



**GÊNESE E OCORRÊNCIA DA CAMADA AQUÍFERA “SAL GROSSO” NO
LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL**

LUÍSA COLLISCHONN

Porto Alegre, 2018

LUÍSA COLLISCHONN

**GÊNESE E OCORRÊNCIA DA CAMADA AQUÍFERA “SAL GROSSO” NO
LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Dra. Maria Luiza Correa da Camara Rosa

Supervisor: Me. Lucas Marchi da Motta

Porto Alegre, 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Collischonn, Luísa

Gênese e ocorrência da camada aquífera "Sal Grosso" no litoral norte do Rio Grande do Sul. / Luísa Collischonn. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2018.

[74 f.] il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2018.

Orientador: Maria Luiza Correa da Camara Rosa

Co-orientador: Lucas Marchi da Motta

1. Geologia costeira; . 2. Sistema aluvial. 3. Sondagem elétrica vertical. 4. Análise estratigráfica. I. Título.

CDU 551.468.1

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sônia Teresinha Duarte de Oliveira

CRB 10/2310

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6569

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

AGRADECIMENTOS

Pensei em não escrever neste espaço, por receio de esquecer de mencionar pessoas importantes, já que estamos em dezembro... A maior vontade é de me livrar de todas as pendências e partir para aquilo que as unidades deposicionais presentes (*spoiler*) no padrão de empilhamento verificado neste trabalho oferecem: SAL Grosso, MARinho e BARreira. Só que o sentimento de gratidão é intenso e o espaço existe, então, vou aproveitar. Mas sem me arriscar muito, afinal, continuamos em dezembro.

Então, às pessoas mais importantes, aos amigos, faço isso pessoalmente, com presença. Aliás, que privilégio poder ter tantas pessoas especiais em minha vida, com as quais interajo e “deixo e recebo um tanto”!

Tenho que dar um “oi” para minha família aqui: Collischonn’s e Lange’s, pelo apoio, incentivo e carinho! Um bem especial para meus pais e meus irmãos, que estiveram pacientes e confiantes de que eu iria me encontrar em algum curso. E, quando aconteceu, vibraram junto com as conquistas, me colocaram para cima quando precisei, discutiram questões pertinentes comigo, me inspiraram com novas ideias, tiraram bastante com a minha cara quando eu abusava do assunto “Sal Grosso”... Enfim, família, como sempre fomos e gostamos de ser.

Ao longo da graduação (com algum *buffer*), tive oportunidade de aprender em espaços que me influenciaram muito, pessoalmente e profissionalmente. Sou muito grata ao Luiz Emílio (*in memoriam*), com quem fiz meu estágio obrigatório do técnico em hidrologia, trazendo a possibilidade de conhecer o CECO e um contato mais próximo com a geologia. Ao Roberto Kirchheim, que abriu várias portas para mim, inclusive a da CPRM, onde pude conhecer a Karine Pickbrenner. Na UFRGS, tive a valiosa oportunidade de ser bolsista de iniciação científica na geografia, com a Eliana Lima da Fonseca, e depois, na geologia, com a Ana Karina Scomazzon. Na metade de 2016, já indo para a etapa final do curso, tive novamente a maravilhosa sensação de “me encontrei”, como bolsista da Maria Luiza. E foi um presente poder fazer este TCC integrando (conheço alguém que gosta da palavra) UFRGS e CORSAN. Agradeço ao Marcio Klein, Maiquel, Denis e Lucas pelas oportunidades proporcionadas no estágio na CORSAN. Foi meu primeiro contato com a geofísica, na prática, e essencial para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço à Mariah, pela ilustração que embelezou este TCC.

Agradeço aos professores e à UFRGS. Que a ciência seja mais valorizada, para benefício de todos.

RESUMO

No litoral norte do Rio Grande do Sul, durante a construção de poços da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) para captação de água subterrânea, foi observada a presença de uma camada arenosa de granulometria mais grossa em relação aos depósitos sedimentares que a limitam. Essa litologia diferencia-se tanto das demais, que foi apelidada de “Sal Grosso” por equipes de sondadores. Ela ocorre aproximadamente aos 70 m de profundidade e serve como importante unidade aquífera desta região, apresentando excelentes vazões, que chegam a 300 m³/h. Neste contexto, o presente estudo buscou compreender a gênese desta camada, investigando qual o tipo de sistema deposicional que a formou, além de tentar identificá-la dentro dos limites do município de Imbé. A hipótese adotada foi de que esta camada pudesse corresponder aos depósitos de um sistema aluvial. Para testar esta hipótese, foi feita a identificação dos intervalos de ocorrência (topo e base) da camada através de perfis de poços tubulares e de perfis geoeletricos de sondagens elétricas verticais (SEVs). Os dados de espessura da camada “Sal Grosso” foram espacializados, possibilitando verificar a geometria de uma feição de direção perpendicular à linha de costa, entre os municípios de Osório e Tramandaí. Associando a geometria identificada com os aspectos sedimentológicos, a camada foi interpretada como pertencente a um paleocanal. Em Imbé, levantamentos geofísicos com eletrorresistivímetro não identificaram a presença da camada, de forma coerente com os dados já existentes de poços e de levantamentos geofísicos realizados anteriormente. Com a análise integrada dos perfis de poços e de SEVs, foi feita uma caracterização estratigráfica, que evidenciou a presença de depósitos aluviais (onde está contida a unidade “Sal Grosso”), uma unidade deposicional estuarina/marinha e, no topo, sistemas laguna-barreira. O padrão de empilhamento indica um período de mar mais baixo seguido por um afogamento e um novo período de mar mais baixo. Este grande ciclo poderia representar uma sequência deposicional de ordem inferior (menor frequência) à das sequências deposicionais associadas aos sistemas laguna-barreira registrados na planície costeira do Rio Grande do Sul.

Palavras-Chave: Geologia costeira, sistema aluvial, sondagem elétrica vertical, paleocanal, análise estratigráfica.

ABSTRACT

In the north coast of Rio Grande do Sul, during the construction of wells of Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) to capture groundwater, a coarser sandstone layer was observed. This lithology differs greatly from the others, which it was dubbed "Sal Grosso". It occurs at approximately 70 m depth and serves as an important aquifer unit in this region, presenting excellent flow rates, which reach 300 m³/h. The present study sought to understand the genesis of this layer, investigating the depositional system related to it, and trying to identify it in the city of Imbé. The hypothesis adopted was that this layer could correspond to an alluvial system. In order to test this hypothesis, the top and bottom of the layer was identified through wells and geoelectric profiles of vertical electrical soundings (VES). The thickness of the "Sal Grosso" layer was spatialized allowing to verify the geometry of a feature perpendicular to the shoreline, between the cities of Osório and Tramandaí. This feature was interpreted as a paleochannel. In Imbé, the layer was not identified either with well data neither with geophysical surveys. The analysis of the wells and VES profiles characterized the stratigraphy, evidencing the presence of alluvial deposits (where the "Sal Grosso" unit is contained), an estuarine/marine depositional unit and lagoon-barrier systems. The stacking pattern indicates a period of lower sea-level followed by a rise and a new lower sea-level period. This large cycle could represent a lower-order depositional sequence (less frequency) than that of the depositional sequences associated with the lagoon-barrier systems recorded in the coastal plain of Rio Grande do Sul.

Key words: Coastal geology, alluvial system, vertical electrical sounding, paleochannel, stratigraphic analysis.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	6
1 INTRODUÇÃO.....	7
1.1 Objetivos e Metas	11
2 ESTADO DA ARTE.....	11
3 MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1 Dados Diretos	20
3.2 Dados Indiretos.....	24
3.2.1 Etapa de Campo	26
3.2.2 Etapa de pós-campo.....	35
3.3 Integração dos dados	36
4 RESULTADOS.....	36
5 DISCUSSÕES	47
6 CONCLUSÕES.....	58
REFERÊNCIAS	60
ANEXOS.....	62

1 INTRODUÇÃO

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) é uma unidade geomorfológica particularmente interessante e atrativa no estado. Por estar inserida em um contexto de interface entre o continente e o oceano, apresenta uma série de peculiaridades que atraem as pessoas, principalmente no verão, quando a busca turística por estes locais aumenta. Tais peculiaridades são também geológicas e, de certa forma, há relação destas com o interesse das populações pela região, já que, em geral, a geologia de subsuperfície da planície costeira oferece condições de suprir uma necessidade vital daqueles que a buscam: a água doce.

No Rio Grande do Sul, a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) é responsável pelo abastecimento público de 2/3 dos municípios do estado. No litoral, atende inúmeros municípios, especialmente aqueles mais urbanizados, como é o caso de Cidreira, Osório, Tramandaí, Imbé, Xangri-lá e Capão da Canoa. Além da captação de água superficial das lagoas costeiras, ocorre também a captação de água subterrânea através de poços tubulares, perfurados pela própria Companhia ou por outras empresas, públicas ou privadas.

Durante a perfuração dos poços, são coletadas e descritas amostras das litologias atravessadas durante este processo, além da profundidade em que ocorrem e as vazões preliminares atingidas. Em geral, as principais litologias correspondem a depósitos arenosos eólicos e praias das barreiras holocênicas e pleistocênicas, intercalados com depósitos argilosos dos sistemas lagunares associados, sendo que os depósitos arenosos são os aquíferos captados pelos poços. Já as camadas argilosas se comportam como aquíferos/aquícludes, não podendo servir como fonte de captação de água subterrânea.

Entretanto, principalmente na porção norte do litoral do estado, observa-se a presença de uma camada de material arenoso mais grosso em relação aos sedimentos mais finos das camadas que a limitam. Essa camada diferencia-se tanto das demais, que ficou conhecida pelo apelido de “Sal Grosso” pelas equipes de sondadores. Costuma ocorrer a uma profundidade próxima dos 70 m e apresenta excelentes vazões, chegando a alcançar 300 m³/h em um poço da CORSAN em Tramandaí. Os poços da CORSAN geralmente têm suas seções filtrantes projetadas para captar água desta camada, justamente pelo seu potencial como aquífero, sobretudo por apresentar bons parâmetros, tanto em quantidade, quanto em qualidade.

Por conta da ocorrência da camada de granulometria grossa, a área de estudo contempla sete municípios do litoral norte do Rio Grande do Sul: Osório, Imbé, Tramandaí, Capivari do Sul, Cidreira, Balneário Pinhal e Palmares do Sul (fig. 1). Estes municípios fazem parte da região de maior densidade populacional do litoral do RS, oferecendo, portanto, maior quantidade de dados de poços disponíveis para este estudo.

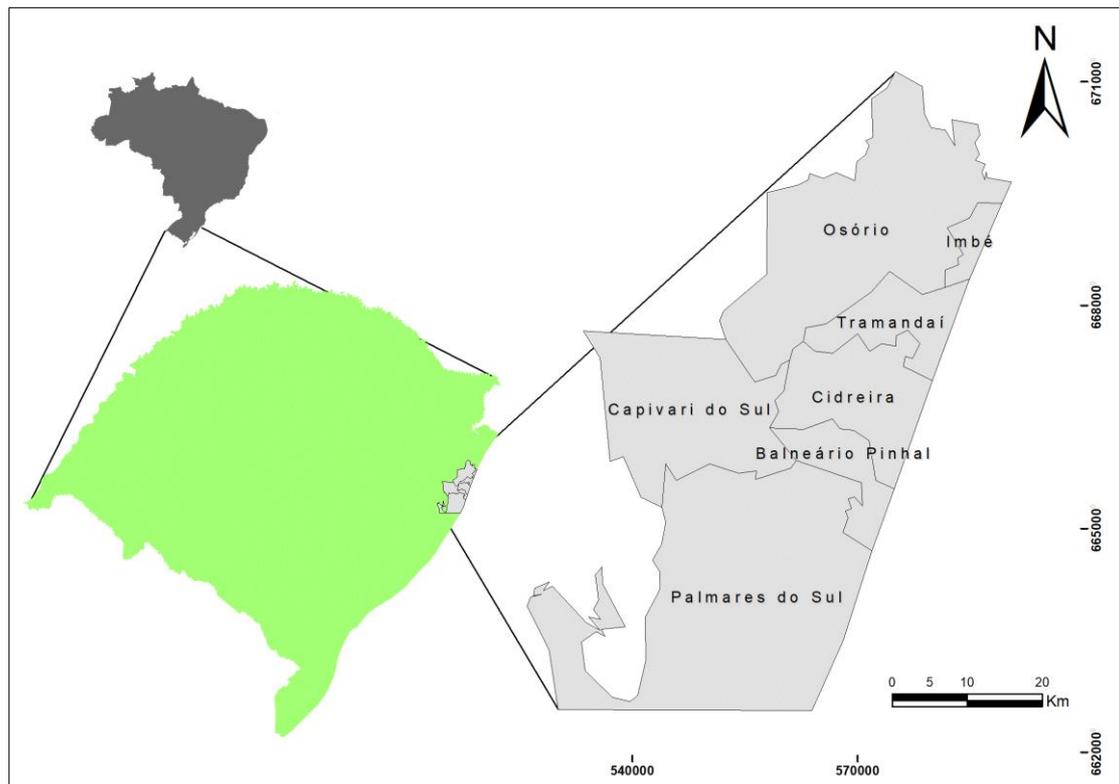


Fig. 1. Mapa de Localização da área de estudo e seus municípios. Adaptado de Wildner, W. et al. (2006).

Segundo o mapa geológico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, de Tomazelli e Villwock (1996), a PCRS apresenta depósitos sedimentares formados a partir de dois tipos de sistemas deposicionais: um sistema de leques aluviais e quatro sistemas do tipo laguna-barreira (fig. 2). Avaliando as características dos depósitos arenosos formados nestas regiões, é possível observar suas altas porosidades e permeabilidades, conferindo a eles qualidade de aquíferos, pois armazenam e transmitem água através dos espaços intergranulares.

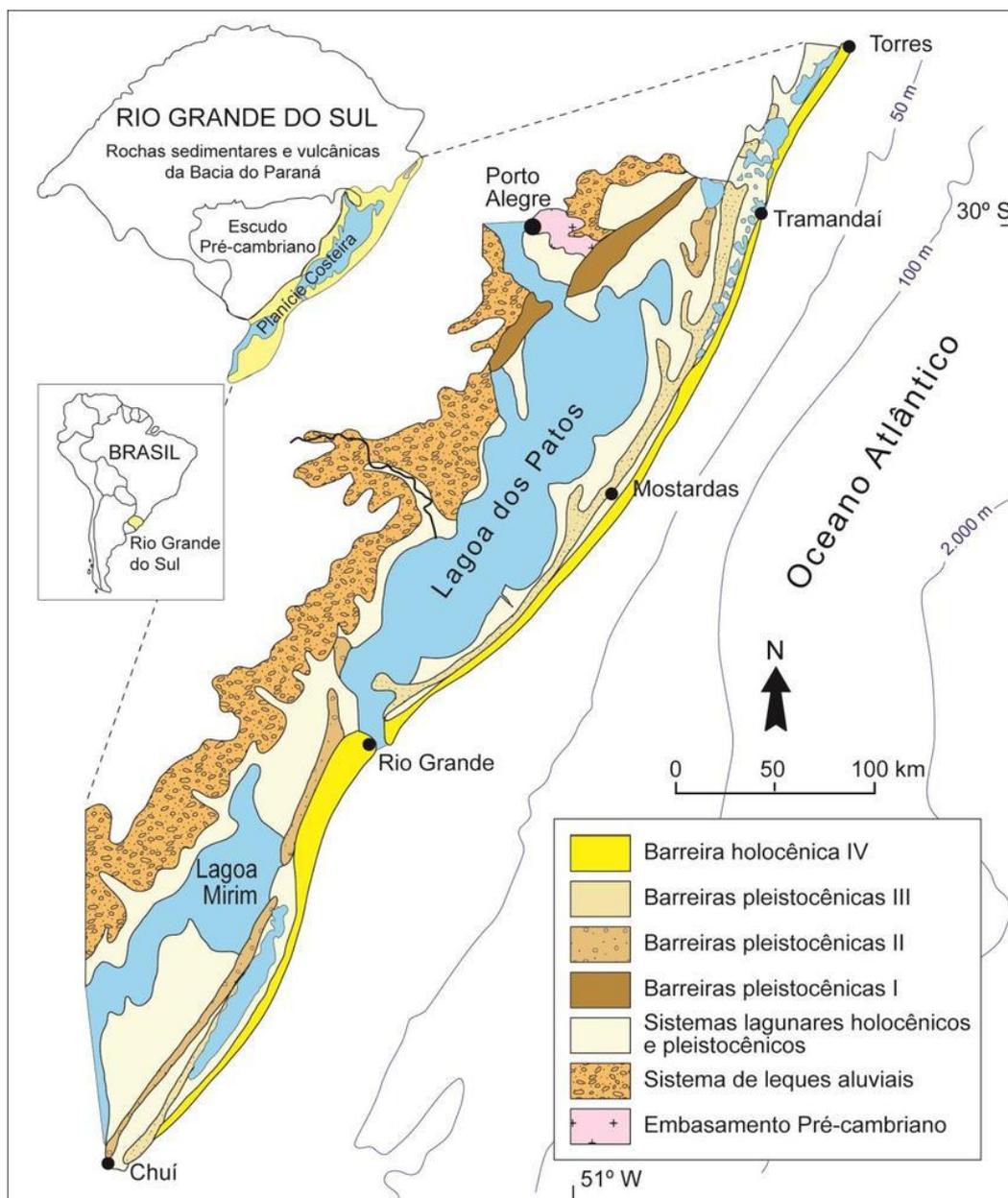


Fig. 2. Mapa geológico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, ilustrando os principais sistemas deposicionais identificados (TOMAZELLI; VILLWOCK, 1996).

