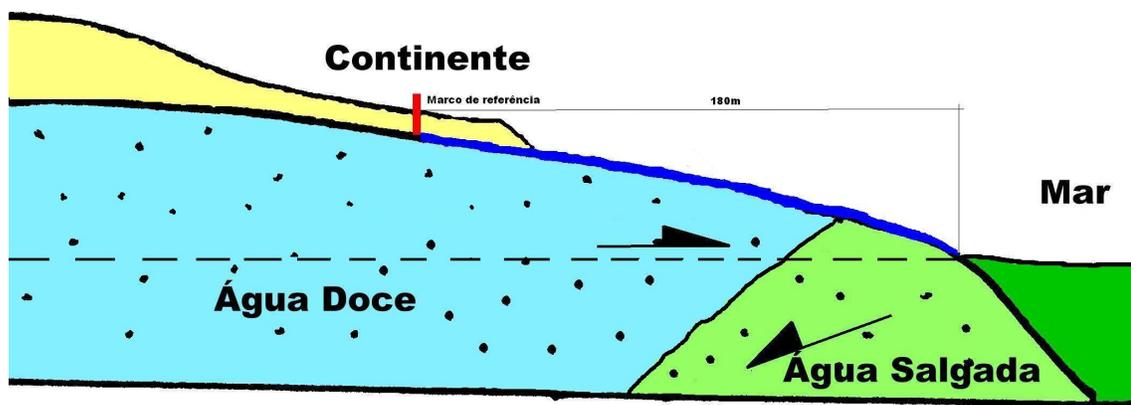


Figura 29 - Praia com o nível do mar baixo.

A Tabela constante no anexo 1 relaciona os valores da salinidade por transecto e por dia de coleta, as distâncias entre os pontos de coleta foram tomadas a partir do marco inicial localizado no meio das dunas, conforme mostrado na Figura 6. Do ponto um ao seis, a distância entre pontos se mantém fixa no valor de 10 m, a partir do ponto seis, que se localiza no alinhamento do cordão de dunas, a distância entre os pontos amostrais passa a ser de 5m, até alcançar a linha d'água.

As Figuras 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 e 39 mostram a variação transversal da salinidade, apresentada mensalmente e registrada entre março e dezembro de 2010.

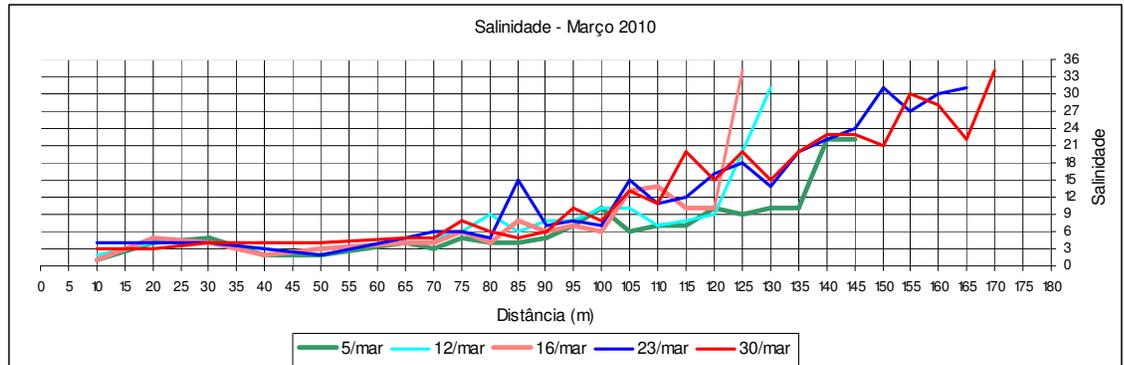


Figura 30 - Salinidade mês de março.

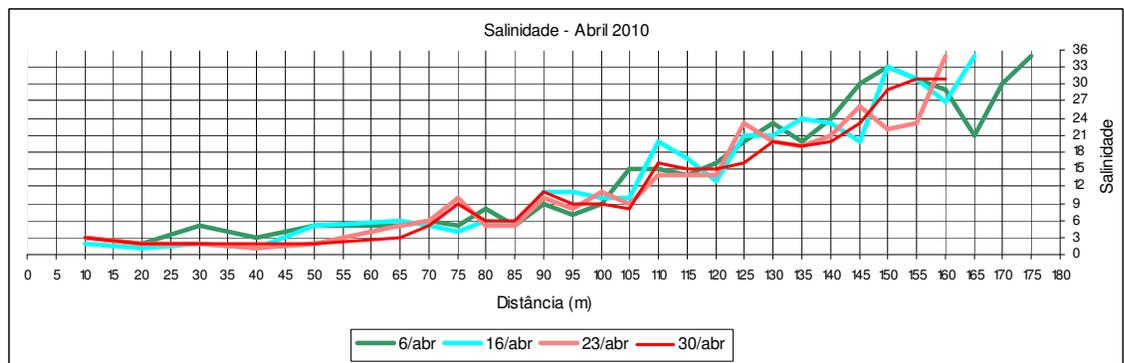


Figura 31 - Salinidade mês de abril.

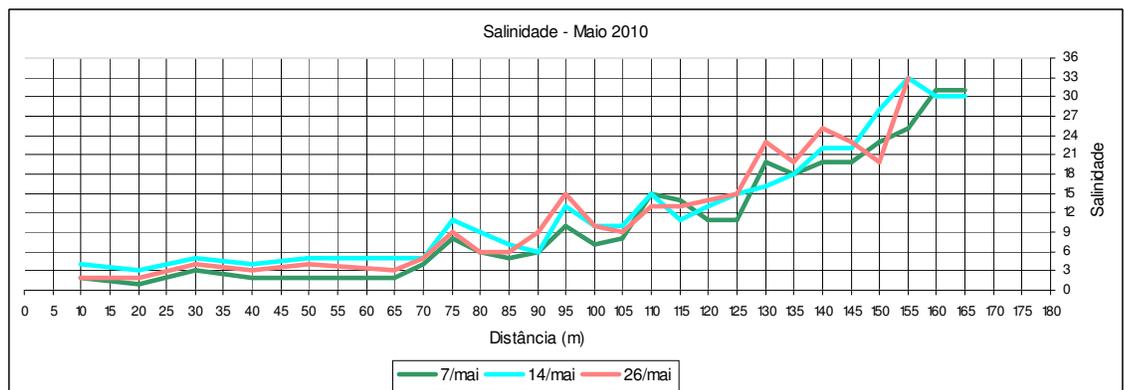


Figura 32 - Salinidade mês de maio.

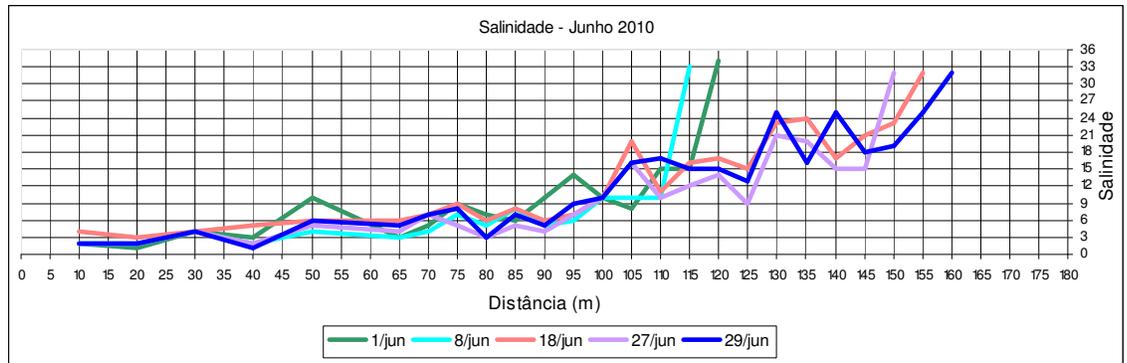


Figura 33 - Salinidade mês de junho.

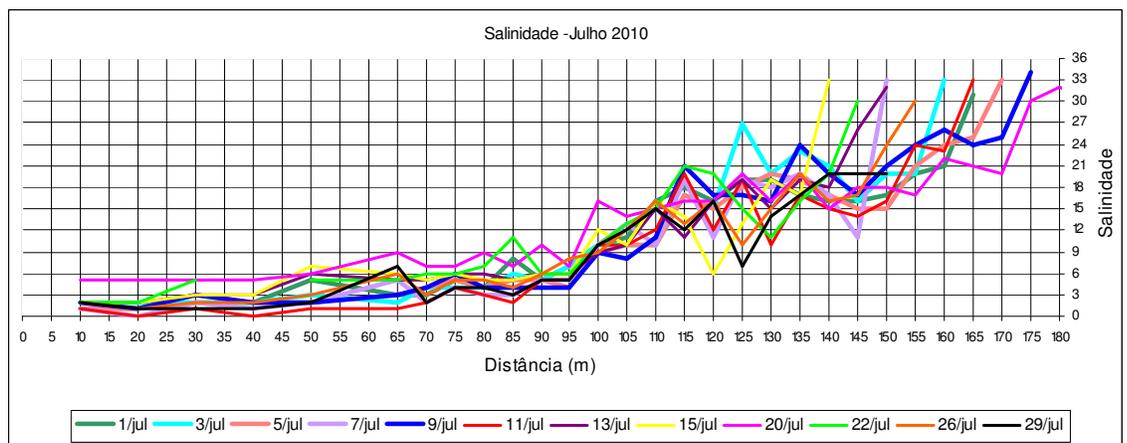


Figura 34 - Salinidade mês de julho.

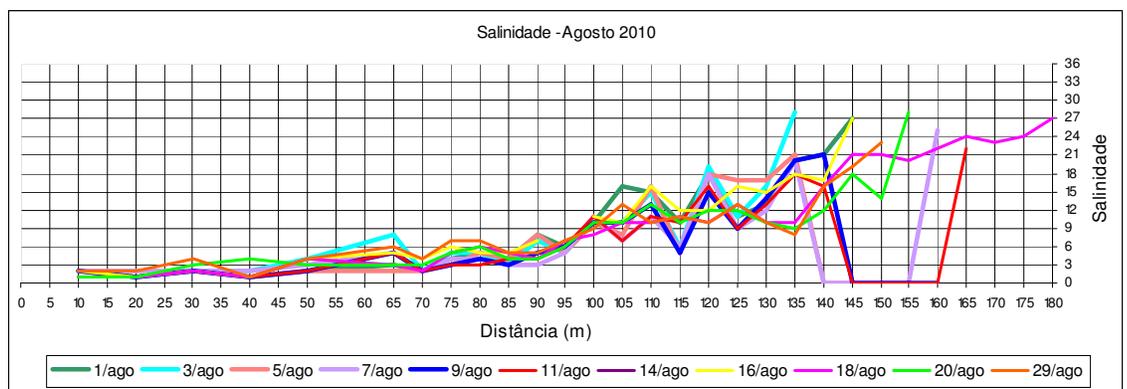


Figura 35 - Salinidade mês de agosto.

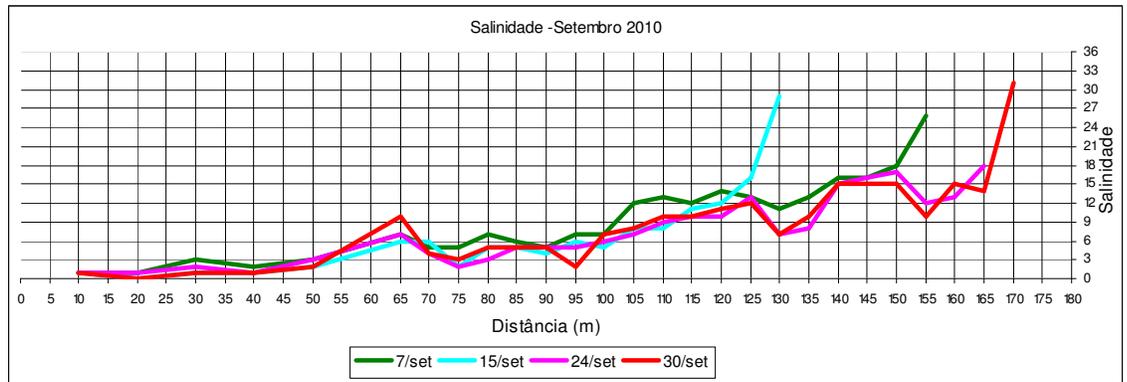


Figura 36 - Salinidade mês de setembro.

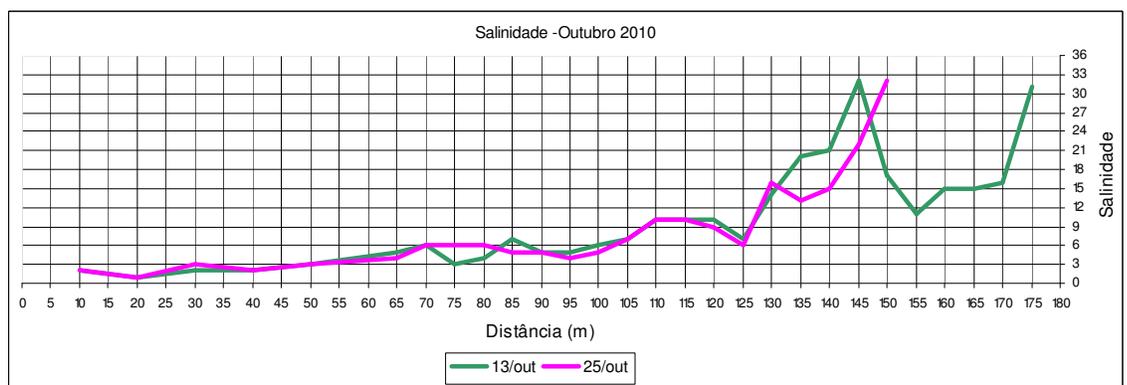


Figura 37 - Salinidade mês de outubro.

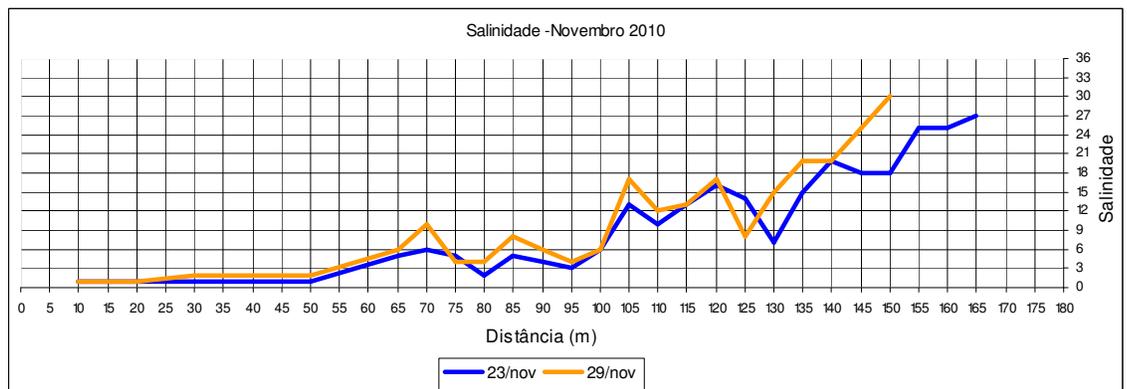


Figura 38 - Salinidade mês de novembro.

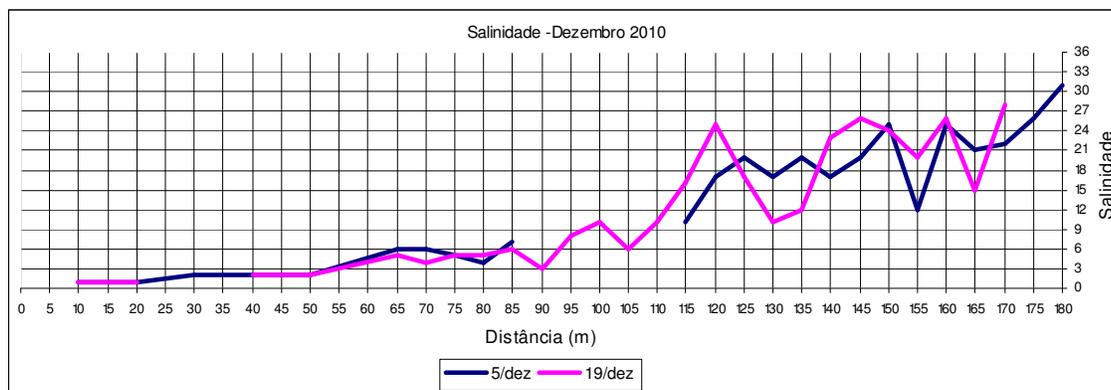


Figura 39 - Salinidade mês de dezembro.

Durante a realização dos trabalhos de campo observou-se a ocorrência de dias em que a salinidade da água no mar apresentava-se muito baixa, especificamente os dias 29/jul, 07/ago, 11/ago, 29/ago e 24/set.

No dia 29 julho a salinidade do mar estava 20, com a distância de 35m acima do referencial estipulado em 180m. Os valores ao longo do perfil modificaram pouco, mas houve uma tendência de decréscimo, que variaram de 1 a 3 unidades. A precipitação na última semana foi de aproximadamente 30 mm, porém nos últimos 15 dias excedeu de 120 mm. Os ventos predominantes na última semana foram do quadrante W.

Em 7 de agosto a salinidade do mar foi de 25 com 25m de distância acima da referência de mar baixo. Os valores de salinidade não se modificaram muito ao longo do perfil, alguns diminuíram outros aumentaram ficando na média, porém os valores se modificaram em torno de uma unidade. Não houve precipitação na última semana e nos últimos 15 dias foi mais de 30 mm. Os ventos predominantes foram do quadrante S, porém teve algum vento na direção ENE.