As perguntas deste trabalho foram: 1) A gênese desta camada arenosa de granulometria mais grossa, que serve como unidade aquífera, está relacionada à qual tipo de sistema deposicional? 2) Essa camada ocorre no município de Imbé?

A hipótese principal testada foi de que a origem desta camada tenha sido a partir de um sistema aluvial, possivelmente com leques aluviais nas porções mais proximais, passando distalmente para um sistema fluvial. Algumas características deste depósito sustentaram essa hipótese: sua granulometria diferenciada, mais grossa em relação aos sedimentos presentes nos depósitos das barreiras. Além disso, em uma análise visual

preliminar, também é possível perceber que seus sedimentos são mais angulosos e pouco arredondados em relação aos que ocorrem nos depósitos que a limitam.

Outra característica é a profundidade em que esta camada ocorre: por trabalhos anteriores, estimou-se a espessura das barreiras em torno de 15 a 20 m (DILLENBURG; HESP, 2009). Como esta camada de granulometria mais grossa ocorre aproximadamente aos 70 m de profundidade, poderia corresponder a depósitos de um sistema aluvial, disposto em maiores profundidades e, estratigraficamente, mais antigo em relação aos dos sistemas laguna-barreira.

Outra hipótese também testada foi de que a camada ocorreria em subsuperfície dentro dos limites do município de Imbé. A CORSAN já havia feito duas tentativas de perfuração de poços em Imbé no passado, entretanto ambos tiveram que ser tamponados. Um dos poços foi perfurado na década de 70, porém somente até os 21 m, não alcançando a profundidade de ocorrência da possível camada de granulometria grossa (ocorre em geral aos 70 m). A outra tentativa foi mais recente, em 2013, com o poço alcançando os 138 m de profundidade. Mas, desde os 30 m até a base do poço, a litologia descrita na perfuração foi de argilitos, não apresentando características de aquífero neste ponto, portanto.

Assim, partindo do conhecimento sobre a evolução geológica da planície costeira e, sabendo que a camada de granulometria grossa foi identificada em poços de municípios vizinhos, foi levantada a hipótese de que essa camada poderia ser identificada também dentro dos limites do município de Imbé.

A investigação da camada feita em Imbé facilitaria o entendimento desta geometria e se justificaria pelo fato de que o município não capta água subterrânea através de poços, dependendo da adução de água vinda de outros municípios próximos. Assim, acreditou-se que a identificação da camada em subsuperfície representaria uma melhor delimitação deste depósito nesta porção da PCRS, além de que poderia ser possível sugerir futura captação de água subterrânea através desta unidade aquífera para o abastecimento do município.

Ainda, o conhecimento das condições de formação desta camada poderia servir como modelo análogo para outros depósitos deste tipo. A aplicabilidade dos resultados se dá pelo fato de que a determinação da geometria da camada auxilia na predição do reservatório em escala regional.

Como a camada serve como unidade aquífera, importante para suprir a demanda hídrica das populações na região de maior densidade populacional do litoral do Rio Grande do Sul, merece estudos mais aprofundados, justamente para possibilitar um melhor gerenciamento do recurso hídrico subterrâneo contido nela.

1.1 Objetivos e Metas

O objetivo geral do trabalho foi compreender a gênese da camada “Sal Grosso” e identificá-la dentro dos limites do município de Imbé.

Para isso, foram cumpridos os seguintes objetivos específicos na área de estudo:

- Identificar os intervalos de ocorrência da camada (limites de topo e base).
- Caracterizar a variação estratigráfica da unidade na qual a camada está inserida.
- Caracterizar a geometria desta camada a partir da espacialização dos dados de poços e também de levantamentos geofísicos.
- Tentar identificar a camada dentro dos limites do município de Imbé.

2 ESTADO DA ARTE

- Contexto Geológico

A área de estudo encontra-se no contexto geológico da PCRS (fig. 3). A PCRS vem sendo objeto de interesse científico geológico/geomorfológico desde o final do século XIX, quando por ela transitaram os primeiros pesquisadores que observaram e descreveram aspectos diversos de sua paisagem (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000).

Entretanto, desde 1984, a partir de trabalhos realizados por pesquisadores do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), os estudos da evolução geológica na PCRS passaram a ter uma abordagem diferente da que vinha sendo feita. O enfoque passou a ser cronoestratigráfico, e não mais litoestratigráfico. Ou seja, houve uma mudança de paradigma no entendimento dos depósitos sedimentares, que passaram a se basear na identificação e correlação de fácies, reconhecimento de associações de fácies e sua integração em sistemas deposicionais. Dentre esses estudos, destacam-se os trabalhos de Villwock et al. (1986) e Villwock e Tomazelli (1995), que resultaram do mapeamento geológico sistemático da planície costeira (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000). Assim, as fácies sedimentares da PCRS foram interpretadas como produtos de processos de acumulação desenvolvidos em ambientes deposicionais siliciclásticos (BARBOZA et al., 2009).

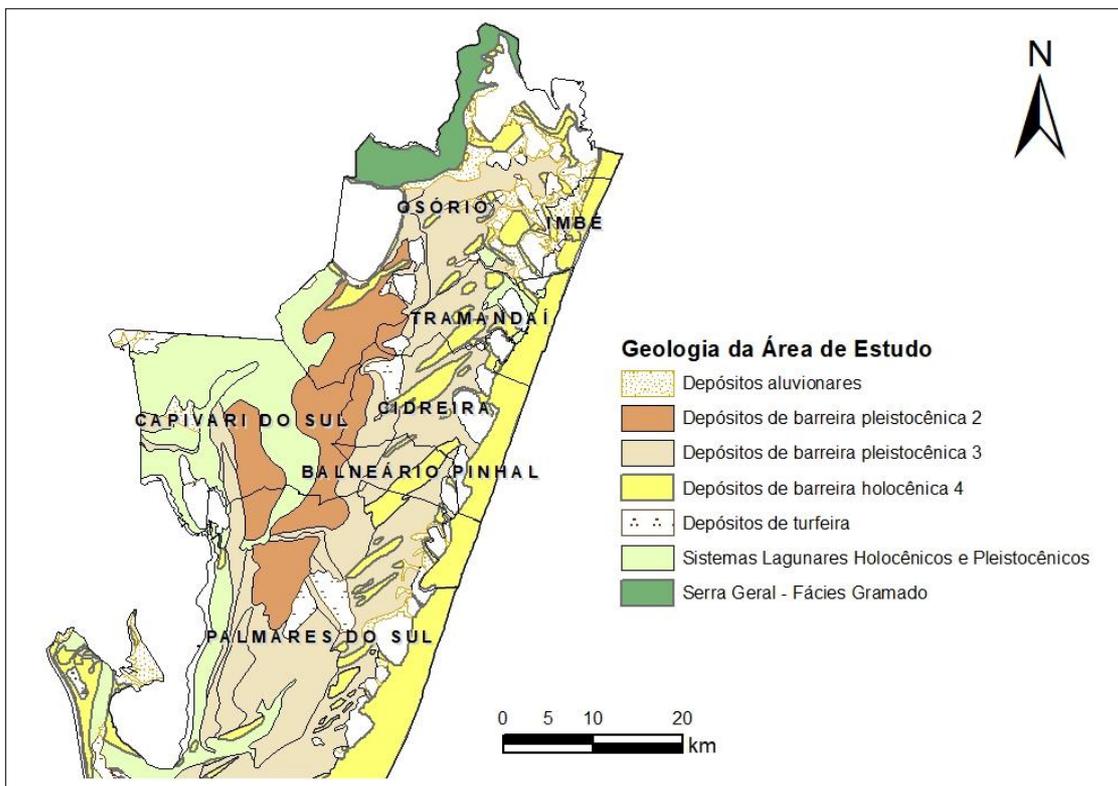


Fig. 3. Principais depósitos aflorantes na área de estudo – Adaptado de Wildner, W. et al. (2006).

Essa acumulação, que formou a margem continental do Rio Grande do Sul, teve início pela deposição de uma grande quantidade de sedimentos terrígenos iniciada a partir da abertura do Oceano Atlântico Sul, há 130 Ma, no início do período Cretáceo (URIEN apud DILLENBURG; HESP, 2009).

Em se tratando de sua história geológica mais recente, a PCRS formou-se, durante o Quaternário, através do desenvolvimento de um amplo sistema de leques aluviais, situado em sua parte mais interna, próximo às áreas-fonte, e do acréscimo lateral de quatro sistemas deposicionais do tipo “Laguna-Barreira” de idades pleistocênicas (I a III) e holocênica (IV) na sua parte mais externa. (VILLWOCK et al., 1986; VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995; TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000). Esses sistemas se desenvolveram a partir de ciclos glacioeustáticos e suas conseqüentes transgressões e regressões. Ou seja, as quatro unidades laguna-barreira foram geradas em tempos distintos, nos últimos 400 ka, tendo se desenvolvido em resposta a sucessivos ciclos de elevação e queda do nível relativo do mar (fig. 4).

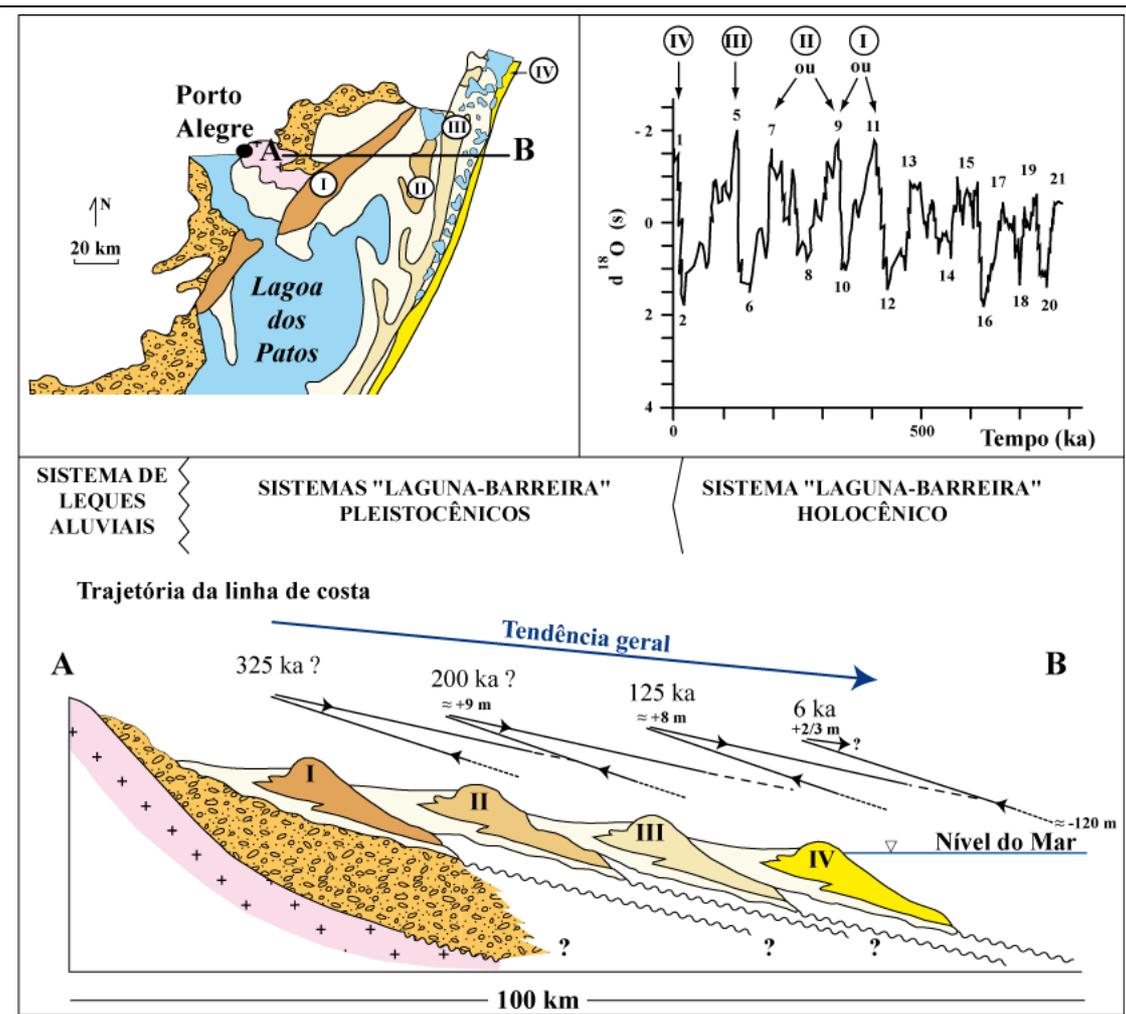


Fig. 4. Perfil esquemático da trajetória da linha de costa para os sistemas deposicionais Laguna-Barreira de I a IV (Modificado por ROSA, 2012 de TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000).

Portanto, as feições mais modernas da região representam apenas os últimos capítulos de uma longa história evolutiva e se encontram superimpostas a feições de escala maior (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000).

Anteriores aos depósitos das quatro barreiras, as acumulações de sedimentos formadas a partir do sistema de leques aluviais, segundo Tomazelli e Villwock (2000), englobam o conjunto de fácies sedimentares resultantes de processos de transporte associados aos ambientes de encosta das terras altas adjacentes à planície costeira. O sistema de leques aluviais ainda pode ser considerado como parcialmente ativo no presente, uma vez que seus processos de transporte, mesmo que em pouca intensidade, ainda são observados hoje em dia. Sua implantação ocorreu, provavelmente, no final do Terciário e, ao longo do tempo, a intensidade dos processos variou muito, controlada que foi, em grande parte, pelas variações climáticas com suas implicações nas taxas de precipitação e no desenvolvimento da cobertura vegetal. Existem fortes evidências de que as flutuações entre climas áridos e úmidos que ocorreram no Terciário superior e Quaternário tiveram grande influência no desenvolvimento deste sistema deposicional.

As características composicionais, texturais e estruturais das fácies geradas no Sistema de Leques Aluviais dependem, em grande parte, da natureza da área-fonte submetida à erosão, incluindo-se aí, principalmente, a composição das rochas e a energia do relevo (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000). Mas, de modo geral, ao se fazer uma comparação simplificada entre os depósitos de leques aluviais e os das barreiras, fica possível perceber uma tendência mais “imatura” daqueles sedimentos oriundos dos leques. Isso reflete em parte a pouca distância da área fonte, enquanto que os sedimentos das barreiras se apresentam muito mais “maduros”, pela longa história de retrabalhamento envolvida até seu atual local de deposição.

Segundo Dillenburg e Hesp (2009), os sedimentos cenozóicos da margem continental são essencialmente terrígenos, constituídos por areias e lamias, com uma minoria de restos de conchas (menos de 5%). Em se tratando dos sedimentos costeiros do Holoceno, são dominados por grãos de quartzo de granulometria muito fina a média nos depósitos de barreira, e grãos de quartzo de granulometria fina a média e lamias nos depósitos lagunares. Estas características se dão em um contexto geológico de superfície, conforme ilustra a figura 3.

Estudos como o de Dillenburg e Barboza (2014), com seções geradas a partir de levantamentos geofísicos com o uso do GPR (*Ground Penetrating Radar*), possibilitam a visualização da disposição dos depósitos sedimentares em subsuperfície, demonstrando a espessura das barreiras (fig. 5). Seções esquemáticas (fig. 6) apresentadas por Rosa (2012) reforçam a questão das espessuras dos depósitos associados aos sistemas laguna-barreira, tais espessuras, somadas, não devem alcançar a profundidade na qual, em geral, está disposta a camada foco deste estudo.

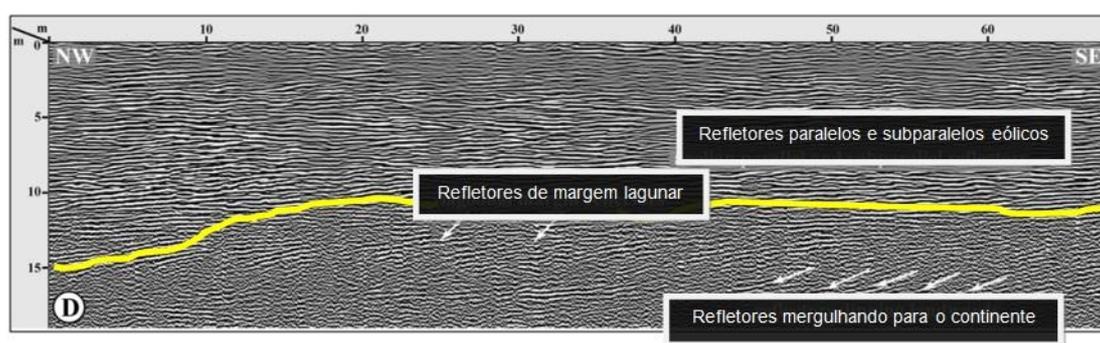


Fig. 5. Seção de georradar correspondente a sistema de barreiras próximo a Tramandaí-RS (Modificado de DILLENBURG; BARBOZA, 2014).

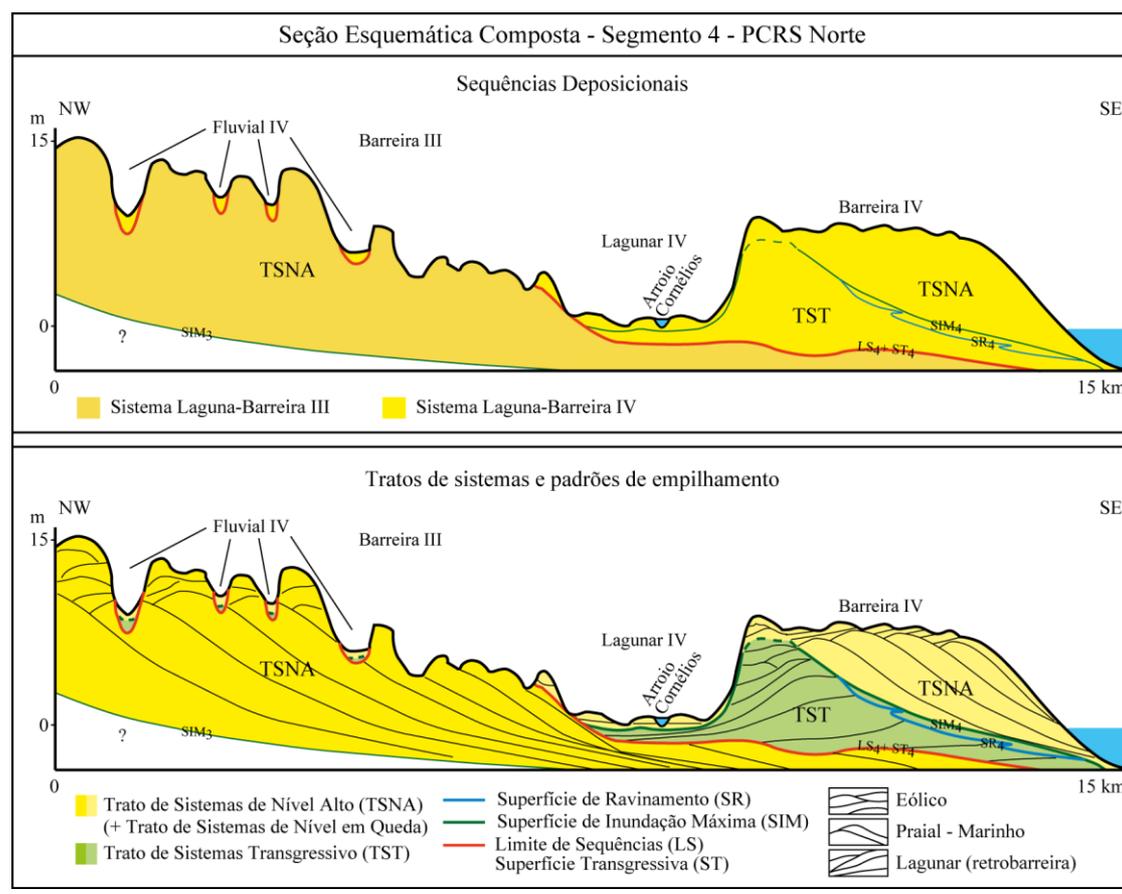


Fig. 6. Seções esquemáticas compostas dos depósitos dos sistemas laguna-barreira nas porções média e norte da planície costeira do RS, mostrando suas espessuras (Traduzido de ROSA, 2012).

- Contexto Hidrogeológico

Conforme consta no Relatório Final do Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (MACHADO; FREITAS, 2005), uma etapa fundamental em qualquer investigação de águas subterrâneas é a definição e mapeamento das unidades aquíferas e confinantes (unidades hidroestratigráficas) na subsuperfície da área a ser estudada.

A definição proposta por Seaber (1982, 1986, 1988) para unidade hidroestratigráfica, é que esta é “um corpo rochoso distinto por sua porosidade e permeabilidade” (MACHADO; FREITAS, 2005). Tomando esta definição como base, ainda que os sedimentos da camada arenosa de granulometria grossa estejam inconsolidados - não compoem, portanto, um corpo rochoso - esta camada apresenta, sim, distinção em termos de porosidade e permeabilidade.

De acordo com o Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, de 2005, feito em escala regional de 1:750.000, através de convênio do Governo do Rio Grande do Sul com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), os sete municípios da área de estudo estão situados predominantemente sobre os Sistemas Aquíferos Quaternário Costeiro I e Quaternário Costeiro II (fig. 7). Pequenas porções do município de Osório cobrem também partes do Sistema Aquífero Serra Geral II e do Sistema Aquífero Serra Geral III.

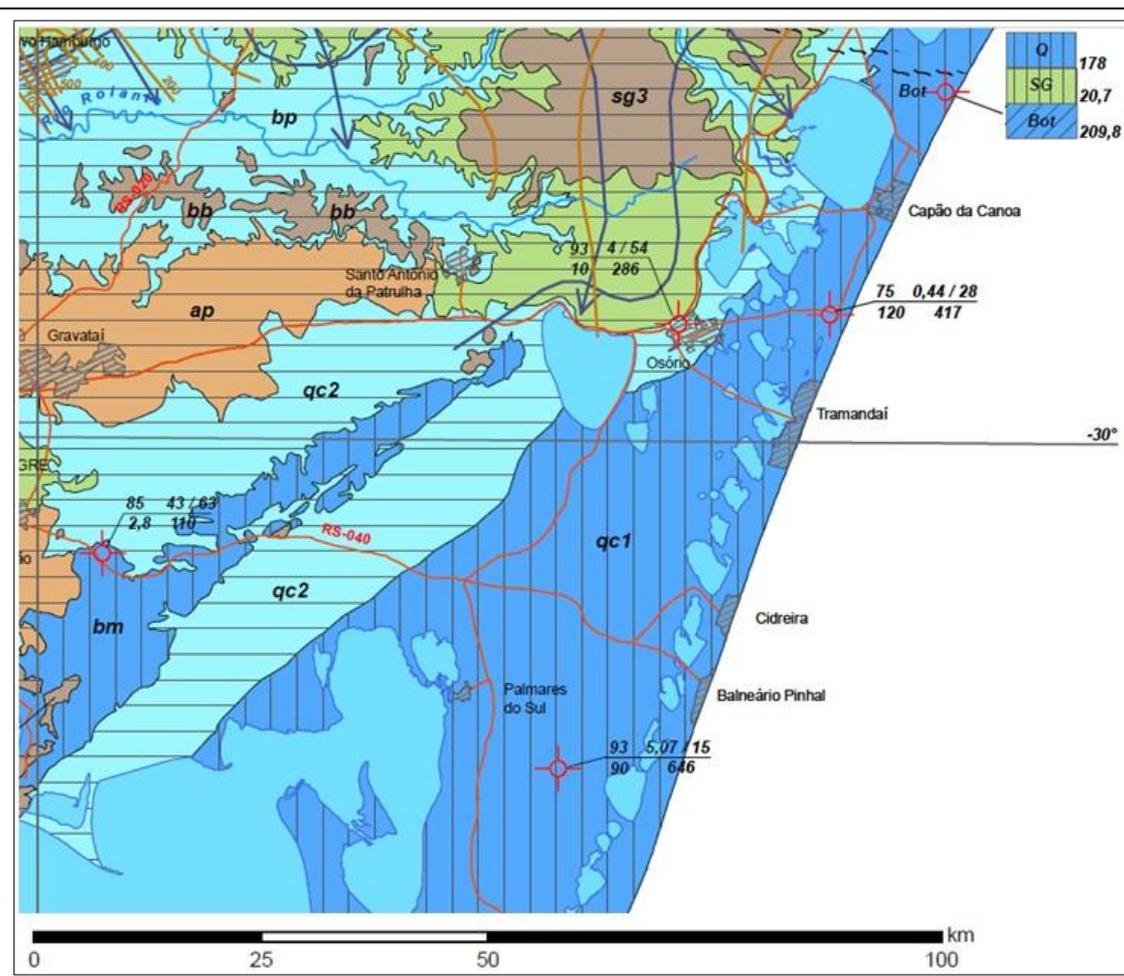


Fig. 7. Recorte do Mapa Hidrogeológico do RS na porção da área de estudo, situada sobre os Sistemas Quaternário Costeiro I (qc1) e Quaternário Costeiro II (qc2). (Adaptado de MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. D. 2005).

Para estes Sistemas aquíferos, o Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul apresenta as seguintes descrições:

- Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I. Compreende todos os aquíferos associados com os sedimentos da planície costeira do Estado, desenvolvendo-se desde o Chuí até Torres. Compõe-se de uma sucessão de camadas arenosas inconsolidadas de granulometria fina a média, esbranquiçadas, intercaladas com camadas siltico-

arenosas e argilosas. As capacidades específicas em geral são altas, ultrapassando a $4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. As salinidades são inferiores a $400 \text{ mg}/\text{L}$, e eventualmente são encontradas águas cloretadas com maior teor salino.

- Sistema Aquífero Quaternário Costeiro II. Compreende os aquíferos relacionados com os sedimentos da planície costeira, desenvolvendo-se desde Santa Vitória do Palmar até Torres, predominantemente na região lagunar interna e junto aos contrafortes da Serra Geral. Compõem-se de uma sucessão de areias finas inconsolidadas, esbranquiçadas e argila cinza. No topo, os primeiros metros são pelíticos, bastante cimentados. As capacidades específicas variam de baixas a médias, entre $0,5$ e $1,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Os sólidos totais dissolvidos variam entre 600 e $2.000 \text{ mg}/\text{L}$.

Em subsuperfície, porém, não há uma diferenciação mais detalhada do contexto geológico dos depósitos. Percebe-se esta simplificação inclusive nos relatórios construtivos de poços que, em sua maioria, descrevem o contexto de hidrogeologia local de forma bastante genérica, justamente pelo fato de não haver, em geral, descrições mais detalhadas das unidades em profundidade. Por sua vez, os perfis litológicos oriundos das perfurações de poços da CORSAN fornecem descrições das diferentes litologias em profundidade a partir de amostras de perfuração, ainda que simplificadas, conforme pode ser observado no exemplo abaixo (fig. 8).

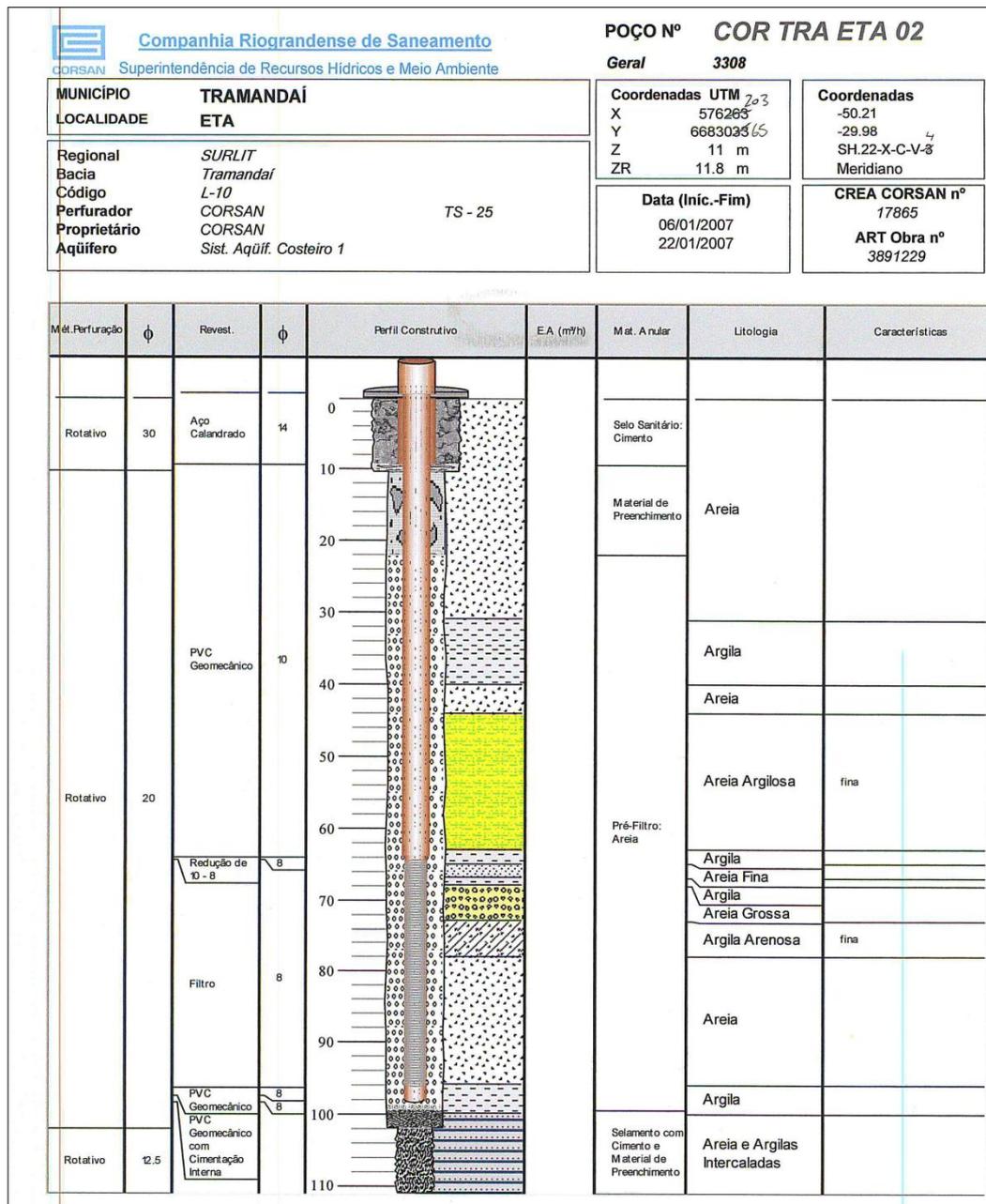


Fig. 8. Exemplo de um perfil construtivo de poço CORSAN no município de Tramandaí, com sua descrição litológica. (Adaptado de dados disponibilizados pela CORSAN).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho contemplou diferentes métodos, a fim de identificar a ocorrência da camada “Sal Grosso” na área de estudo. Esses métodos incluíram a análise de perfis litológicos de poços e, também, levantamentos geofísicos, visando identificá-la de forma indireta. Como última etapa, o método de geoprocessamento foi utilizado, através do *software* ArcGIS®, para a integração dos dados em um projeto em SIG (Sistema de Informações Geográficas), possibilitando a interpolação dos dados e a geração de mapas.

Tanto a análise de perfis litológicos, quanto os levantamentos geofísicos tiveram a finalidade de identificar os limites de topo e de base da camada “Sal Grosso”.

Importante salientar que, como uma das metas do trabalho foi a de caracterizar a geometria da camada, então, tanto a identificação, quanto a não identificação da camada nos perfis dos poços e nos levantamentos geofísicos tiveram o mesmo valor de importância, no sentido de que a não ocorrência da camada também possibilitou definir os limites da sua geometria.

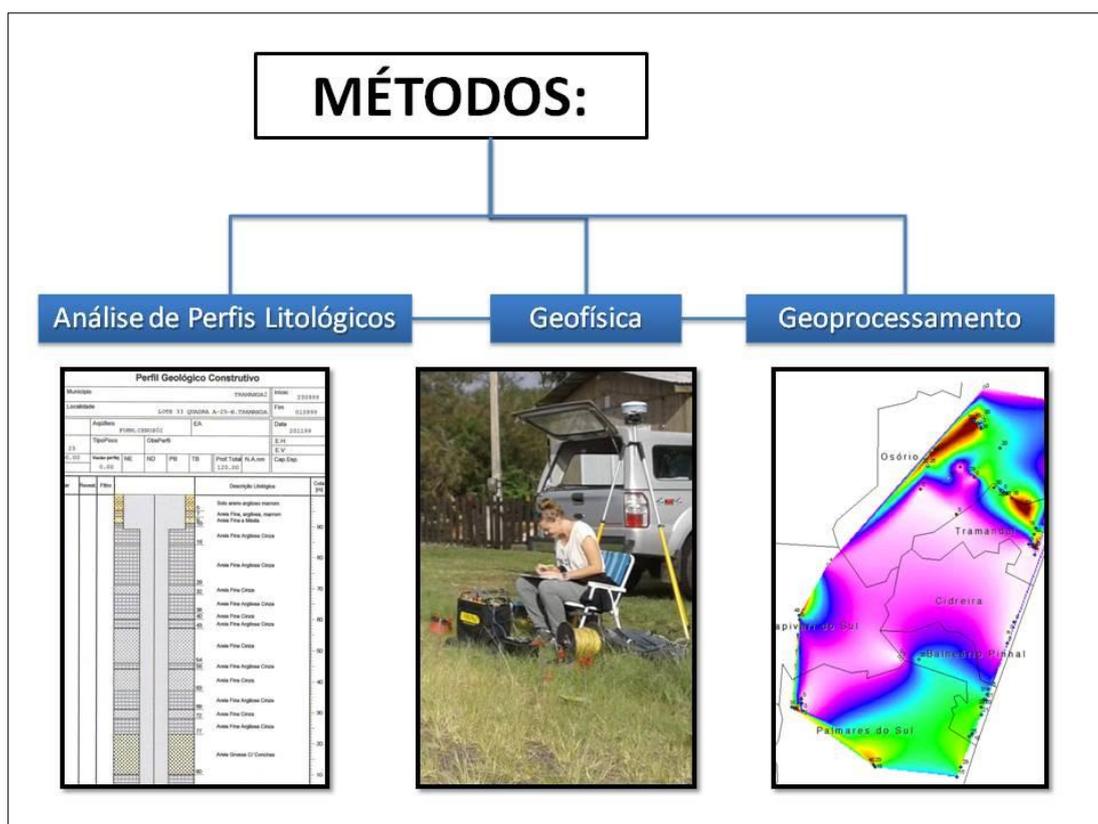


Figura 9. Métodos utilizados no trabalho, com análise de perfis litológicos de poços, geofísica e, para a integração dos dados, o geoprocessamento. (Elaborado pela autora).