No dia 11 de agosto a salinidade do mar foi 22, e a distância 20m acima. A maioria dos valores não se alterou, alguns diminuíram variando de 1 a 4 unidades. Não houve precipitação significativa na última semana e nos últimos 15 dias foi de aproximadamente 12 mm. Os ventos predominantes foram variados em torno do quadrante S (SSW, ESSE, SE) E N (NE, ENE).

No dia 29 de agosto a salinidade do mar estava 23 e a distância era de 35m. A maioria dos valores aumentou em torno de 1 a 4 unidades. Não houve precipitação significativa na última semana e nos últimos 15 dias não excedeu 10mm. Os ventos predominantes foram do quadrante N (N, NE).

Em 24 de setembro a salinidade do mar foi de 18 com distância de 20m da referência. Os valores ficaram misturados, alguns aumentaram e outros diminuíram, não seguiu uma tendência. Não teve precipitação na última semana e nos últimos 15 dias excedeu de 40 mm. Os ventos predominantes foram do quadrante N(NE, NNE) e S (SE, ESE).

É provável que ocorra este decréscimo de salinidade pela pluma da Lagos dos Patos, pelo local de estudo ser bem próximo da descarga da Lagoa, podendo modificar os valores da salinidade. Como podemos verificar, este fato pode ocorrer, pois nestes dias que ocorreram esta baixa de salinidade do mar, os ventos predominantes dos dias anteriores, em grande parte foram do quadrante Norte e Nordeste, levando então a descarga de água doce ao quadrante Sul, ocasionando em uma salinidade do mar mais baixa do que normalmente encontramos.

5.2 FRENTES FRIAS

A importância da passagem de frentes frias, para a realização deste trabalho, prende-se ao fato de que estas frentes estão associadas à ocorrência de marés meteorológicas, principais responsáveis pela elevação do nível do mar nesta região. Esta variação de nível implica diretamente nas relações de salinidade e de fluxo no lençol freático praial.

Durante o período de coletas foi observada a passagem de pelo menos onze frentes frias. Com base na literatura (Rodrigues, 2004) convencionou-se que frentes frias, para o domínio deste trabalho serão caracterizadas pela mudança da direção dos ventos, a ocorrência de ventos dominantes de SW e

SE, com velocidades maiores que 20 km.h^{-1} , com diminuição da temperatura, e na maioria dos casos acompanhados por precipitação abundante.

Na Tabela 2, podem ser vistas todas as frentes frias observadas durante o período de realização das coletas de dados para este estudo.

Tabela 2- Frentes frias encontradas no período de estudo.

<i>Dia</i>	<i>Direção Dominante</i>	<i>Média das velocidades (km)</i>	<i>Distância dunas-mar</i>	<i>Precipitação acumulada desde a última coleta</i>	<i>Temperatura média do dia</i>
MARÇO					
11	WSW	24,6			24,3
12	WSW	18,1	60,0	33,6	21,9
15	WSW	20,0			20,4
16	SSE	20,9	55,0	1,4	19,0
ABRIL					
3	SSE	42,6			22,8
4	S	32,9			20,4
5	SSE	34,4			20,5
6	SE	30,9	105,0	9,2	20,0
MAIO					
30	SW	40,5			17,1
31	WSW	24,4			13,3
JUNHO					
1	WSW	12,8	50,0	4,8	13,6
JULHO					
12	WSW	24,2			12,8
13	W	31,6	80,0	15,2	7,5
21	S	24,1			12,0
22	WSW	16,5	75,0	36,6	10,2
AGOSTO					
1	WSW	20,9	75,0	10,4	8,9
2	WSW	15,7			7,4
3	SSW	26,5	65,0	0,0	7,3
13	SW	41,1			12,5
14	SSW	30,0	0,0	6,6	10,2
15	SSW	20,9			10,5
SETEMBRO					
14	W	48,8			16,3
15	W	22,2	60,0	44,0	15,4
OUTUBRO					
23	S	25,3			16,1
24	SE	16,1			15,9
25	S	21,5	80,0	2,6	16,9
NOVEMBRO					
28	SSE	23,9			20,3
29	S	19,6	80,0	4,2	18,2

Conforme pode ser observado, a primeira frente fria ocorreu no dia 12 de março, após sua passagem o mar encontrava-se a uma distância de 55 m acima da nossa referência e a salinidade se apresentou uniforme ao longo de toda a extensão da praia indicando um gradiente salino baixo, enquanto que a precipitação durante a semana precedente foi da ordem de 33,6 mm.

No dia 16 de março o mar estava a 60 m acima do referencial, gradiente de salinidade baixo com pequenas elevações nos pontos próximos à linha de praia. A precipitação na semana precedente foi de 1,4 mm.

No dia 6 de abril, a linha d'água encontrava-se a 10m acima do referencial. Foi observada a presença de um gradiente de salinidade bem definido, enquanto que a precipitação na semana precedente foi de 9,2 mm.

No dia 1º de junho o mar ficou 65 m acima da nossa referência, os valores de salinidade ao longo do perfil praiial mantiveram-se muito próximos da salinidade da água do mar sugerindo uma distribuição bastante homogênea. A precipitação ocorrida na semana precedente foi de 4,8 mm.

No dia 13 de julho, o mar estava a 35 m acima do referencial. O gradiente de salinidade apresentou-se definido e a precipitação na semana precedente foi de 16,6 mm, sendo que nos últimos dois dias foi de 15,2 mm.

No dia 22 de julho, a linha d'água encontrava-se a 40 m acima da referência. O gradiente de salinidade apresentou variabilidade ao longo do perfil com valores mais altos e outros mais baixo não seguindo um comportamento uniforme. A precipitação na semana antecedente foi de 94 mm, sendo que nos últimos dois dias choveu 36,6 mm.

No dia 3 de agosto, o mar chegou a uma distância de 50 m acima da referência. Não houve registro de precipitação na semana antecedente. O gradiente de salinidade apresentou maiores valores junto à linha d'água e maior mistura nos pontos mais próximos das dunas.

No dia 14 de agosto, o mar estava bem alto, aproximadamente 75 m acima do referencial, sendo o mar mais alto encontrado nas saídas de campo, porém com a barreira de lama que se formou após a passagem da frente fria, onde o mar esteve na altura dos pés das dunas, impossibilitou a retirada de

amostras. A salinidade na linha das dunas apresentou-se mais elevada se comparada com a última coleta e a precipitação na semana antecedente foi de 7,6mm.

No dia 15 de setembro, a linha d'água chegou a 55 m acima da referência, apresentou um baixo gradiente de salinidade e na semana precedente a entrada desta frente fria o nível de precipitação foi de 44 mm.

No dia 25 de outubro, o mar chegou a uma distância de 35 m acima do referencial, o gradiente de salinidade foi baixo com mistura acentuada nos pontos próximos as dunas e a precipitação na semana precedente foi de 2,6 mm.

No dia 29 de novembro tivemos a passagem da última frente fria dentro do período de observações relacionado. Neste dia o mar esteve a uma distância de 35 m acima da nossa referência apresentando um elevado gradiente de salinidade. A precipitação na semana antecedente foi de 4,2 mm.

As marés meteorológicas são governadas principalmente pela intensidade e direção dos ventos na costa. Estes promovem a elevação ou abaixamento do nível da água através da alteração no clima local de ondas ou por ação do fenômeno conhecido como Efeito de Heckman. Considerando a direção da linha de costa e o alinhamento desta com os ventos dominantes observa-se que ventos de SW provocam a elevação do nível do mar enquanto que ventos de NE promovem o abaixamento de nível.

As marés meteorológicas nesta região geralmente ocorrem juntamente com a passagem de frentes frias responsáveis pela ocorrência de tempestades costeiras e acompanhadas por elevados níveis de precipitação pluviométrica.

Portanto, considerando os fatores acima descritos era de se esperar que ocorressem também variações na posição do gradiente de salinidade na face da praia, ou seja, com a elevação do nível do mar o gradiente salino deveria se aprofundar mais em direção ao continente conquistando posições mais transgressivas em relação à linha de costa acompanhadas de elevações importantes nos valores da salinidade nos pontos próximos ao mar, enquanto que com o abaixamento do nível era de se esperar que ocorresse um processo

inverso com um maior predomínio dos fluxos continentais em detrimento da salinidade tornando o gradiente mais próximo da homogeneidade.

Entretanto examinando as Figuras 24, 25, 26 e 27 e a Tabela no anexo 1 observa-se que mesmo durante a entrada de frentes frias com elevação do nível da água na costa não ocorreram variações significativas nos valores da salinidade mesmo nos pontos próximos do mar, as alterações ocorridas nunca foram significativas, os valores quase sempre se mantiveram constantes mesmo em condições extremas.

Este comportamento sugere que o fluxo subterrâneo de água salgada induzido pela elevação do nível do mar pode estar sendo contrabalançado pelo aumento do fluxo subterrâneo continental governado pelo aumento das precipitações pluviométricas que geralmente acompanham a passagem das tempestades costeiras.