3.1 Dados Diretos

Como primeira etapa do trabalho, foi feita a seleção dos perfis de poços da CORSAN existentes para a área de estudo, e que serviriam aos objetivos do trabalho. Basicamente, esses perfis deveriam conter a descrição litológica dos diferentes intervalos encontrados em subsuperfície, com suas profundidades de ocorrência. Dados construtivos do poço, incluindo profundidade, intervalos das seções filtrantes e características produtivas, extraídas a partir de ensaios de bombeamento, também foram importantes na análise de ocorrência da camada “Sal Grosso”.

As equipes de campo da CORSAN, ao perfurarem poços para captação de água subterrânea, realizam a coleta do material que vai sendo perfurado. O material é separado em amostras à medida que se percebe alguma mudança na litologia. Em geral, para rochas sedimentares, esta mudança consiste em contrastes de cor, granulometria ou de composição, características facilmente observáveis no campo, ao longo da perfuração. As amostras são, então, trazidas do campo etiquetadas, constando seus limites de profundidades, e acondicionadas em sacos plásticos. Posteriormente, na volta do campo, são acondicionadas em caixas de madeira (fig. 10), e é feita a descrição litológica de cada um dos intervalos. A partir dessas descrições, são gerados os perfis litológicos digitais para cada um dos poços da CORSAN, a partir de *software* específico.



Figura 10. Exemplo de amostra de material perfurado por poço, com separação de acordo com as profundidades, e acondicionadas em caixa de madeira. (Elaborado pela autora).

Para este trabalho, foram selecionados 45 perfis litológicos de poços da CORSAN distribuídos na área de estudo. Através desses perfis foi possível identificar, ou não, a camada “Sal Grosso”. Um exemplo de perfil de poço pode ser visto abaixo (fig. 11), de um poço da CORSAN em Tramandaí, em que a camada foi identificada no intervalo entre 77 a 90 metros de profundidade.

Para separar os intervalos de ocorrência da camada aquífera, antes disso, foi necessário resolver uma questão chave: a definição da camada “Sal Grosso” no âmbito deste trabalho.

Do ponto de vista da captação de água através de poços tubulares, a “Sal Grosso” é definida pelos intervalos em que ela apresenta características de aquífero, sendo capaz de armazenar e transmitir água subterrânea através dos espaços intergranulares, fornecendo vazão para o poço que a tenha alcançado. Ou seja, o intervalo da camada no perfil seria definido justamente onde ela oferecesse vazão, com possibilidade de captação através de seções filtrantes, e apresentando a textura característica. Somente com o atendimento a esses critérios é que, por exemplo, um sondador experiente em perfurações de poços no litoral norte do estado diria estar se tratando da camada “Sal Grosso”, pois, para ele, ela teria esta definição.

Por outro lado, do ponto de vista estratigráfico, a camada poderia não apresentar características aquíferas em determinadas porções da deposição, porque a deposição não é necessariamente homogênea em toda sua extensão, podendo haver variações espaciais nas suas características. Para exemplificar, um depósito formado a partir de um sistema de leque aluvial, de geometria radial, poderia apresentar melhores condições como potencial aquífero nas suas porções centro-proximas, em relação às porções mais distais. Distalmente, a energia do ambiente teria uma diminuição progressiva, com perda da capacidade de transportar sedimentos maiores, formando depósitos de menor granulometria. O espaço intergranular seria reduzido nessas porções, podendo inclusive não oferecer a possibilidade de armazenar, nem de transmitir água subterrânea.

Assim, a camada “Sal Grosso” possivelmente oferece extensão e volume maiores quando considerada do ponto de vista estratigráfico, já que não há a restrição da questão produtiva, em termos hidrogeológicos. Do ponto de vista estratigráfico, ela é considerada na sua integralidade dentro do sistema deposicional a que pertence, independentemente de oferecer condições de captação de água subterrânea através de poços.

Como o entendimento da gênese da camada “Sal Grosso” é um dos pontos chave deste trabalho, e, para isso, é importante entender a geometria em um contexto de sistema deposicional, optou-se por trabalhar com os dados a partir do ponto de vista estratigráfico. Isso significou um olhar menos restritivo no momento de definir os intervalos da camada a partir dos perfis dos poços. Na prática, ao invés de considerá-la como sendo “Sal Grosso” apenas quando atendesse aos critérios de granulometria, vazão e intervalo dos filtros, houve maior flexibilidade, no sentido de entendê-la como parte do mesmo depósito, mesmo nas situações em que não oferece características de aquífero.

Por exemplo, a análise de um poço com a ocorrência de um intervalo de granulometria grossa, separado no topo e na base por materiais mais finos, e sem seção filtrante (caso do poço da fig. 11), ainda assim poderia ser considerado no estudo, a partir da análise de poços próximos e do contexto

geral de sua ocorrência. Pode parecer uma observação banal, mas levando em conta a grande variação no padrão dos perfis analisados, foi importante estabelecer este tipo de raciocínio para auxiliar na tomada de decisão na identificação e definição dos limites da camada de interesse para cada um dos perfis analisados.

Desta forma, foi realizada a identificação da ocorrência da camada nos perfis selecionados, e os dados oriundos dessa análise foram organizados em uma planilha Excel[®] (fig. 12), que serviu como banco de dados preliminar para o trabalho.

Também, através dos perfis litológicos, foi feita a análise da variação estratigráfica. A camada aquífera está inserida em uma unidade deposicional, evidenciada nos poços. Infelizmente, como as descrições litológicas são realizadas com outro objetivo, a simplificação e não padronização das informações não permite detalhar a estratigrafia das sondagens. Ainda assim, foi possível avaliar as principais variações estratigráficas presentes.

Essa análise consistiu na identificação das fácies e seu agrupamento em associações, as quais representam as principais unidades deposicionais da área de estudo. Como a descrição não é padronizada, algumas inferências e a correlação entre poços localizados em áreas próximas foram necessárias para a determinação dos sistemas deposicionais. O empilhamento destes sistemas foi analisado de acordo com os pressupostos da estratigrafia de sequências, a fim de contextualizar a unidade “Sal Grosso”, foco deste estudo, na geologia regional. Os resultados desta análise foram inseridos na planilha de dados, a fim de espacializar as variações observadas.

Em relação às espessuras e às profundidades de base das unidades deposicionais aluvial e marinha, é necessário fazer uma importante observação. Os perfis podem ter uma limitação na profundidade, em função da própria profundidade total do poço ou, no caso das SEVs, da profundidade teórica atingida. Assim, quando as profundidades dos depósitos tinham como limite a profundidade do poço, assumia-se a própria profundidade limite do poço como sendo sua base. No caso das SEVs, assumia-se a profundidade teórica de alcance, no caso, de 100 metros (por conta da abertura máxima dos eletrodos de 400 metros). Assim, possivelmente algumas profundidades de base, e, conseqüentemente, algumas espessuras desses depósitos estão subestimadas. Isso vale para os depósitos dos sistemas aluvial e marinho. No caso dos depósitos do sistema laguna-barreira, suas profundidades de base sempre ocorreram mais rasas que a profundidade teórica das SEVs ou que as profundidades limite dos poços.

Município	Nome	X	Y	SAL GROSSO			MARINHO			BARREIRA		
				topo (m)	base (m)	espessura (m)	topo (m)	base (m)	espessura (m)	topo (m)	base (m)	espessura (m)
Palmares do Sul	COR PDS 03	547230	6653091	52	56	4	18	52	34	0	18	18
Palmares do Sul	COR PDS 02A	547374	6652020	57	59	2	22	57	35	0	22	22
Palmares do Sul	COR PDS 04	547151	6653636	53	53	0	23	53	30	0	23	23
Palmares do Sul	COR PDS QUN 01	547374	6652020	40	40	0	30	40	10	0	30	30
Palmares do Sul	COR PDS QUN 04	569267	6642556	87	102	15	16	87	71	0	16	16
Palmares do Sul	COR PDS 05	545777	6652518	58	89	31	38	58	20	0	38	38
Palmares do Sul	COR PDS QUN 05	569804	6643981	72	101	29	30	72	42	0	30	30
Palmares do Sul	COR PDS GRV 01	557611	6643984	66	84	18	30	66	36	0	30	30
Palmares do Sul	COR PDS GRV 02	557382	6644311	62	102	40	32	62	30	0	32	32
Palmares do Sul	COR PDS GRV 02A	557396	6644305	64	93	29	30	64	34	0	30	30
Palmares do Sul	COR PDS 06	546222	6652321	60	127	67	37	60	23	0	37	37
Balneário Pinhal	COR BPI 01	572692	6651456	83	104	21	30	83	53	0	30	30
Balneário Pinhal	COR BPI MAG 01	571415	6648649	84	102	18	21	84	63	0	21	21
Balneário Pinhal	COR BPI TUV 01	563819	6659342	70	90	20	16	70	54	0	16	16
Balneário Pinhal	COR BPI 04A	572666	6652526	74	102	28	32	74	42	0	32	32
Balneário Pinhal	COR BPI MAG 02	571004	6648341	74	99	25	40	74	34	0	40	40
Balneário Pinhal	COR BPI 02	573060	6653640	74	94	20	28	74	46	0	28	28
Balneário Pinhal	COR BPI 03	573702	6655091	72	87	15	27	72	45	0	27	27
Balneário Pinhal	COR BPI 05	573538	6654379	74	105	31	20	74	54	0	20	20
Balneário Pinhal	COR BPI 06	573321	6653496	74	95	21	27	74	47	0	27	27
Capivari do Sul	COR CPV 01	546877	6665072	54	63	9	22	54	32	0	22	22
Capivari do Sul	COR CPV 02	546862	6665644	54	102	48	22	54	32	0	22	22
Cidreira	COR CID 01	576353	6661648	126	126	0	25	126	101	0	25	25
Cidreira	COR CID SLS 01A	577366	6664711	80	80	0	23	80	57	0	23	23
Imbé	COR IMB 01	583930	6683632	138	138	0	30	138	108	0	30	30
Imbé	COR IMB ALB 01	585388	6687485	21	21	0	21	21	0	0	21	21
Osório	COR OSO ATL 03A	587375	6694839	56	74	18	31	56	25	0	31	31
Osório	COR OSO ATL 02	587941	6695107	67	80	13	20	67	47	0	20	20
Osório	COR OSO 01	571618	6693335	40	99	59	8	40	32	0	8	8
Osório	COR OSO 03	565067	6687022	60	82	22	30	60	30	0	30	30

Figura 12. Organização dos dados em Planilha Excel[®]. (Elaborado pela autora).

Além dos poços da CORSAN, foi possível encontrar mais poços que serviriam aos objetivos deste trabalho na plataforma do SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas), da CPRM (Serviço Geológico do Brasil). Assim, foram adicionados mais nove perfis de poços ao banco de dados deste trabalho.

Os perfis de poços disponíveis para o estudo contabilizaram, portanto, um total de 54 na área, sendo 45 deles oriundos de poços da CORSAN, e nove da plataforma do SIAGAS.

3.2 Dados Indiretos

Outra forma possível de identificação da camada foi feita indiretamente, através do método geofísico da eletrorresistividade, utilizando a técnica da sondagem elétrica vertical (SEV).

Em função do parâmetro estudado, a geofísica pode ser dividida em quatro grupos: gravimétrico, magnetométrico, geoeletrônicos e sísmicos. Os métodos geoeletrônicos (exceção do potencial espontâneo e magnetotelúrico) e os sísmicos são artificiais, ou seja, o campo físico a ser estudado é criado por meio de equipamentos apropriados (BRAGA, 2016).

Pertencente ao grupo dos métodos geoeletrônicos, a eletrorresistividade é um método geofísico cujo princípio está baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais. Este parâmetro físico é aplicável para a caracterização da integridade física de materiais geológicos, em termos de

alteração, fraturamento, saturação, etc., além de possibilitar a identificação de litotipos sem a necessidade de amostragem ou reconhecimento direto (BRAGA, 2016). A técnica da sondagem elétrica vertical é caracterizada pelo alinhamento de quatro eletrodos na mesma direção, com ponto central e movimentação em sentidos opostos e apresenta excelentes resultados, podendo ser utilizado para estudos profundos de cunho acadêmico. Ainda segundo Braga (2016), para um maior desempenho dessa técnica, as investigações devem ser efetuadas, preferencialmente, em terrenos compostos de camadas lateralmente homogêneas em relação ao parâmetro físico estudado, e limitado por planos paralelos à superfície do terreno – meio estratificado. Ou seja, as condições dos depósitos da planície costeira do RS apresentam conformidade com a técnica.

O mesmo autor observa que existe certa confusão envolvendo os parâmetros medidos e os procedimentos no campo. Assim, propôs a seguinte classificação:

Método	Parâmetro físico medido	<i>Resistividade, Cargabilidade, Potencial Espontâneo, etc.</i>
Técnica	Tipo de investigação – horizontal (ao longo de uma seção) e/ou vertical (pontual)	<i>Sondagens, Caminhamentos e Perfilagens</i>
Arranjo	Tipo de disposição dos eletrodos no desenvolvimento da técnica	<i>Schlumberger, Wenner, Dipolo-Dipolo, Axial, etc.</i>

Figura 13. Classificação proposta, através de três critérios. (Adaptado de BRAGA, 2016).

A SEV, como se pode observar na figura 13, é uma das técnicas possíveis dentro do método geoeletrico, e mede o parâmetro resistividade. Dentre os diversos arranjos que podem ser desenvolvidos através desta técnica, existem dois principais: *Schlumberger* e *Wenner*. De acordo com Braga (2016), O arranjo *Schlumberger* pode ser considerado superior, e é adotado na maioria dos trabalhos desenvolvidos no Brasil. Ainda segundo o autor, as leituras com o arranjo *Schlumberger* estão menos sujeitas às variações laterais no parâmetro físico medido, irregularidades na superfície topográfica e ruídos artificiais. Com isso, as leituras apresentam maior precisão, resultando numa interpretação mais próxima da realidade e coerente com os princípios gerais que norteiam a técnica da SEV. Desta forma, foi o arranjo *Schlumberger* o adotado neste trabalho, também pelo fato de ser este o arranjo que a CORSAN costuma desenvolver em seus trabalhos de campo, quando utiliza a técnica da SEV.

A CORSAN conta com um equipamento eletrorresistivímetro de modelo *Supersting* R1 IP, que vem sendo utilizado pelos geólogos da Companhia desde junho de 2016 em levantamentos de campo, visando à

identificação de aquíferos, tanto fraturados, quanto granulares. No primeiro semestre de 2017, uma equipe de geologia da CORSAN realizou levantamentos geofísicos utilizando a técnica da SEV no litoral do estado, buscando identificar locais promissores para a perfuração de poços tubulares profundos. Como algumas dessas SEVs (cinco delas) foram feitas em locais inseridos na área deste trabalho, foi possível incluí-las na base de dados.

Ainda, para aumentar a quantidade de dados disponíveis para este estudo, foi realizado um trabalho de campo em que foram levantadas 11 sondagens elétricas verticais, buscando a identificação da camada. O equipamento geofísico utilizado foi o eletrorresistímetro de propriedade da CORSAN, sendo que a Companhia também ofereceu apoio técnico e logístico nas etapas de campo e de pós-campo. Geólogos do DGPP (Departamento de Gestão e Perfuração de Poços) e do PAP (Programa de Açudes e Poços) auxiliaram na aquisição, no processamento e na interpretação dos dados. Os levantamentos foram apoiados por um equipamento GNSS *Stonex*, modelo *S8 Plus*, do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO) da UFRGS.

3.2.1 Etapa de Campo

O trabalho de campo foi realizado entre os dias 5 e 8 de junho de 2018, nos municípios de Imbé, Osório e Tramandaí, e teve o objetivo de investigar a ocorrência da camada “Sal Grosso”, adensando os dados na área de estudo. Acompanharam a aluna no campo: a professora orientadora Maria Luiza Correa da Camara Rosa e o motorista Claudio Santana Lopes, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e os geólogos da CORSAN Maiquel Kochhann Lunkes e Lucas da Motta (supervisor). A previsão inicial era de levantarmos oito sondagens elétricas verticais, uma em cada turno dos quatro dias disponíveis para o campo. Como as condições de tempo foram favoráveis, o rendimento foi maior que o esperado, resultando no levantamento de onze SEVs.

Os locais das SEVs deste trabalho foram escolhidos de modo que ficassem dispostos ao longo de duas seções perpendiculares entre si, uma de orientação transversal (*dip*) e outra de orientação longitudinal (*strike*). Como foi possível realizarmos mais levantamentos que o planejado, levantamos mais três SEVs em uma segunda seção *dip*, mais ao sul, ampliando a malha de pontos. Também, buscou-se investigar a ocorrência da camada “Sal Grosso” em Imbé, através de duas SEVs que foram feitas dentro dos limites do município.

Em relação ao planejamento dos locais das SEVs em função da investigação da gênese da camada, como a dimensão de largura das barreiras costuma ser limitada, e uma possibilidade, ainda que não fosse hipótese do presente trabalho, era de que a camada “Sal Grosso” pudesse ser um depósito de barreira, a seção *dip* foi feita de modo a exceder esta dimensão, para avaliar a continuidade da camada estudada nesta direção. Outra possibilidade, esta concordante com a hipótese deste trabalho, era de

que a camada “Sal Grosso” pudesse ser um depósito de sistema fluvial na sua porção mais distal. Como possíveis paleocanais nesta região deveriam se apresentar perpendiculares à linha de costa, e de forma mais restrita, a seção *strike* poderia ajudar a elucidar esta questão.