Porém pelo fato de nossa profundidade de coleta ser apenas de um metro, muitas das variações podem ocorrer a uma profundidade maior que esta, pois a cunha salina aumenta gradativamente com a distância do mar. Outro fator importante é que as coletas foram feitas após a passagem das frentes frias, a maioria um dia após, onde o nível do mar, que geralmente se aproxima das dunas, já estaria se estabilizando, e o fato da água salina ser mais densa que a água doce, e a permeabilidade do solo possibilitar que em um, ou dois dias, ocorra essa percolação de sal, fazendo com que não possamos observar o aumento de salinidade no momento da coleta a um metro de profundidade.

5.3 FLUXOS SUBTERRÂNEOS

Para o cálculo de fluxo subterrâneo é necessário que se tenha a posição exata do nível de referência da elevação da superfície aqui definida como sendo a posição altimétrica do solo tomada em relação ao nível do mar, este valor foi calculado tomando-se a média das elevações registradas em dois

perfis praias realizados no intervalo de um ano conforme descrito na metodologia, como pode ser visto nas Figuras 9 e 19.

A segunda etapa consistiu em calcular as cargas hidráulicas correspondentes a cada um dos poços para cada uma das saídas de campo. Essa carga é a leitura do nível de água diminuída da elevação da superfície. A Figura 40 apresenta os valores correspondentes aos poços transversais à linha de costa e a Figura 41 mostra os valores correspondentes aos poços longitudinais a mesma.

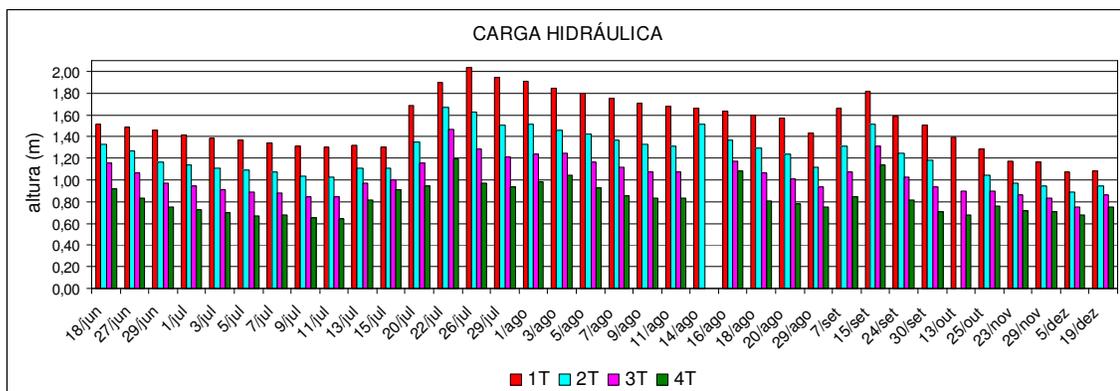


Figura 40 - Carga hidráulica (h) dos poços de monitoramento transversais à linha de costa.

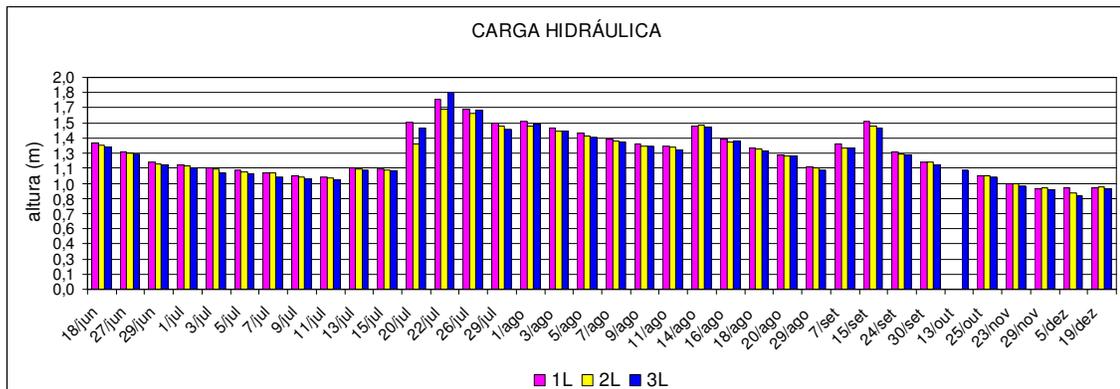


Figura 41 - Carga hidráulica (h) dos poços de monitoramento longitudinais à linha de costa.

A terceira objetivou encontrar os valores de d_{10} (onde $d_{10} = 2^{-\phi}$ é o diâmetro correspondente a posição de 10% da curva de distribuição da amostra e ϕ é o valor correspondente ao tamanho da malha da peneira) das

amostras de sedimentos coletadas junto aos poços de monitoramento, este trabalho foi primeiramente realizado no laboratório, obedecendo aos passos descritos na metodologia. Com o auxílio do software Sysgran obteve-se as curvas de frequência acumulada das amostras (Figura 42), e a partir delas determinamos os valores de Φ médios (indicar o que é este parâmetro) entre cada poço, estes valores foram $\Phi_{1-2} = 2,457$; $\Phi_{2-3} = 2,311$ e $\Phi_{3-4} = 2,290$ apresentados na Figura 43.

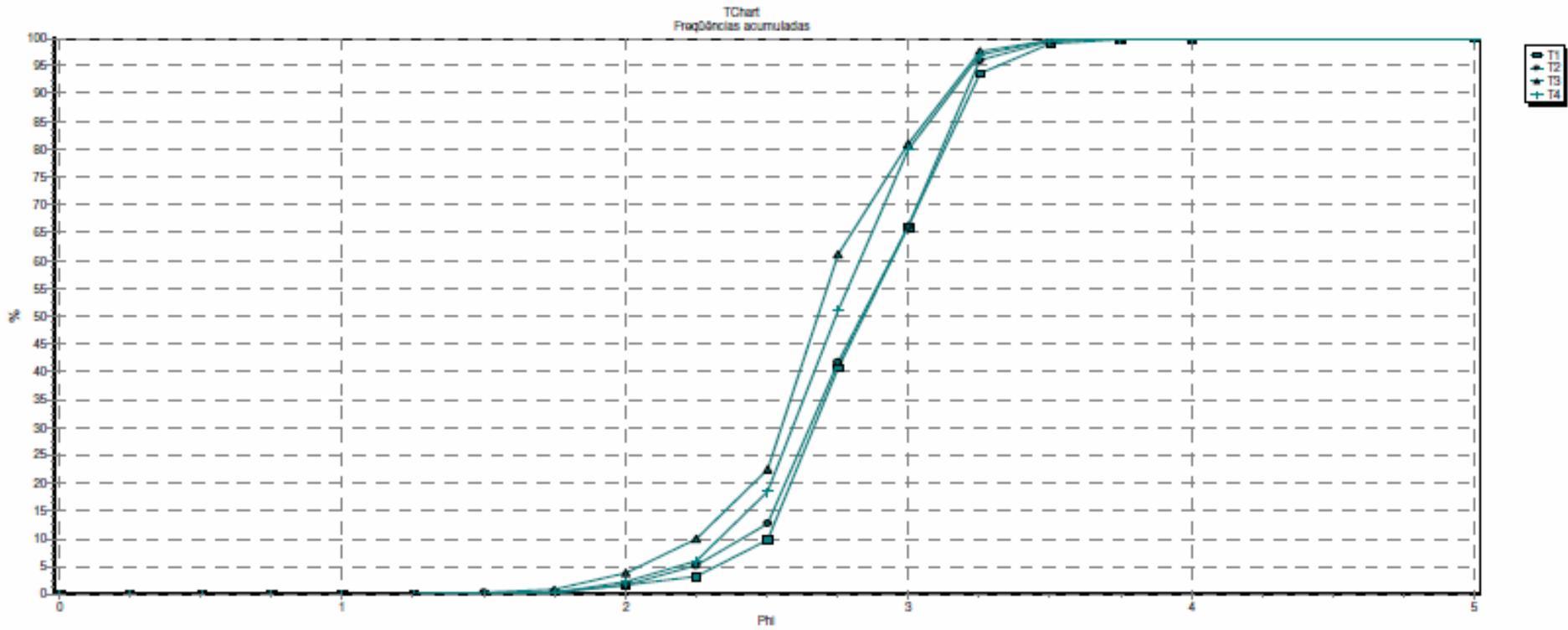


Figura 42 - Curvas de frequência acumulada.