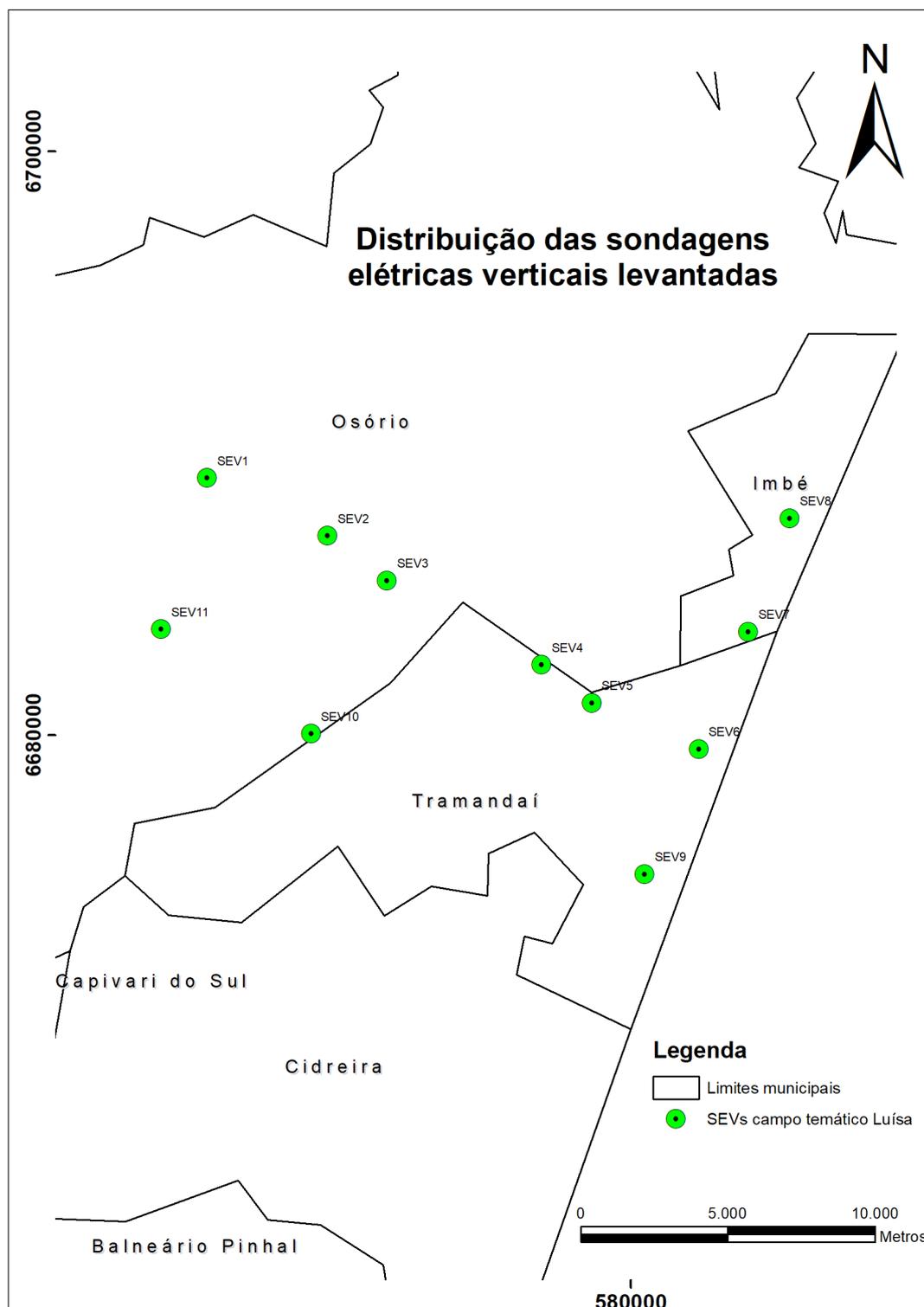


Figura 14: Mapa de distribuição dos pontos de SEV's levantados no campo. (Elaborado pela autora).

Buscando atender a estas questões, o trabalho de campo resultou em onze sondagens elétricas verticais, dispostas conforme mapa acima (fig. 14).

Conforme explicado anteriormente, a técnica da sondagem elétrica vertical é pontual e investiga verticalmente o parâmetro resistividade, a diferentes profundidades. Caracteriza-se pelo alinhamento de quatro eletrodos, de forma simétrica, com um ponto central e movimentação em sentidos opostos (fig. 15). O arranjo de campo adotado no desenvolvimento das SEVs neste trabalho foi o de *Schlumberger*. Além das características já apontadas, a praticidade no uso deste arranjo está em realizar o deslocamento de apenas dois eletrodos (AB), o que é uma grande vantagem em termos de facilitar o desenvolvimento do trabalho.

Em geral, uma equipe de três pessoas é ideal para os levantamentos, sendo que uma delas fica no ponto central, operando o equipamento, enquanto as outras duas se deslocam em sentidos opostos, realizando as trocas dos eletrodos para cada novo arranjo de medida. Desta forma realizamos o trabalho de campo, com a aluna operando o equipamento, enquanto a orientadora e um dos geólogos da CORSAN faziam a mudança na posição dos eletrodos.

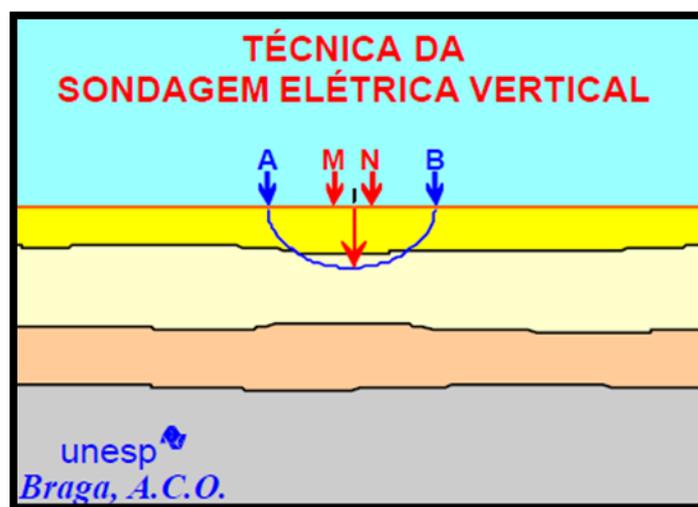


Figura 15: Disposição dos eletrodos de corrente (AB) e de recepção da diferença de potencial (MN) na técnica de SEV. (Adaptado de BRAGA, 2016).

Cada levantamento ocorreu conforme a descrição pormenorizada a seguir. Em primeiro lugar, estando no local planejado, analisamos a viabilidade do levantamento, incluindo questões de segurança, como o trânsito de veículos, e a viabilidade técnica, como a possibilidade de cravar os pinos nas posições em que deveriam ser feitas as medidas. Redes de alta tensão próximas à linha de expansão ABMN também foram evitadas, já que

poderiam interferir na qualidade dos resultados, uma vez que provocam uma distorção do campo elétrico, alterando os resultados de maneira contínua, afetando grande parte da curva de campo (BRAGA, 2016). O planejamento prévio, utilizando a ferramenta Google Earth[®] (como foi feito neste trabalho), pode ser muito importante, mas não garante a viabilidade do levantamento, já que as imagens podem estar desatualizadas ou não apresentarem questões só possíveis de serem percebidas *in situ*. Como, por exemplo, neste trabalho, ocorreu em um dos pontos previamente estabelecidos para a execução de uma SEV. O ponto estava dentro de uma propriedade particular, sendo necessária uma autorização para realizar o levantamento. Neste caso, optamos por não insistir no local do ponto, já que ainda havia a possibilidade de não nos ser concedida a permissão, demandando tempo de espera. Percorremos a área em busca um local próximo possível e conseguimos encontrar um novo local, ainda dentro do alinhamento planejado, onde fizemos o levantamento. Essa flexibilidade é fundamental para o sucesso do trabalho de campo, o qual, em geral, envolve questões financeiras e logísticas complexas.

Quando estabelecido o local do levantamento, iniciava-se a montagem e organização dos equipamentos. A distribuição dos pinos (fig. 18) era feita de acordo com as distâncias estabelecidas na planilha de campo (anexo 1), com o auxílio de duas trenas, uma para cada lado em relação ao ponto central. Os pinos poderiam ser cravados à mão em alguns locais, mas normalmente necessitavam do uso de uma marreta (neste caso é recomendável o uso de luvas). A distância dos pinos cravados em relação ao pino central era identificada com o uso de etiquetas (fig. 19), ou simplesmente feita diretamente no solo (fig. 16). Outro detalhe importante é de que, dependendo do local do levantamento, e por ele ser relativamente longo em termos de distância, é importante que os pinos cravados em locais menos expostos sejam identificados através das próprias etiquetas, ou por quaisquer materiais disponíveis no local, de modo que possibilitem a fácil visualização dos pinos.



Figura 16. Identificação da distância do pino em relação ao ponto central, neste caso de 200 metros, feita diretamente no solo. O clipe “jacaré” está preso no pino e uma folha foi colocada no pino para facilitar a visualização do mesmo. (Elaborado pela autora).

O eletrorresistímetro era montado na posição do pino central e trabalhava com uma bateria, posicionada próxima ao equipamento. A partir do pino central, eram contabilizadas as distâncias, que foram de até 200 metros para cada lado nestes levantamentos, somando 400 metros no total do alinhamento. Os carretéis dos cabos AB e MN ficavam posicionados lateralmente ao eletrorresistímetro, de modo a oferecerem liberdade na liberação dos cabos, e também na etapa de enrolar de volta os cabos no carretel. Os cliques “jacarés” são prendedores conectados aos extremos dos cabos AB e MN. Eles eram presos nos pinos determinados para cada medida executada, permitindo, assim, a introdução da corrente elétrica no subsolo e a recepção da diferença de potencial. Todos os quatro cabos ficavam

conectados ao equipamento eletrorresistívímetro, que registrava as medidas de resistividade aparente realizadas para cada posição dos eletrodos AB e MN. A figura 19 mostra o equipamento montado, pronto para iniciar o levantamento.

Como se pode observar a partir da planilha de campo (anexo 1), efetuava-se uma sucessão de medidas do parâmetro geoeletrico resistividade, mantendo-se uma separação crescente entre os eletrodos de emissão de corrente (AB) e/ou entre os eletrodos de recepção de potencial (MN). Durante os levantamentos, eram feitas medidas de “embreagem”, que, conforme Braga (2016), além de melhorarem o sinal medido, determinam a qualidade dos resultados obtidos, pois os vários segmentos de curva (geradas a partir dos dados medidos em campo) devem se manter paralelos, resultando em curvas suaves, sem interrupções bruscas, situações que só podem ser identificadas com base na plotagem dos dados nos gráficos. Essas “embreagens” estavam previstas nas planilhas de campo e eram feitas com a abertura dos eletrodos MN em determinados momentos do levantamento, em que os eletrodos de corrente AB permaneciam fixos.

Os valores de resistividade, fornecidos instantaneamente no *display* do equipamento a cada medida efetuada, eram anotados em uma planilha padrão. Cada valor de resistividade aparente medido corresponde a uma diferente disposição dos eletrodos, conforme pode ser observado na planilha preenchida no campo e posteriormente digitalizada (anexo 1). Observa-se que as anotações consistiam basicamente nos valores de resistividade aparente e, na coluna ao lado, eram anotados os erros, em porcentagem, associados às medidas. Quando este erro era alto, investigava-se o motivo, normalmente de fácil resolução, como, por exemplo, a não colocação do *plug* de algum cabo no equipamento, ou até mesmo problemas nos cabos elétricos. É importante atentar para os erros associados às medidas, pois podem identificar problemas nas leituras, muitas vezes causados por motivos simples, como a falta de atenção. São facilmente corrigíveis e comuns, já que os levantamentos ocorrem de forma sistemática e repetitiva, sendo a concentração dos integrantes da equipe, portanto, fundamental durante a etapa de execução dos levantamentos.

A resistividade medida no campo é denominada de aparente porque, de acordo com Braga (2016), na prática, o solo não pode ser considerado um meio homogêneo, sendo a quantia medida influenciada por todas as resistividades verdadeiras em um volume de material relativamente grande. Portanto, ao efetuar as medições pertinentes, obtém-se uma resistividade aparente, a qual é uma variável que é tomada como base para a interpretação final.

A fórmula para se chegar à resistividade aparente, conforme se observa abaixo, é igual ao produto de um coeficiente de geometria K com o quociente da diferença de potencial observada sobre a corrente elétrica introduzida no subsolo.

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I} ,$$

Sendo:

ρ_a = resistividade aparente ($\Omega \cdot m$);

K = coeficiente de geometria (metros);

ΔV = diferença de potencial (Volts);

I = corrente elétrica (Ampère).

Este coeficiente geométrico K, cuja fórmula está abaixo, depende da disposição dos eletrodos, variando conforme as distâncias entre eles em cada medida realizada.

$$K = \pi \cdot \frac{(AM \cdot AN)}{MN},$$

Sendo:

K = coeficiente de geometria (metros);

AM = distância entre eletrodos A e M (metros);

AN = distância entre eletrodos A e N (metros);

MN = distância entre eletrodos M e N (metros).

Os valores de resistividade aparente, para cada abertura dos eletrodos efetuada, poderiam ser calculados de forma simples, tendo em mãos apenas estas variáveis. Porém, não foi necessário realizar estes cálculos, já que o eletrorresistivímetro utilizado neste trabalho calculava diretamente a resistividade aparente, necessitando apenas que o (a) operador (a) do equipamento inserisse, a cada nova medida, as distâncias dos eletrodos AB e MN em relação ao pino central. Este equipamento também oferece a opção de gravar as medidas efetuadas em forma de dados que podem ser transferidos para outro aparelho, como um *notebook*, após o término dos levantamentos. Nos levantamentos feitos nesse campo, tomamos o cuidado de anotar as medidas em planilhas analógicas, por segurança. A foto abaixo mostra a visão do(a) operador(a) do eletrorresistivímetro, com detalhe da planilha de campo.



Foto 17. Visão do(a) operador(a) do equipamento eletrorresistímetro, com detalhe para a planilha de campo, com os arranjos dos eletrodos e respectivos valores de resistividade aparente. (Elaborado pela autora).

A profundidade de investigação de uma SEV é governada, principalmente, pelo espaçamento entre os eletrodos de corrente AB, podendo ser tomada como $AB/4$ (BRAGA, 2016). Segundo o autor, com o aumento do espaçamento entre os eletrodos de corrente A e B, a profundidade de investigação também aumenta. Entretanto, a corrente injetada apresenta um fluxo na forma de um arco conectado aos dois eletrodos A e B. Sendo assim, como os perfis de poços mostraram a camada “Sal Grosso” ocorrendo, predominantemente, próxima aos 70 metros de profundidade, realizamos todas as SEVs com um espaçamento máximo entre os eletrodos AB (os mais externos) igual a 400 metros, o que, teoricamente, asseguraria atingirmos a camada em todos os levantamentos em que ela ocorresse.

Para isso, no planejamento do campo, tomamos o cuidado de optar por locais favoráveis para os levantamentos: ruas pouco movimentadas, oferecendo a possibilidade de abertura de 400 metros de eletrodos em um mesmo alinhamento. Como os eletrodos são cravados no solo, então, para facilitar a passagem da corrente elétrica ao subsolo, o ideal é que as ruas sejam de chão batido (fig. 18) ou mesmo de paralelepípedos (fig. 19), de modo que haja a possibilidade de fixar os eletrodos na superfície da pista ou no acostamento.



Fig 18. Pinos alinhados em levantamento em “chão batido”. (Elaborado pela autora).



Fig 19. Levantamento em estrada de paralelepípedo e acostamento. As etiquetas em amarelo facilitam na identificação das distâncias dos eletrodos a partir do ponto central. (Elaborado pela autora).

3.2.2 Etapa de pós-campo

Os valores de resistividade aparente obtidos nos levantamentos correspondem a cada medida realizada, de acordo com a disposição dos eletrodos, atingindo diferentes profundidades. Processando os dados em *software* específico, foi possível determinar as resistividades e espessuras

reais das diferentes litologias presentes em subsuperfície, definindo-se a estratigrafia geolétrica para cada ponto de SEV investigado. As camadas geolétricas encontradas puderam ser correlacionadas com aquelas presentes nos perfis de poços próximos. Desta forma, foi possível identificar a camada “Sal Grosso” de forma indireta, nos locais em que ela ocorre, através do processamento, análise e interpretação dos dados adquiridos no campo.

O *software* utilizado nesta etapa foi o IPI2Win[©] – Versão 3.0.1 a 7.01.03 (1990-2003), desenvolvido pela *Moscow State University*. É um programa de interpretação com inversão automática e manual das curvas de SEV. Segundo Braga (2016), a grande vantagem deste programa reside no fato de que a interpretação de várias SEVs, ao longo de um perfil, pode ser efetuada quase que simultaneamente, permitindo uma visualização imediata da seção geolétrica.

Desta forma, portanto, foi realizada a inversão das resistividades aparentes para resistividades reais e suas espessuras geolétricas correspondentes, de forma automática, para as onze SEVs através do *software* IPI2Win[©]. Com a estratigrafia geolétrica gerada para cada SEV, foi possível realizar a interpretação das camadas geolétricas, fazendo correlação com informações de perfis de poços próximos.