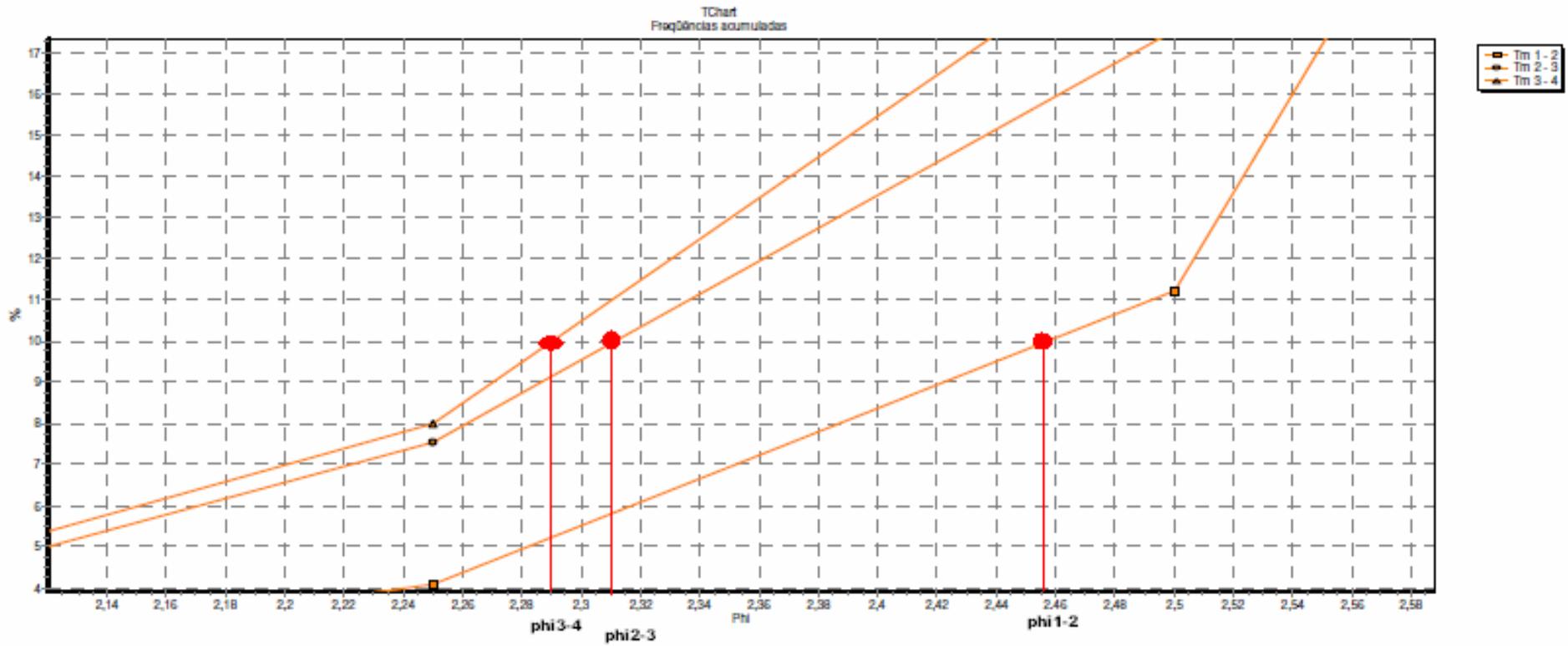


Figura 43 - Valores médios de Phi entre os poços.

A partir dos dados sedimentométricos acima e com o auxílio da equação $K = C(d_{10})^2$ (Hazen, 1911 apud Fetter, 2001), foram determinados os coeficientes de condutividade K das amostras, para os trechos compreendidos entre os poços de monitoramento: $K_{1-2} = 19,6376 \text{ m.dia}^{-1}$; $K_{2-3} = 24,0447 \text{ m.dia}^{-1}$ e $K_{3-4} = 24,7417 \text{ m.dia}^{-1}$. Nota-se uma pequena diferença de valores entre os poços 1-2 e os demais, está diferença se dá devido ao tamanho do sedimento, mostrando que no trecho das dunas os sedimentos são mais finos e conseqüentemente a condutividade menor.

Com os valores de 'K' (coeficiente de condutividade hidráulica) acima calculados determinou-se os 173 valores de fluxos subterrâneos freáticos correspondentes aos poços instalados, mostrados nas Tabelas 3 e 4 a seguir. Em alguns dias não foi possível calcular os fluxos pelo fato de não ocorrer leitura do poço, devido a vento forte e possibilidade de assoreamento do poço de monitoramento, pois ao abrir a tampa do poço, e esperar a estabilização do nível, ocorria a entrada de areia no poço, fazendo com que algumas leituras tivessem que ser descartadas. Posteriormente foi necessária uma limpeza dos poços atingidos e o cuidado de não abrir mais os mesmos em dias de muito vento.

Durante o período de coletas, ocorreram vários eventos responsáveis por alterações no ambiente praias, principalmente relacionados à presença de lama, que impediram a coleta de amostras mais próximas da linha d'água.

Tabela 3 - Fluxos subterrâneos para os poços transversais à linha de costa.

	Q1-2	Q2-3	Q3-4
	q' (m³.(dia.m)¹)		
D10 (cm)	0,01821	0,02015	0,02044
K (m.dia⁻¹)	19,6376	24,0447	24,7417
L (m)	50	25	25
18/jun	0,1017	0,2139	0,2408
27/jun	0,1187	0,2208	0,2175
29/jun	0,1491	0,2000	0,1878
1/jul	0,1383	0,1970	0,1816
3/jul	0,1342	0,1934	0,1710
5/jul	0,1329	0,1858	0,1711
7/jul	0,1272	0,1798	0,1570
9/jul	0,1256	0,1784	0,1426
11/jul	0,1264	0,1681	0,1448
13/jul	0,1012	0,1391	0,1354
15/jul	0,0906	0,1064	0,0861
20/jul	0,2048	0,2227	0,2256
22/jul	Sem dados	0,2942	0,3700
26/jul	0,2932	0,4774	0,3457
29/jul	0,2983	0,3854	0,2940
1/ago	0,2686	0,3559	0,2830
3/ago	0,2477	0,2773	0,2301
5/ago	0,2389	0,3147	0,2478
7/ago	0,2328	0,3026	0,2565
9/ago	0,2239	0,2924	0,2277
11/ago	0,2126	0,2787	0,2267
14/ago	0,0923	Sem dados	Sem dados
16/ago	0,1602	0,2330	Sem dados
18/ago	0,1739	0,2618	0,2361
20/ago	0,1838	0,2466	0,2003
29/ago	0,1544	0,1886	0,1476
7/set	0,2026	0,2711	0,2151
15/set	0,2027	0,2750	0,2090
24/set	0,1871	0,2402	0,1965
30/set	0,1675	0,2497	0,1906
13/out	Sem dados	Sem dados	0,1680
25/out	0,1052	0,1433	0,1123
23/nov	0,0842	0,0962	0,1177
29/nov	0,0936	0,0930	0,0967
5/dez	0,0703	0,1085	0,0546
19/dez	0,0566	0,0687	0,0934

Tabela 4 - Fluxos subterrâneos para os poços longitudinais à linha de costa.

	$q' (m^3.(dia.m)^{-1})$	
	Q1-2	Q2-3
D10 (cm)	0,018815	0,018815
K (m.dia⁻¹)	21,044	21,044
L (m)	25	25
18/jun	0,01918	0,01450
27/jun	0,00747	0,01376
29/jun	0,01281	0,01267
1/jul	0,01252	0,01238
3/jul	0,01222	0,02856
5/jul	0,01755	0,02263
7/jul	0,00453	0,02762
9/jul	0,01145	0,01304
11/jul	0,00782	0,01459
13/jul	0,01222	0,00466
15/jul	0,00654	0,01019
20/jul	0,24180	-0,17791
22/jul	0,13702	-0,23055
26/jul	0,05682	-0,03726
29/jul	0,04229	0,03143
1/ago	0,06067	-0,01916
3/ago	0,04101	0,00123
5/ago	0,03015	0,01547
7/ago	0,02206	0,01034
9/ago	0,01460	0,00558
11/ago	0,00999	0,02956
14/ago	-0,00127	0,01397
16/ago	0,02897	-0,00345
18/ago	0,01203	0,01409
20/ago	0,00938	0,00104
29/ago	0,01235	0,01779
7/set	0,03454	0,00549
15/set	0,05543	0,02149
24/set	0,02228	0,01152
30/set	-0,00496	0,02850
13/out	Sem dados	Sem dados
25/out	-0,00441	0,01142
23/nov	-0,00082	0,01218
29/nov	-0,00710	0,01491
5/dez	0,03464	0,02142
19/dez	-0,00554	0,01182

Também foram calculados os valores de carga de pressão, conforme pode ser observado nas Figuras 44 e 45.

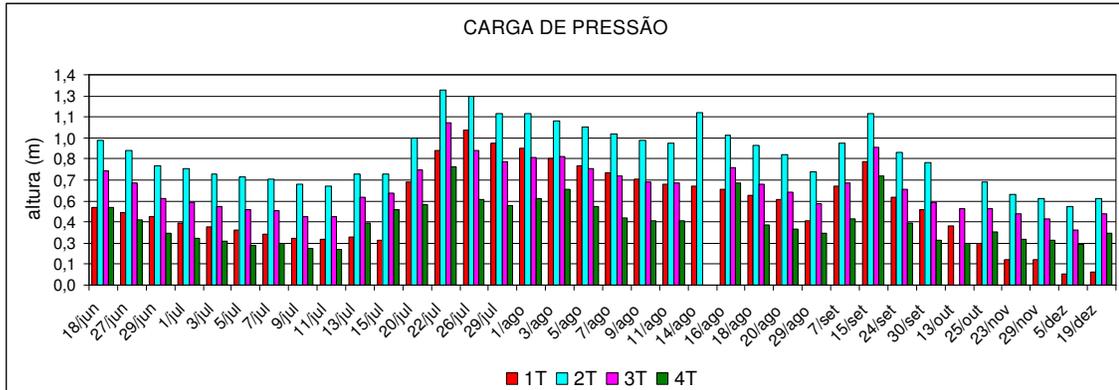


Figura 44 - Carga de pressão (hp) para os poços transversais à linha de costa.

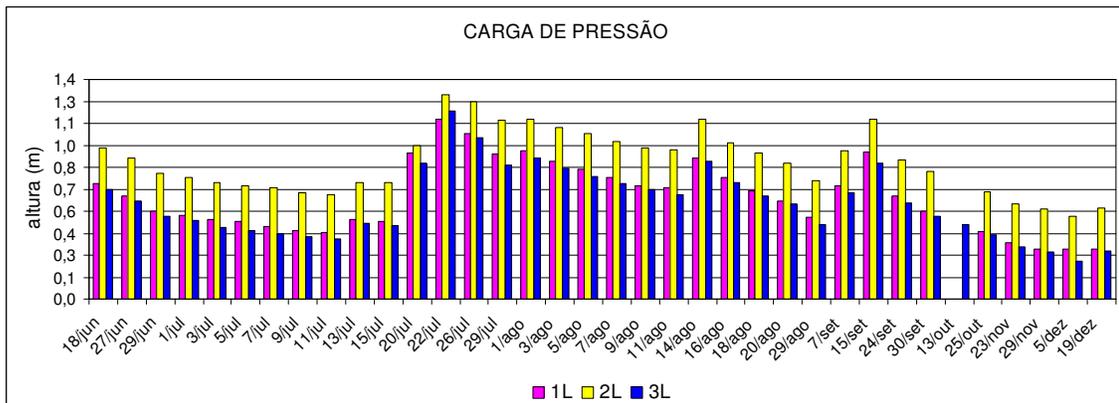


Figura 45 - Carga de pressão (hp) para os poços longitudinais à linha de costa.

Com base nos dados medidos (nível) e valores calculados (velocidade e direção dos fluxos) determinou-se que os fluxos subterrâneos transversais à costa apresentaram deslocamento permanente em direção ao mar; Observou-se também que variações na intensidade da vazão estão diretamente ligadas às variações positivas nos níveis de precipitação como pode ser observado na Figura 47. Os picos mais altos de fluxo referem-se aos dias de precipitação mais elevada, nota-se também que estes fluxos diminuem quando ocorre estiagem e as taxas de evapotranspiração ficam mais elevadas que a precipitação. Não se verificou ocorrência de refluxo, que promove a intrusão salina.

Observou-se também, analisando a Figura 46, que os fluxos Q_{2-3} e Q_{3-4} que ocorrem entre os poços T2-T3 e T3-T4 respectivamente, localizados entre o cordão de dunas e a face da praia, apresentaram sempre um deslocamento em direção ao mar e os valores de vazão registrados se mantiveram sempre maiores que aqueles registrados entre os poços T1-T2 (Q_{1-2}) ocorridos no centro do cordão de dunas. Imagina-se que isto ocorra pelo fato da condutividade hidráulica entre os poços 1-2 ser menor que entre os poços 2-3 e 3-4, mostrando a importância da granulometria e da classificação sedimentar sobre a intensidade dos fluxos subterrâneos (promovido pelos diferentes valores encontrados para 'K').

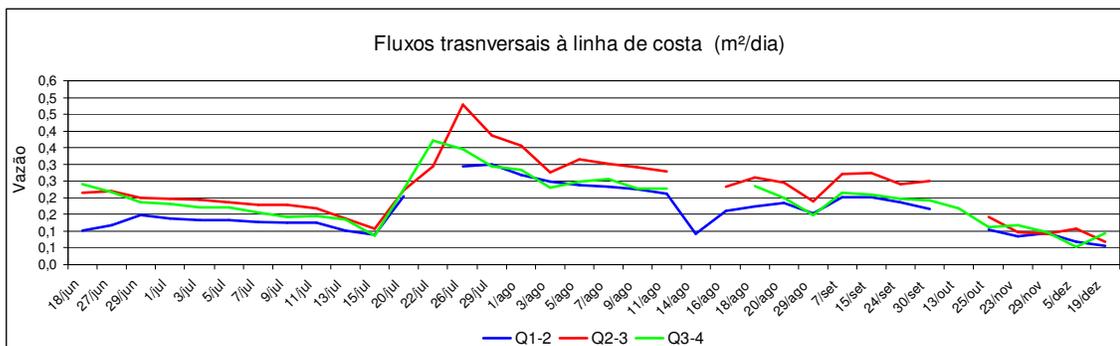


Figura 46 - Fluxos transversais à linha de costa

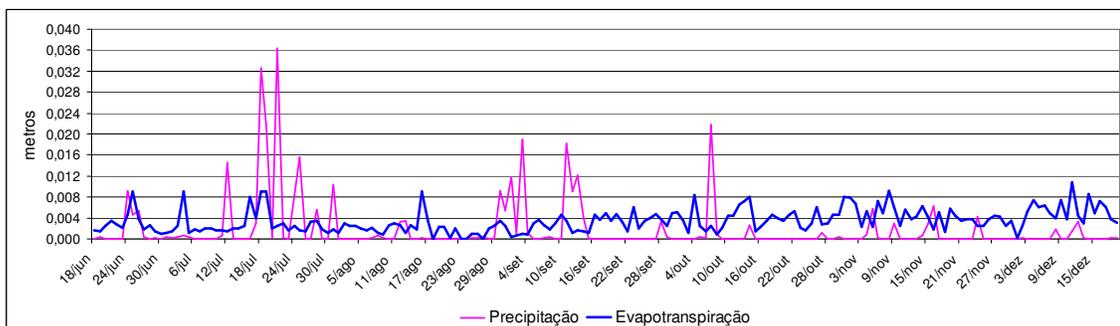


Figura 47 - Taxas de precipitação e evapotranspiração.

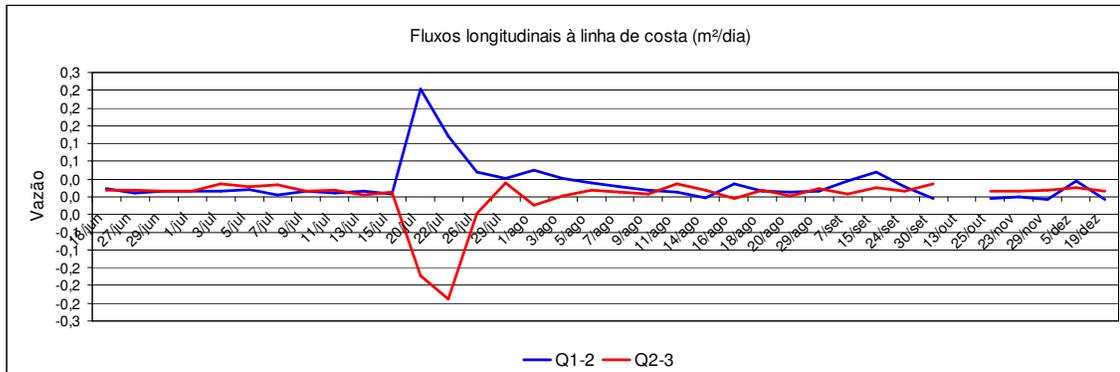


Figura 48 - Fluxos longitudinais à linha de costa.

Os valores de fluxos longitudinais vistos na Figura 48, foram calculados com o coeficiente de condutividade (K), correspondente ao poço 2T, por se tratar da mesma linha transversal à praia. Não foram retiradas amostras dos poços 1L e 3L, sendo assim, o mesmo valor de 'K' foi inferido para todos os poços envolvidos (direção longitudinal).

6. CONCLUSÃO

Verificamos a existência de um estuário subterrâneo, onde ocorrem as mudanças mais significativas de salinidade e nível do mar, localizado a um metro de profundidade e aproximadamente 60 m de distância da linha de dunas, variando entre as posições extremas de mar baixo e alto, observados ao longo do ano, em 60m. Com a passagem de frentes frias, este estuário é modificado, alterando os valores de salinidade e posição da linha d'água.

O nível do lençol freático responde diretamente às taxas de precipitação. Quando há um acúmulo de chuvas, os níveis aumentam rápida e significativamente, aumentando também os fluxos subterrâneos em direção ao mar. Mesmo com a passagem de frentes frias e o mar avançando bastante em direção ao continente, não houve registros de refluxos (direção mar-continente), que promova a intrusão salina.