3.3 Integração dos dados

O método utilizado para integrar os dados foi o geoprocessamento, através do *software* ArcGIS[©]. O total de 70 pontos de perfis, diretos e indiretos, foi inserido em um sistema de informações geográficas (SIG), para a interpolação de parâmetros e geração de mapas.

A distribuição dos pontos na área de estudo é bastante irregular. Assim, o método de interpolação utilizado foi o vizinho mais próximo, sendo gerado um mapa de espessuras interpoladas da camada “Sal Grosso”.

4 RESULTADOS

Os mapas gerados encontram-se abaixo. O primeiro mostra a distribuição dos pontos na área de estudo, os quais incluem os perfis de poços e as SEVs. O segundo mapa é resultado da interpolação das espessuras da camada “Sal Grosso”.

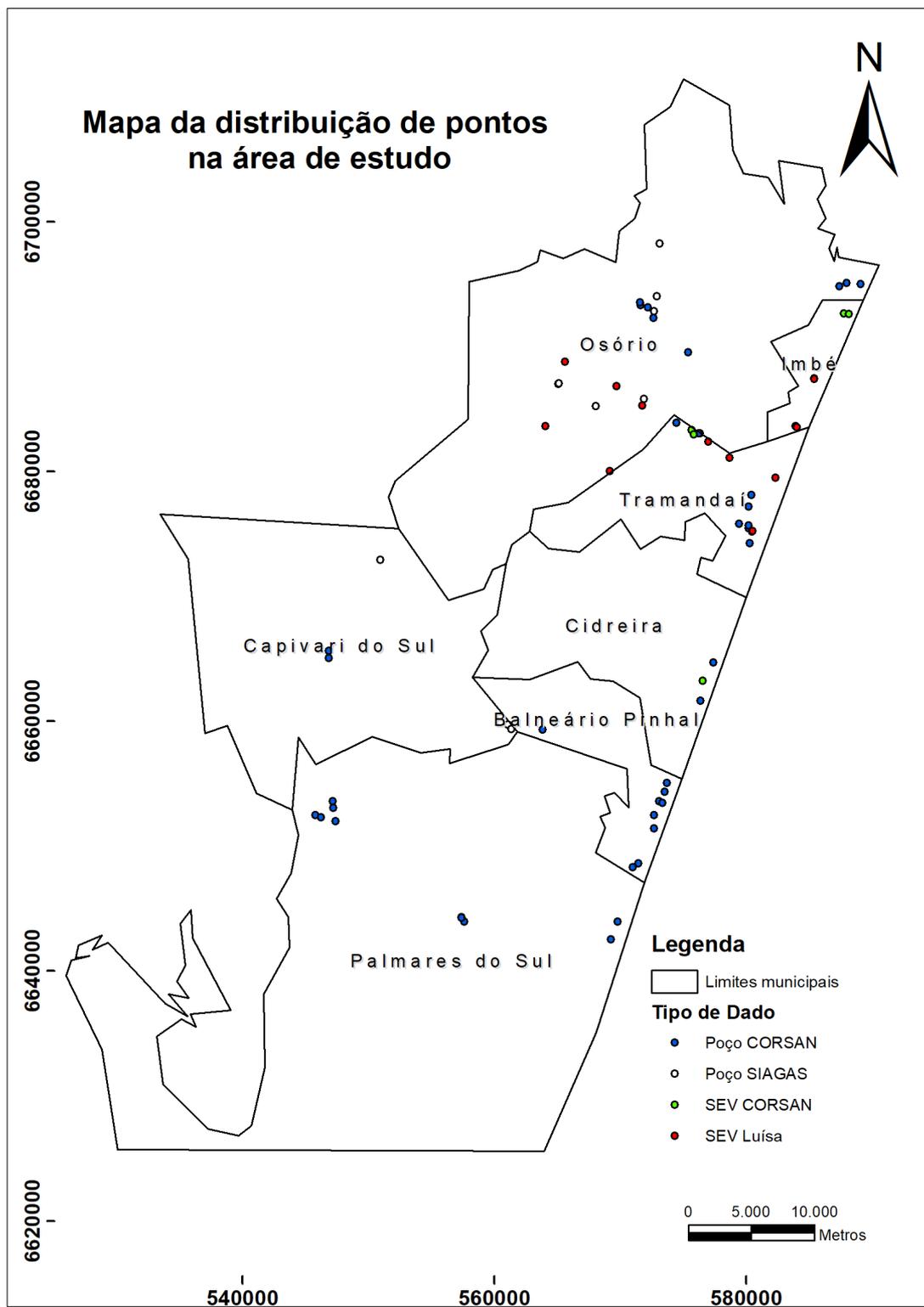


Figura 20. Mapa de distribuição dos pontos na área de estudo. (Elaborado pela autora).

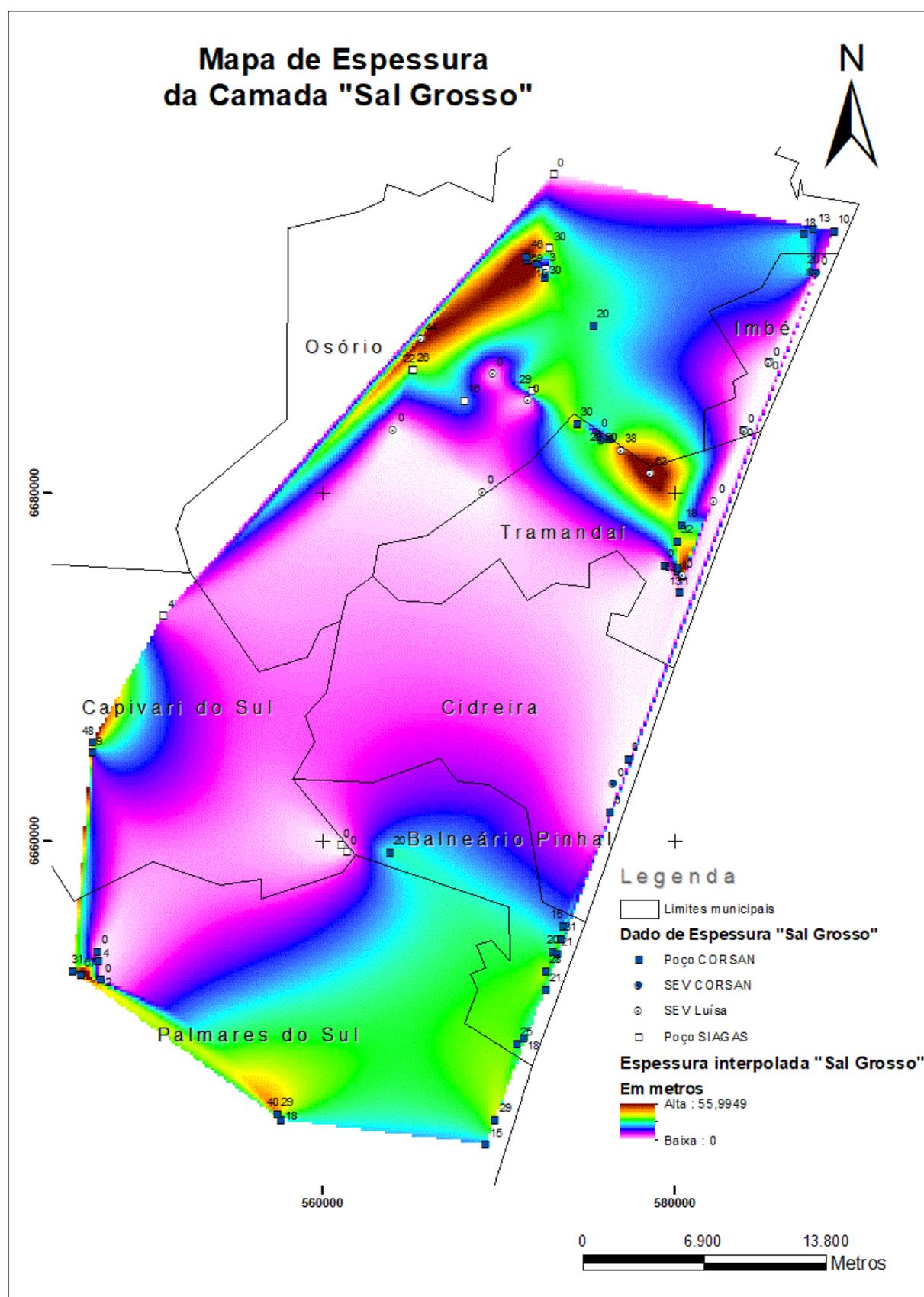


Figura 21. Mapa de espessura da camada "Sal Grosso". (Elaborado pela autora).

O mapa de espessura da camada mostra áreas (com cores tendendo para rosa e branco) em que a camada está ausente, ou seja, foram interpolados pontos em que a espessura era igual a zero. As cores marrom, amarelo e verde no mapa tendem a aparecer como porções interpoladas que evidenciam a presença da camada.

A distribuição de pontos analisados em Imbé é mostrada abaixo (fig. 22), com as respectivas espessuras de camada “Sal Grosso”, verificadas através de poços e de SEVs. Não houve a identificação da camada dentro dos limites do município, com exceção da SEV ALB 02 (fig. 23). Esta SEV foi levantada em campo realizado pela equipe da CORSAN no primeiro semestre de 2017. Está localizada na porção setentrional do município, próxima a poços da CORSAN no município de Osório com ocorrência da camada “Sal Grosso”. A partir da interpretação dos geólogos da CORSAN que realizaram o levantamento, o provável topo da camada aquífera identificada ocorre na profundidade de 81 metros, com espessura interpretada de 20 metros neste ponto.

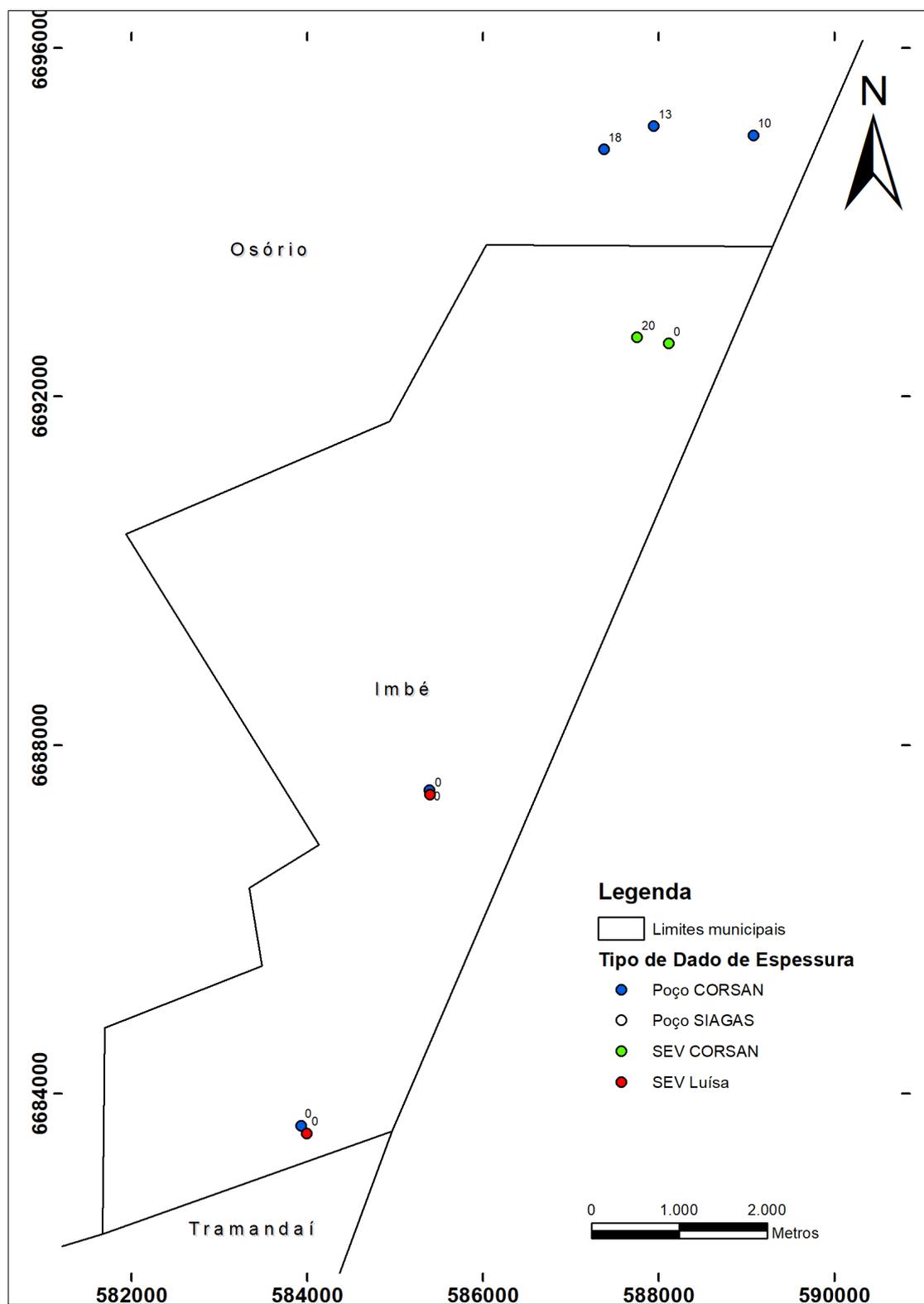


Figura 22. Pontos de poços e SEVs analisados em Imbé, com ocorrência da camada apenas em uma SEV, localizada na porção setentrional do município, com espessura interpretada de 20 metros. (Elaborado pela autora).

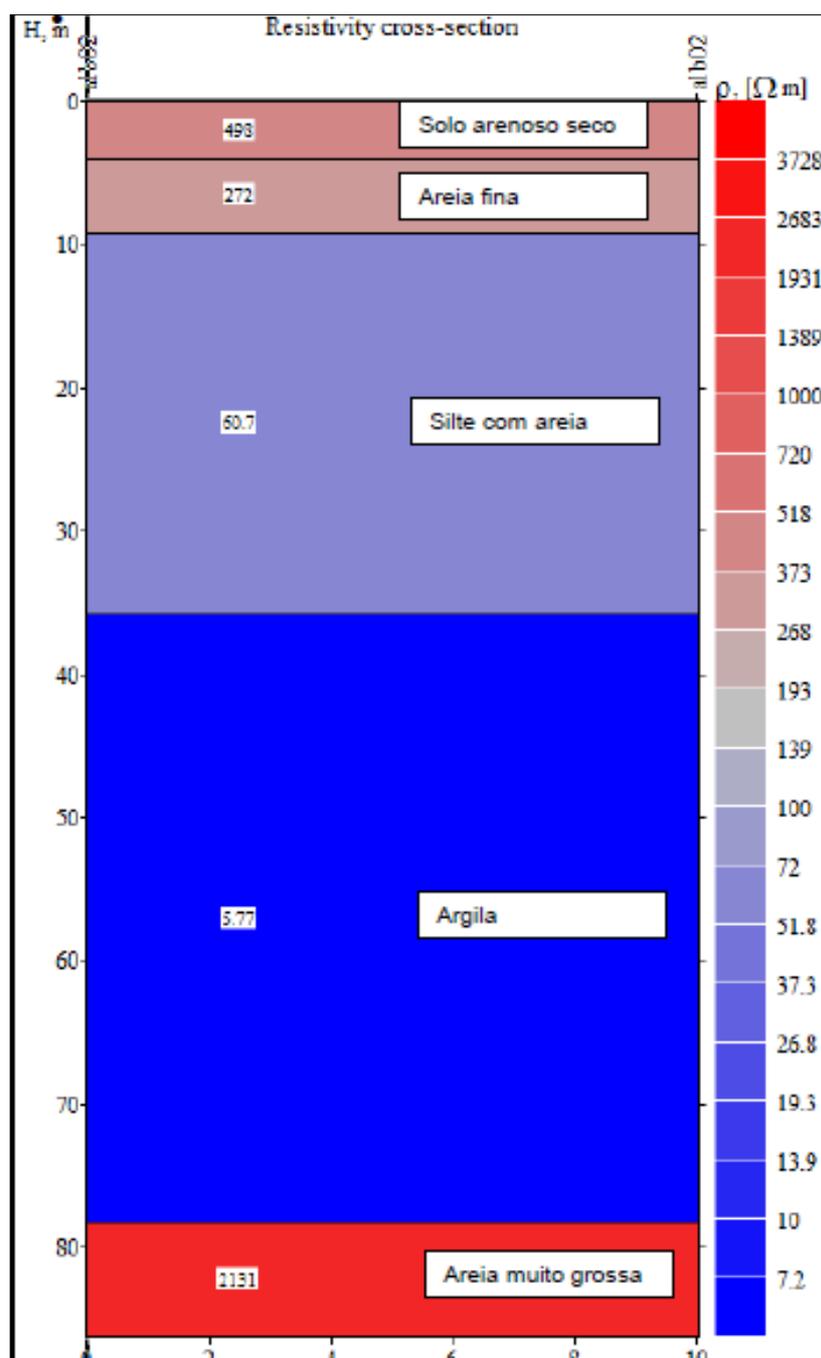


Figura 23. Perfil geoeletrico interpretado da SEV ALB 02, identificando provavel aquifero aos 81 metros de profundidade em Imbé. (Elaborado pela autora).

As cinco camadas geoeletricas identificadas no perfil da SEV ALB 02 (fig. 23) separam intervalos de diferentes magnitudes de resistividades. Há um contraste nos valores de resistividades, bem evidente aos 79 m de profundidade, com a separação de um intervalo de baixo resistivo, de aproximadamente 41 m de espessura, fazendo limite com um intervalo bastante resistivo, interpretado pela equipe da CORSAN como sendo de litologia areia muito grossa. Acima deste intervalo de baixo resistivo,

interpretado como argila, há três camadas geelétricas, cujas espessuras somadas totalizam 35 m, aproximadamente. Elas apresentam valores de resistividades intermediários, e a interpretação feita pela equipe da CORSAN que realizou o levantamento é de que as litologias nestas camadas sejam de solo arenoso seco, areia fina e silte com areia.

Neste mesmo campo realizado pela CORSAN, distante aproximadamente 400 m a leste da SEV ALB 02, foi realizada outra SEV, denominada ALB 01. O seu perfil geelétrico (fig. 24) é semelhante ao da SEV ALB 01. Também foi identificada a camada de baixo resistivo, com provável topo aos 32 m. Porém, não foi identificada a camada altamente resistiva abaixo da camada interpretada como de litologia argila. Mas, sim, aproximadamente aos 100 m de profundidade, há ocorrência de cunha salina, representada por valores de resistividade inferior a 1 Ωm .

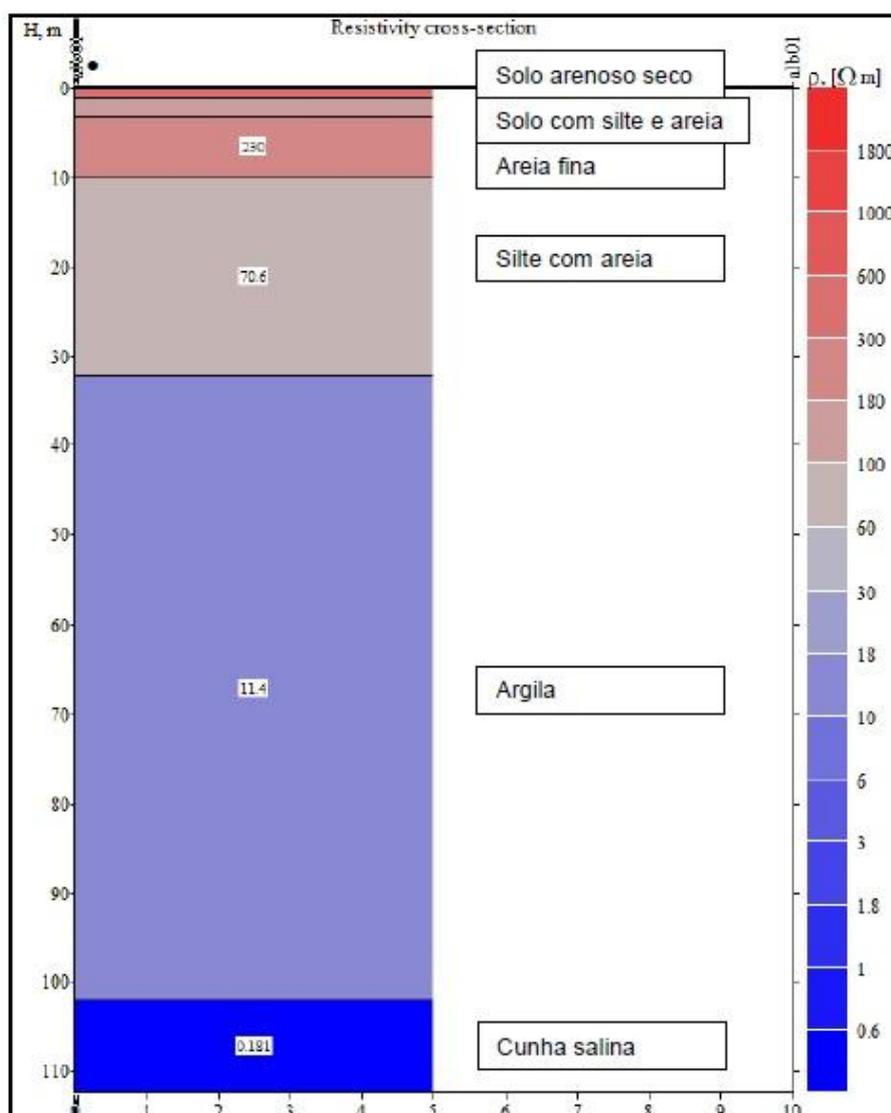


Figura 24. Perfil geelétrico da SEV ALB 01, interpretado pela equipe de geólogos da CORSAN, identificando provável cunha salina aos 100 m de profundidade. (Elaborado pela autora).

O perfil utilizado na correlação com os perfis geoeletricos ALB 01 e ALB 02 foi o do poço da CORSAN, denominado COR OSO ATL 02 (fig. 25), distante aproximadamente 2500 m das SEVs. É uma distância considerável, mas não há outros mais próximos.

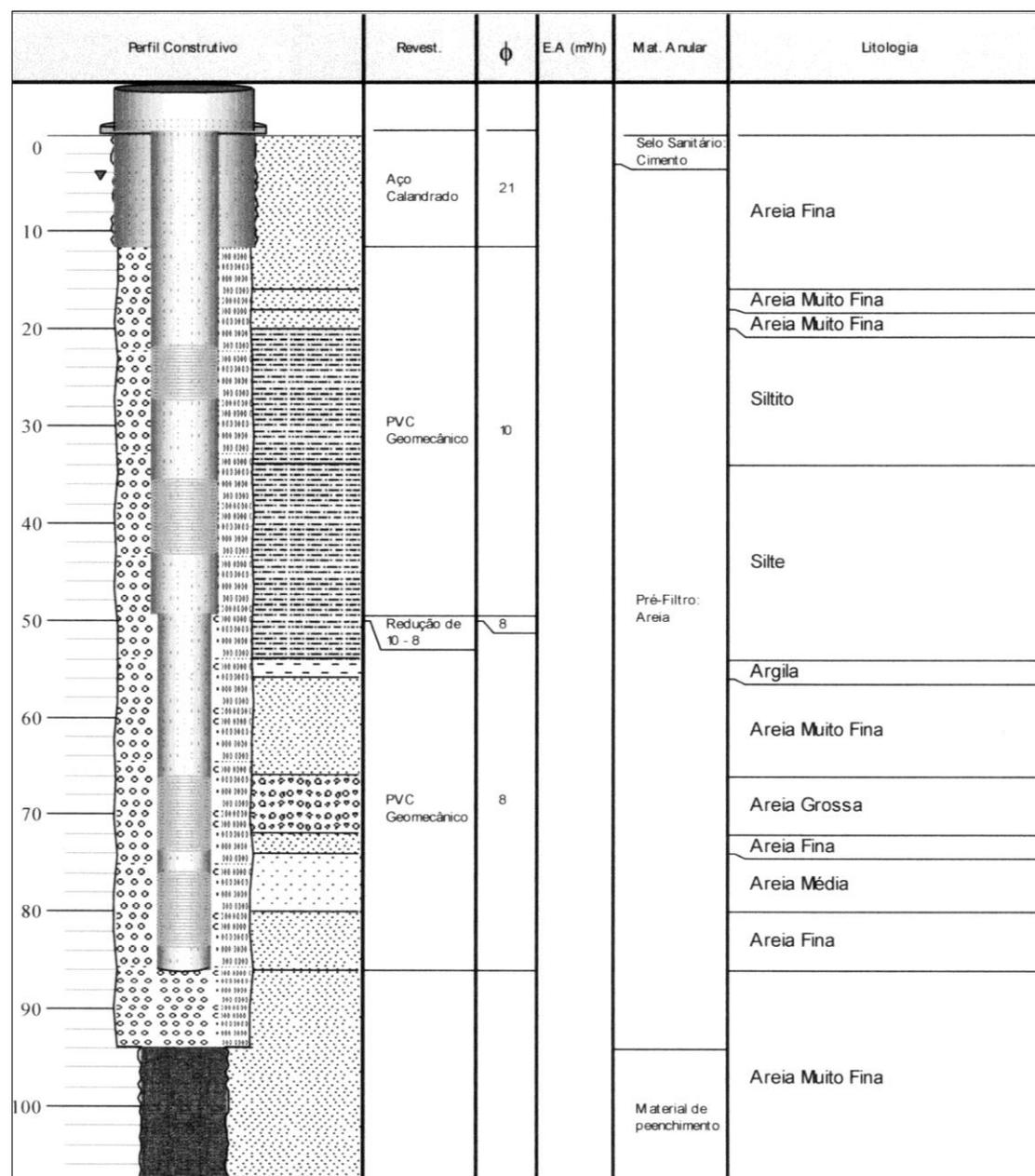


Figura 25. Perfil do poço COR OSO ATL 02, utilizado na correlação com as SEVs ALB 01 e ALB 02. (Adaptado de dados disponibilizados pela CORSAN).

O poço COR OSO ATL 02 apresenta uma camada de litologia siltito, com topo aos 20 m, passando, em profundidade, para litologias de silte, argila e areia muito fina. Aos 66 m, contrasta com uma camada de areia grossa, que persiste até os 72 m, onde encontra uma fina camada de areia fina. Esta é limitada em sua base por uma camada de 7 m de espessura de areia média, cuja base ocorre aos 80 m de profundidade. Abaixo dela, há um pacote de 28 m de espessura de areias fina ou muito fina, cuja base é limitada pela profundidade do poço.

Distante aproximadamente 40 km dos pontos observados em Imbé e Atlântida Sul, o perfil (fig. 26) do poço COR BPI 01, em Balneário Pinhal, apresenta padrão de empilhamento semelhante, com camadas de finos desde, aproximadamente, os 20-30 m, persistindo em profundidade até encontrar camada de litologia mais grossa, normalmente areia média ou grossa ("Sal Grosso"). No caso do poço de Balneário Pinhal, porém, o topo da camada mais grossa aparece um pouco mais profundo em relação aos encontrados nos perfis de Imbé e Atlântida Sul. A sequência no perfil do poço COR BPI 01, da base para o topo, é formada pelo depósito aluvial (desde os 90 aos 104 metros de profundidade), representado pela camada "Sal Grosso". Logo acima no perfil, está seguido por um depósito marinho (dos 30 aos 84 metros de profundidade), representado por pacotes espessos de material fino (predominantemente argila), muitas vezes ocorrendo presença de material conchífero. A unidade mais superficial, e que encerra este empilhamento, é formada pelos depósitos dos sistemas laguna-barreira, representada por camadas de areia, em geral de granulometria muito fina a média, com algumas intercalações de camadas de finos.

Este padrão de empilhamento pode ser verificado também nas SEVs realizadas no litoral, como no perfil geoeletrico da SEV ALB 02 (fig. 23). Nesta estratigrafia geoeletrica, o pacote interpretado como marinho estaria ocorrendo entre os 36 e 79 metros de profundidade.

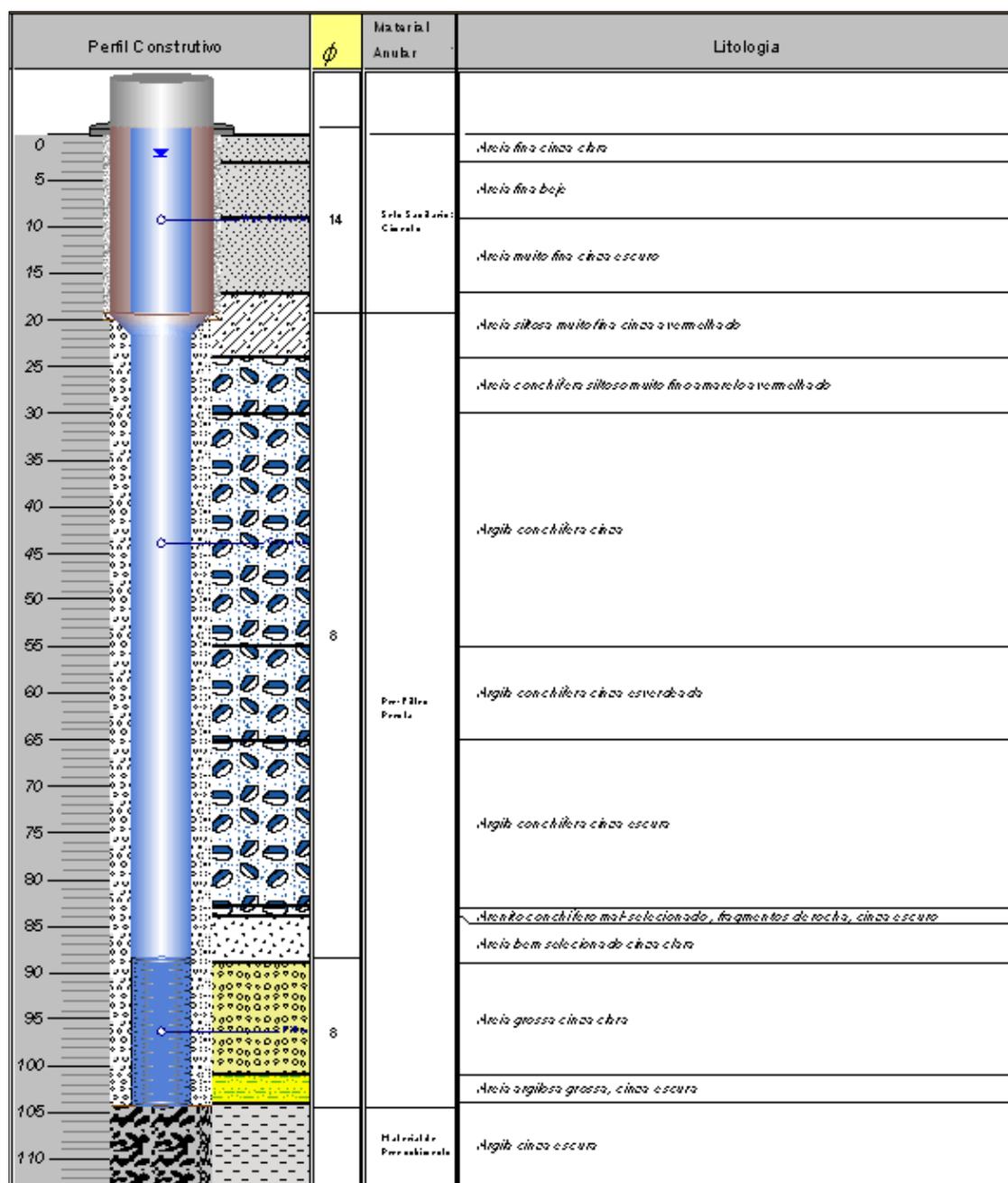


Figura 26. Perfil do poço COR BPI 01, em Balneário Pinhal. (Adaptado de dados disponibilizados pela CORSAN).

Mais distantes da linha de costa, poços localizados em Osório, Capivari do Sul e Palmares do Sul também mostram perfis com a presença deste mesmo padrão de empilhamento. Como exemplo, o poço COR OSO 05 (fig. 27), localizado em área urbana de Osório, mostra em seu perfil a ocorrência do topo da camada “Sal Grosso” aproximadamente aos 70 m de profundidade e, acima dela, um pacote espesso de finos (argilitos).

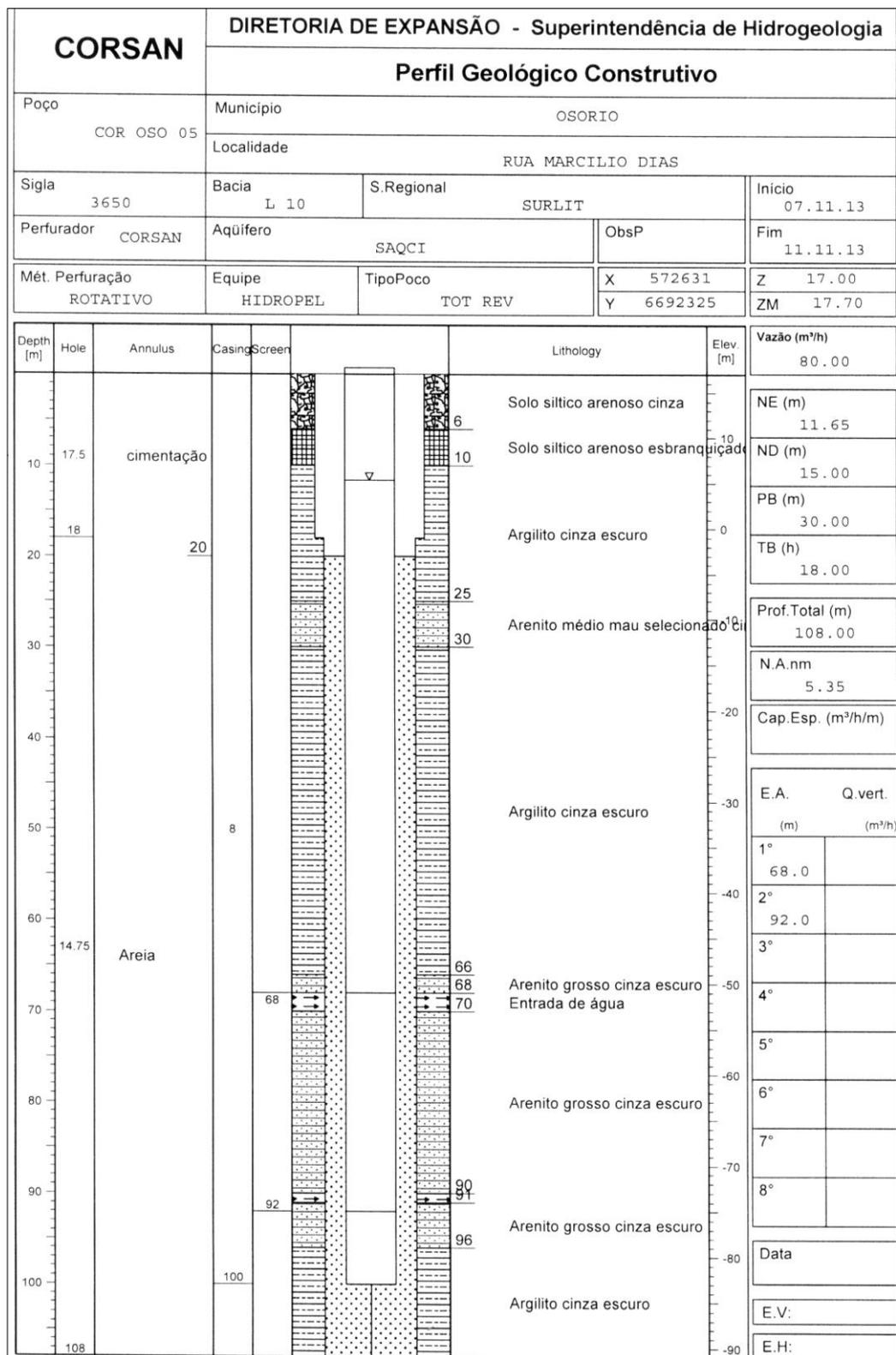


Figura 27. Perfil do poço COR OSO 05, em Osório. (Adaptado de dados disponibilizados pela CORSAN).