Os fluxos transversais à linha de costa apresentaram valores bem mais significativos que os fluxos longitudinais a mesma, e com deslocamento constante em direção ao mar. Verificou-se que os fluxos transversais Q2-3 e Q3-4 são maiores que o fluxo Q1-2, donde conclui-se a importância da granulometria e da classificação sedimentar sobre a intensidade dos fluxos subterrâneos.

7. RECOMENDAÇÕES

Sugere-se que sejam realizadas medições de nível e de salinidade na região utilizando-se poços de maior profundidade a fim de que se verifique a extensão da penetração salina em aquíferos profundos.

Recomenda-se que refaça o cálculo dos valores da condutividade hidráulica e dos fluxos a partir de novos dados obtidos com o auxílio de equipamentos específicos de 'slug test', e que os poços sejam instalados com maior profundidade.

Recomenda-se que repitam as mesmas pesquisas para outros tipos de praias com características hidrodinâmicas e sedimentológicas diferentes. Sugere-se também que seja estudado o perfil sedimentológico vertical nos pontos de ocorrência de córregos de praia, a fim de verificar como a distribuição dos sedimentos se reflete no comportamento das vazões.

Sugere-se que as coletas de salinidade sejam feitas no dia de maior maré meteorológica, para que talvez se possa observar uma maior variação no valor da salinidade medida, durante a passagem das frentes frias.

ANEXOS

Tabela anexa 1 - salinidade

<i>Salinidade do Mar</i>		<i>31</i>	<i>34</i>	<i>31</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>35</i>	
<i>Pontos</i>	<i>Distância(m)</i>	<i>5/mar</i>	<i>12/mar</i>	<i>16/mar</i>	<i>23/mar</i>	<i>30/mar</i>	<i>6/abr</i>	<i>16/abr</i>
<i>0</i>	<i>0</i>							
<i>1</i>	<i>10</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>2</i>
<i>2</i>	<i>20</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>1</i>
<i>3</i>	<i>30</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>2</i>
<i>4</i>	<i>40</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>1</i>
<i>5</i>	<i>50</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>5</i>
<i>6</i>	<i>65</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<i>7</i>	<i>70</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>6</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>5</i>
<i>8</i>	<i>75</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>6</i>	<i>6</i>	<i>8</i>	<i>5</i>	<i>4</i>
<i>9</i>	<i>80</i>	<i>4</i>	<i>9</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>8</i>	<i>6</i>
<i>10</i>	<i>85</i>	<i>4</i>	<i>6</i>	<i>8</i>	<i>15</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>
<i>11</i>	<i>90</i>	<i>5</i>	<i>8</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>6</i>	<i>9</i>	<i>11</i>
<i>12</i>	<i>95</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>10</i>	<i>7</i>	<i>11</i>
<i>13</i>	<i>100</i>	<i>10</i>	<i>10</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
<i>14</i>	<i>105</i>	<i>6</i>	<i>10</i>	<i>13</i>	<i>15</i>	<i>13</i>	<i>15</i>	<i>10</i>
<i>15</i>	<i>110</i>	<i>7</i>	<i>7</i>	<i>14</i>	<i>11</i>	<i>11</i>	<i>15</i>	<i>20</i>
<i>16</i>	<i>115</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>10</i>	<i>12</i>	<i>20</i>	<i>14</i>	<i>17</i>
<i>17</i>	<i>120</i>	<i>10</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>16</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>13</i>
<i>18</i>	<i>125</i>	<i>9</i>	<i>20</i>		<i>18</i>	<i>20</i>	<i>20</i>	<i>21</i>
<i>19</i>	<i>130</i>	<i>10</i>			<i>14</i>	<i>15</i>	<i>23</i>	<i>21</i>
<i>20</i>	<i>135</i>	<i>10</i>			<i>20</i>	<i>20</i>	<i>20</i>	<i>24</i>
<i>21</i>	<i>140</i>	<i>22</i>			<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>23</i>
<i>22</i>	<i>145</i>	<i>22</i>			<i>24</i>	<i>23</i>	<i>30</i>	<i>20</i>
<i>23</i>	<i>150</i>				<i>31</i>	<i>21</i>	<i>33</i>	<i>33</i>
<i>24</i>	<i>155</i>				<i>27</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>31</i>
<i>25</i>	<i>160</i>				<i>30</i>	<i>28</i>	<i>29</i>	<i>27</i>
<i>26</i>	<i>165</i>					<i>22</i>	<i>21</i>	
<i>27</i>	<i>170</i>						<i>30</i>	

<i>Salinidade do Mar</i>		35	31	31	30	33	34	33
<i>Pontos</i>	<i>Distância(m)</i>	<i>23/abr</i>	<i>30/abr</i>	<i>7/mai</i>	<i>14/mai</i>	<i>26/mai</i>	<i>1/jun</i>	<i>8/jun</i>
0	0							
1	10	3	3	2	4	2	2	2
2	20	2	2	1	3	2	1	2
3	30	2	2	3	5	4	4	4
4	40	1	2	2	4	3	3	2
5	50	2	2	2	5	4	10	4
6	65	5	3	2	5	3	3	3
7	70	6	5	4	5	5	5	4
8	75	10	9	8	11	9	9	7
9	80	5	6	6	9	6	7	5
10	85	5	6	5	7	6	6	8
11	90	10	11	6	6	9	10	5
12	95	8	9	10	13	15	14	6
13	100	11	9	7	10	10	10	10
14	105	9	8	8	10	9	8	10
15	110	14	16	15	15	13	15	10
16	115	14	15	14	11	13	15	
17	120	14	15	11	13	14		
18	125	23	16	11	15	15		
19	130	20	20	20	16	23		
20	135	19	19	18	18	20		
21	140	21	20	20	22	25		
22	145	26	23	20	22	23		
23	150	22	29	23	28	20		
24	155	23	31	25	33			
25	160			31	30			

<i>Salinidade do Mar</i>		32	32	32	31	33	33	33
<i>Pontos</i>	<i>Distância(m)</i>	<i>18/jun</i>	<i>27/jun</i>	<i>29/jun</i>	<i>1/jul</i>	<i>3/jul</i>	<i>5/jul</i>	<i>7/jul</i>
0	0							
1	10	4	2	2	1	2	1	1
2	20	3	2	2	1	2	1	0
3	30	4	4	4	2	2	3	2
4	40	5	2	1	2	2	2	1
5	50	6	5	6	5	3	2	2
6	65	6	4	5	3	2	3	5
7	70	7	7	7	3	4	4	2
8	75	9	5	8	5	4	5	4
9	80	6	3	3	4	4	4	3
10	85	8	5	7	8	6	5	3
11	90	6	4	5	5	5	5	5
12	95	7	7	9	7	7	4	5
13	100	10	10	10	10	10	9	10
14	105	20	16	16	11	10	10	13
15	110	11	10	17	16	10	10	10
16	115	16	12	15	18	17	17	19
17	120	17	14	15	16	15	15	11
18	125	15	9	13	19	27	18	19
19	130	23	21	25	19	20	20	18
20	135	24	20	16	17	23	19	20
21	140	17	15	25	16	21	17	17
22	145	21	15	18	16	16	15	11
23	150	23		19	17	20	15	
24	155			25	20	20	21	
25	160				21		24	
26	165						25	

<i>Salinidade do Mar</i>		34	33	32	33	30	30	30
<i>Pontos</i>	<i>Distância(m)</i>	<i>9/jul</i>	<i>11/jul</i>	<i>13/jul</i>	<i>15/jul</i>	<i>20/jul</i>	<i>22/jul</i>	<i>26/jul</i>
0	0							
1	10	2	1	2	2	5	2	2
2	20	1	0	2	2	5	2	1
3	30	3	1	3	3	5	5	2
4	40	2	0	3	3	5		2
5	50	2	1	6	7	6	5	3
6	65	3	1	5	6	9	5	6
7	70	4	2	5	5	7	6	3
8	75	6	4	6	6	7	6	5
9	80	4	3	6	5	9	7	5
10	85	4	2	5	5	7	11	4
11	90	4	5	6	6	10	6	6
12	95	4	5	6	6	7	6	8
13	100	9	10	9	12	16	10	9
14	105	8	10	10	10	14	13	12
15	110	11	12	15	16	15	15	16
16	115	21	20	11	14	16	21	13
17	120	17	12	16	6	16	20	16
18	125	17	19	19	13	20	15	10
19	130	16	10	15	19	16	11	15
20	135	24	17	19	17	20	16	20
21	140	20	15	18		15	20	16
22	145	17	14	26		18		17
23	150	21	16			18		24
24	155	24	24			17		
25	160	26	23			22		
26	165	24				21		
27	170	25				20		
28	175					30		
29	180					32		

<i>Salinidade do Mar</i>		<i>20</i>	<i>27</i>	<i>28</i>		<i>25</i>		<i>22</i>
<i>Pontos</i>	<i>Distância(m)</i>	<i>29/jul</i>	<i>1/ago</i>	<i>3/ago</i>	<i>5/ago</i>	<i>7/ago</i>	<i>9/ago</i>	<i>11/ago</i>
<i>0</i>	<i>0</i>							
<i>1</i>	<i>10</i>	2	2	2	2	2	2	1
<i>2</i>	<i>20</i>	1	1	1	1	2	1	1
<i>3</i>	<i>30</i>	1	2	2	2	2	2	2
<i>4</i>	<i>40</i>	1	1	2	1	2	1	1
<i>5</i>	<i>50</i>	2	2	4	2	3	2	2
<i>6</i>	<i>65</i>	7	3	8	2	5	5	5
<i>7</i>	<i>70</i>	2	2	2	2	2	2	2
<i>8</i>	<i>75</i>	4	4	5	3	4	3	3
<i>9</i>	<i>80</i>	4	5	5	5	4	4	3
<i>10</i>	<i>85</i>	3	4	3	4	3	3	4
<i>11</i>	<i>90</i>	5	8	7	8	3	5	4
<i>12</i>	<i>95</i>	5	6	5	5	5	6	6
<i>13</i>	<i>100</i>	10	10	10	10	11	10	11
<i>14</i>	<i>105</i>	12	16	10	8	7	10	7
<i>15</i>	<i>110</i>	15	15	15	16	11	13	11
<i>16</i>	<i>115</i>	12	10	6	5	6	5	10
<i>17</i>	<i>120</i>	16	18	19	18	18	15	16
<i>18</i>	<i>125</i>	7	11	11	17	9	9	9
<i>19</i>	<i>130</i>	14	13	16	17	12	14	13
<i>20</i>	<i>135</i>	17	20		21	20	20	18
<i>21</i>	<i>140</i>	20	21				21	16
<i>22</i>	<i>145</i>	20						

<i>Salinidade do Mar</i>		<i>27</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>23</i>	<i>26</i>	<i>29</i>	
<i>Pontos</i>	<i>Distância(m)</i>	<i>14/ago</i>	<i>16/ago</i>	<i>18/ago</i>	<i>20/ago</i>	<i>29/ago</i>	<i>7/set</i>	<i>15/set</i>
0	0							
1	10	2	2	1	1	2	1	1
2	20	1	1	1	1	2	1	0
3	30	2	2	2	3	4	3	1
4	40	1	1	1	4	1	2	1
5	50	4	4	4	3	4	3	2
6	65		5	3	3	6	7	6
7	70		4	2	3	4	5	6
8	75		6	5	5	7	5	2
9	80		5	6	6	7	7	5
10	85		5	5	4	5	6	5
11	90		7	4	4	5	5	4
12	95			7	6	7	7	6
13	100		11	8	10	9	7	5
14	105		10	10	10	13	12	8
15	110		16	10	13	10	13	8
16	115		12	11	10	11	12	11
17	120		12	10	12	10	14	12
18	125		16	13	12	13	13	16
19	130		15	10	10	10	11	
20	135		18	10	9	8	13	
21	140		17	16	12	16	16	
22	145			21	18	19	16	
23	150			21	14		18	
24	155			20				
25	160			22				
26	165			24				
27	170			23				
28	175			24				

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATTISANO, K. K.; NIENCHESKI, L. F. H.; MILANI, I.C.B.; MACHADO, C. S.; MILANI, M. R.; ZARZUR, S.; ANDRADE, C. F. F. et al. Evidences of continental groundwater inputs to the Shelf zone in Albardão, RS, Brazil. **Brazilian journal of oceanography**. v.56(3), p.189-200. 2008.

BURNETT, W. C. and DULAIIOVA, H.: Estimating the dynamics of groundwater input into the coastal zone via continuous radon- 222 measurements, **J. Env. Radioact.**, 69, 21–35, 2003.

CALLLARI, L. J.; KLEIN, A. H. F. Características Morfodinâmicas e Sedimentológicas das Praias Oceânicas Entre Rio Grande e Chuí, RS. **Instituto de Geociências da UFRGS**. Porto Alegre. 1993.

CRUSIUS, J.; KOOPMANS, D.; BRATTON, J. F.; CHARETTE, M. A.; KROEGER, K.; HENDERSON, P.; RYCKMAN, L.; HALLORAN, K. e COLMAN, J. A. Submarine groundwater discharge to a small estuary estimated from radon and salinity measurements and a box model. **Biogeosciences**. V. 2, p. 141–157. 2005.

DEAN, R. G.; DALRYMPLE, R. A. **Coastal Processes**. Australia. Cambridge university press. 2004.

DON, N. C.; ARAKI, H.; HANG, N. T. M.; YAMANISHI, H.; KOGA, K.. Modeling groundwater flow and its associated environmental problem in a lowland coastal plain: a first step towards a sustainable development plan. **Environ Dev Sustain**. V. 10, pg. 219–231. 2008.

DUPUIT, J. Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux découverts et à travers les terrains perméables. 2nd ed., Dunod: Paris. 1863

BURNETT, B., CHANTON, J., CHRISTOFF, J., KONTAR, E., KRUPA, S., LAMBERT, M., MOORE, W., O'ROURKE, D., PAULSEN, R., SMITH, C., SMITH, L., TANIGUCHI, M., 2002. Assessing methodologies for measuring groundwater discharge to the ocean. **EOS** 83, 117– 122.

FEAR J. M.; PAERL, H. W.; BRADDY, J. S. Importance of Submarine Groundwater Discharge as a Source of Nutrients for the Neuse River Estuary, North Carolina. **Estuaries and Coasts**. V. 30, No. 6, p. 1027–1033. Dezembro 2007.

FETTER, C.W. **Applies Hydrogeology**. New Jersey: Prentice Hall, Inc. 2001.

HAZEN, A. Discussion : Dams on sand foundations. **Transactions, American Society of Civil Engineers**, 73: 199. 1911

LAMBERT, M. J.; BURNETT, W. C. Submarine groundwater discharge estimates at a Florida coastal site based on continuous radon measurements. **Biogeochemistry**. v. 66, pg. 55-73. 2003.

NIENCHESKI, L. F. H.; WINDOM, B. L. H.; MOORE, W. S. C.; JAHNK, R. A. et al. Submarine groundwater discharge of nutrients to the ocean along a coastal lagoon barrier, Southern Brazil. **Marine Chemistry**. V.106, p. 546–561.2007.

PEREIRA DA SILVA, R. **Ocorrência, distribuição e características morfodinâmicas dos sangradouros na zona costeira do Rio grande do Sul: trecho Rio Grande - Chuí, RS**. Porto Alegre. 146p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de geociências, Universidade Federal do Rio grande do Sul. 1998.

RODRIGUES, M. L. G.; FRANCO, D.; SUGAHARA S. **Climatologia de frentes frias no litoral de santa catarina**. Revista Brasileira de Geofísica 22(2): 135-151. 2004.

^aSANTOS, I. R.; NIENCHESK, L. F. H.; BURNETT, W.; PETERSON, R.; CHANTON, J.; ANDRADE, C. F. F.; MILANI, I. C. B.; SCHMIDT, A.; KNOELLER, K. Tracing anthropogenically driven groundwater discharge into a coastal lagoon from southern Brazil. **Journal of Hydrology**. v. 353, p. 275–293. 2008.

^bSANTOS, I. R.; MACHADO, M. L.; NIENCHESKI, L. F. H.; BURNETT, W.; MILANI, I. C.; ANDRADE, C. F. F.; PETERSON, R. N.; CHANTON, J.; BAISCH, P. Major Ion Chemistry in a Freshwater Coastal Lagoon from Southern Brazil (Mangueira Lagoon): Influence of Groundwater Inputs. **Aquat Geochem**. V.14, pg.133–146. 2008.

SERPA, C.G. **Estudo da influência dos fatores climáticos e hidrológicos no ciclo morfodinâmico praias de um sangradouro intermitente, Praia do Cassino, Brasil**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica. FURG. 2008.

SOLSONA, G. E; MASQUE, P.; GARCES, E.; RADA KOVITCH, O.; MAYER, A.; ESTRADA, S.; BASTERRETXEA, G. An assessment of karstic submarine groundwater and associated nutrient discharge to a Mediterranean coastal area (Balearic Islands, Spain) using radium isotopes. **Biogeochemistry**. V. 97, p. 211-229. 2010.

STIEGLITZ T. C.; RAPAGLIA, J.; KRUPA, S. C. An Effect of Pier Pilings on Nearshore Submarine Groundwater Discharge from a (Partially) Confined Aquifer. **Estuarines and Coasts** V. 30, No 3, p. 543-550. 2007.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo, Edgard Blucher, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1973.

TURNER, I. L. Monitoring groundwater dynamics in the littoral zone at seasonal, storm, tide and swash frequencies. In: **Coastal Engineering**, 35, p. 1-16, 1998.

WINDOM, H.; NIENCHEKI, F. Biogeochemical processes in a freshwater–seawater mixing zone in permeable sediments along the coast of Southern Brazil. **Marine Chemistry**. V. 83, p. 121– 130. 2003.

Norma ABNT NBR 113895:1997 - Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem.

Norma ASTM D 5092:2004 - Standart Practice for Design and Installation of Ground Water Monitoring Wells.