Do total de 70 pontos analisados, houve a identificação da camada “Sal Grosso” em 49 deles. Destes, 6 foram de SEVs e 43 foram de perfis de poços. Os depósitos dos sistemas laguna-barreira apresentaram, em média, espessura de 26 metros. Os pacotes que representam a unidade deposicional marinha apresentaram, em média, 45 metros, com topo ocorrendo aos 26 metros (base dos depósitos do sistema laguna-barreira). Dentre os pontos em que foi identificada, a camada “Sal Grosso” apresentou uma espessura média de 25 metros, e o seu topo ocorreu, em média, aos 71 metros de profundidade (conforme mostra a fig. 28).

SAL GROSSO			MARINHO			LAGUNA-BARREIRA		
topo (m)	base (m)	espessura (m)	topo (m)	base (m)	espessura (m)	topo (m)	base (m)	espessura (m)
71	88	25	26	71	45	0	26	26

Fig. 28. Espessuras e profundidades médias de topo e base para as três unidades deposicionais encontradas nos perfis diretos e indiretos (em metros). (Elaborado pela autora).

Os perfis geoeletricos gerados a partir das SEVs levantadas no campo realizado em junho deste ano encontram-se em anexo.

5 DISCUSSÕES

Observando o mapa interpolado da figura 21, é possível verificar a concentração das maiores espessuras em uma porção de direção praticamente perpendicular à linha de costa. Se considerarmos esta feição, juntamente com a ausência da camada em suas bordas, elas poderiam estar definindo a geometria de um possível paleocanal, de direção NO-SE, nos municípios de Osório e Tramandaí.

Baitelli (2012) analisando um conjunto de dados, incluindo perfis sísmicos, definiu posições pretéritas do Rio Jacuí na região costeira do Rio Grande do Sul. A figura 29 ilustra a configuração da planície costeira durante o máximo regressivo há 342 ka. Nela, é possível observar a antiga drenagem do Rio Jacuí fluindo próximo ao atual canal do Guaíba, com a Barreira das Lombas represando as águas do braço norte do antigo Jacuí.

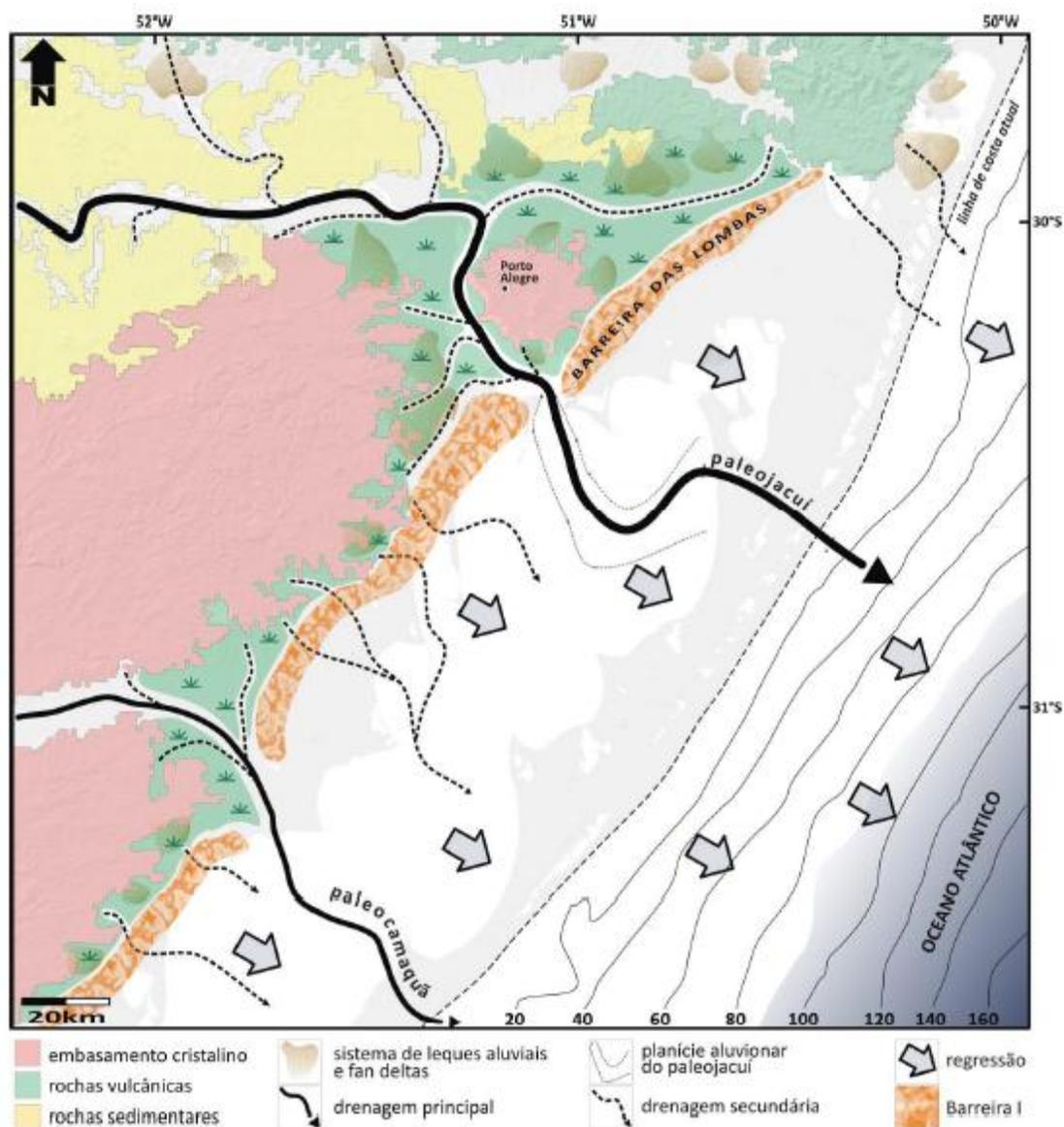


Figura 29. Configuração esquemática da Planície Costeira do Rio Grande do Sul durante o máximo regressivo há 342 ka (Adaptado de BAITELLI, 2012).

Outros paleocanais já foram revelados na região costeira do Rio Grande do Sul. Segundo Weschenfelder (2005), o mapeamento de paleovales e paleocanais permite que antigos sistemas de drenagens sejam reconstruídos e, quase sempre, vinculados aos sistemas atuais. Um exemplo é o paleocanal da Barra Falsa, na localidade de Bojuru, revelado através de dados sísmicos de alta resolução levantados na Lagoa dos Patos (fig. 30).

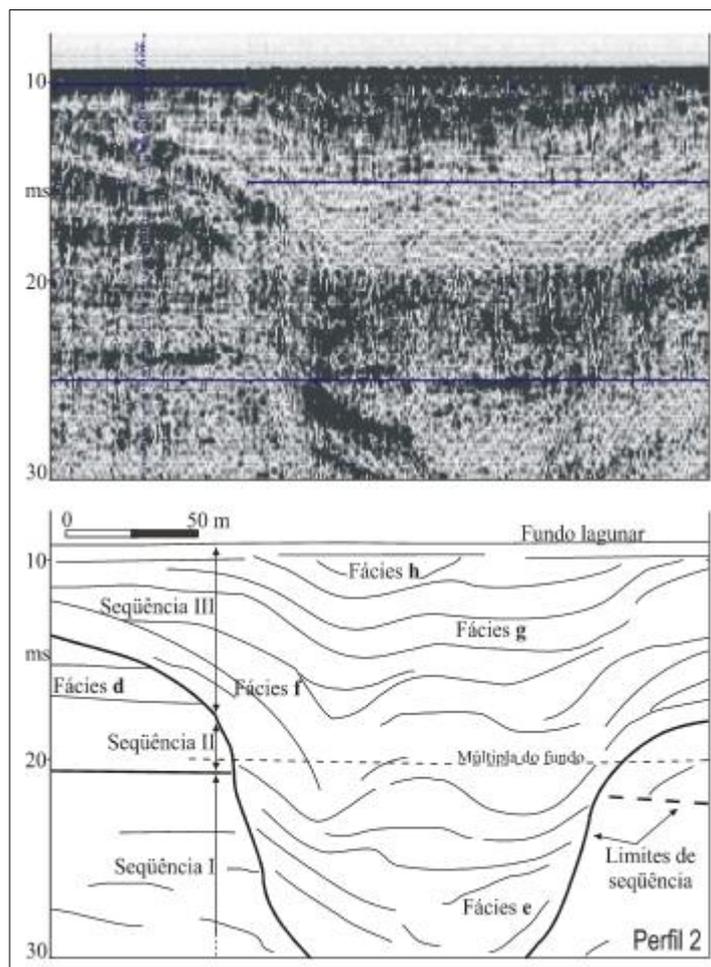


Figura 30. Registro sísmico e seus elementos arquiteturais identificados do Paleocanal da Barra Falsa, o qual foi escavado durante o último grande evento regressivo do final do Pleistoceno (Adaptado de WESCHENFELDER, 2005).

Segundo Weschenfelder (2005), o canal da Barra Falsa e outros similares e contemporâneos foram escavados durante o último grande evento regressivo do final do Pleistoceno, quando o nível do mar recuou para 120 m abaixo da posição atual. No decorrer da última transgressão marinha, os canais foram progressivamente afogados e preenchidos por sedimentos fluviais, estuarinos e marinhos. Fazendo um comparativo, o possível paleocanal verificado em Osório e Tramandaí deve ser mais antigo, pois está estratigraficamente abaixo dos depósitos laguna-barreira nos perfis.

Importante atentar para a lacuna de dados em grande parte da área de estudo, englobando principalmente os municípios de Cidreira, Capivari do Sul, e sul de Osório e Tramandaí. Esta falta de dados disponíveis para o trabalho dificultou uma melhor investigação nesta porção, que ficou bastante deduzida em termos de interpretação. A lacuna existe pela ausência de poços tubulares profundos na região, que é pouco urbanizada, principalmente à medida que se distancia da linha de costa. Por imagens do Google Earth[®] são identificadas atividades desenvolvidas, como florestamentos e cultivo de

arroz, e os raros aglomerados urbanos existentes na área, pequenos e restritos. Neste caso, a possibilidade de realização de sondagens elétricas verticais poderia auxiliar na identificação dos padrões reconhecidos em outros locais, onde é possível correlacionar os dados geofísicos com dados físicos diretos. O resultado destes poderia ser analisado em conjunto com os dados já existentes, especialmente com os perfis geoeletricos gerados, e interpretações poderiam ser feitas, ainda que com muita precaução, nesta porção carente de dados.

Em relação ao possível paleocanal de direção NO-SE presente em Osório e Tramandaí, interpreta-se que o material sedimentar definido como “Sal Grosso” seria transportado desde o embasamento a partir de um sistema de leques aluviais, passando distalmente para um sistema fluvial. A figura 31 ilustra esta possibilidade, fazendo analogia com bloco-diagrama genérico de sistema aluvial.

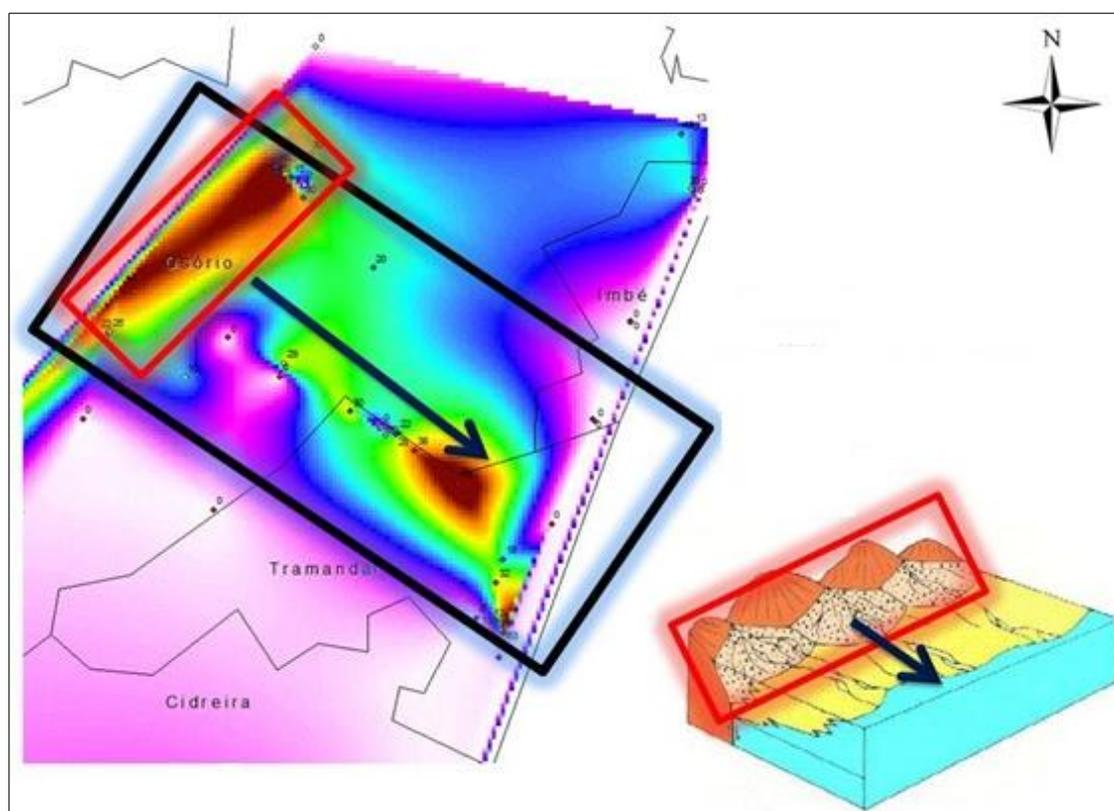


Figura 31. Interpretação possível, com chegada de material sedimentar a partir de leques aluviais nas porções proximais, seguindo com sentido sudeste para o oceano através de sistema fluvial. (Elaborado pela autora).

Em Imbé, quase que a totalidade dos pontos, tanto SEVs, quanto poços, não identificaram a camada “Sal Grosso” (fig. 22). Observando o mapa de espessuras, e considerando a interpretação realizada em relação à geometria, Imbé deveria estar na margem esquerda, fora do possível

paleocanal. Houve uma única SEV que identificou a camada, a SEV ALB 02, situada no limite setentrional do município, próxima aos poços da CORSAN em Atlântida Sul, os quais identificam a camada “Sal Grosso”.

Interessante perceber a presença do poço COR IMB 01, da CORSAN, próximo ao *inlet* que faz limite com o município de Tramandaí. De acordo com a descrição oriunda do perfil deste poço (fig. 32), não são identificadas camadas arenosas em profundidade, o que não é comum. A SEV 7, distante pouco mais de 100 metros do poço COR IMB 01, apresenta quatro camadas geelétricas. As três primeiras, mais superficiais, foram interpretadas como sendo camadas arenosas pertencentes aos depósitos das barreiras. Esses depósitos estão presentes até os sete metros de profundidade, onde fazem grande contraste com a camada geelétrica de comportamento condutivo, logo abaixo no perfil. Pelo perfil geelétrico gerado, esta camada de comportamento condutivo persiste desde os 7 metros até os 100 metros teóricos de profundidade atingida pela SEV. Assim, a SEV 7 faz correlação coerente com o perfil de poço COR IMB 01, cuja descrição indica argilitos desde os 30 até os 138 metros (profundidade total do poço). O valor de resistividade desta camada geelétrica condutiva, menor do que $1 \Omega\text{m}$, é bastante baixo, e pode estar acusando, inclusive, possível salinização das camadas. A proximidade com a linha de costa potencializa esta possibilidade.

Este contexto poderia indicar que o paleocanal identificado seja parte de vale inciso. Na área de Imbé é possível que este vale tenha sido preenchido por sedimentos finos, indicando uma variação lateral, na qual esta área represente a região mais profunda do vale.

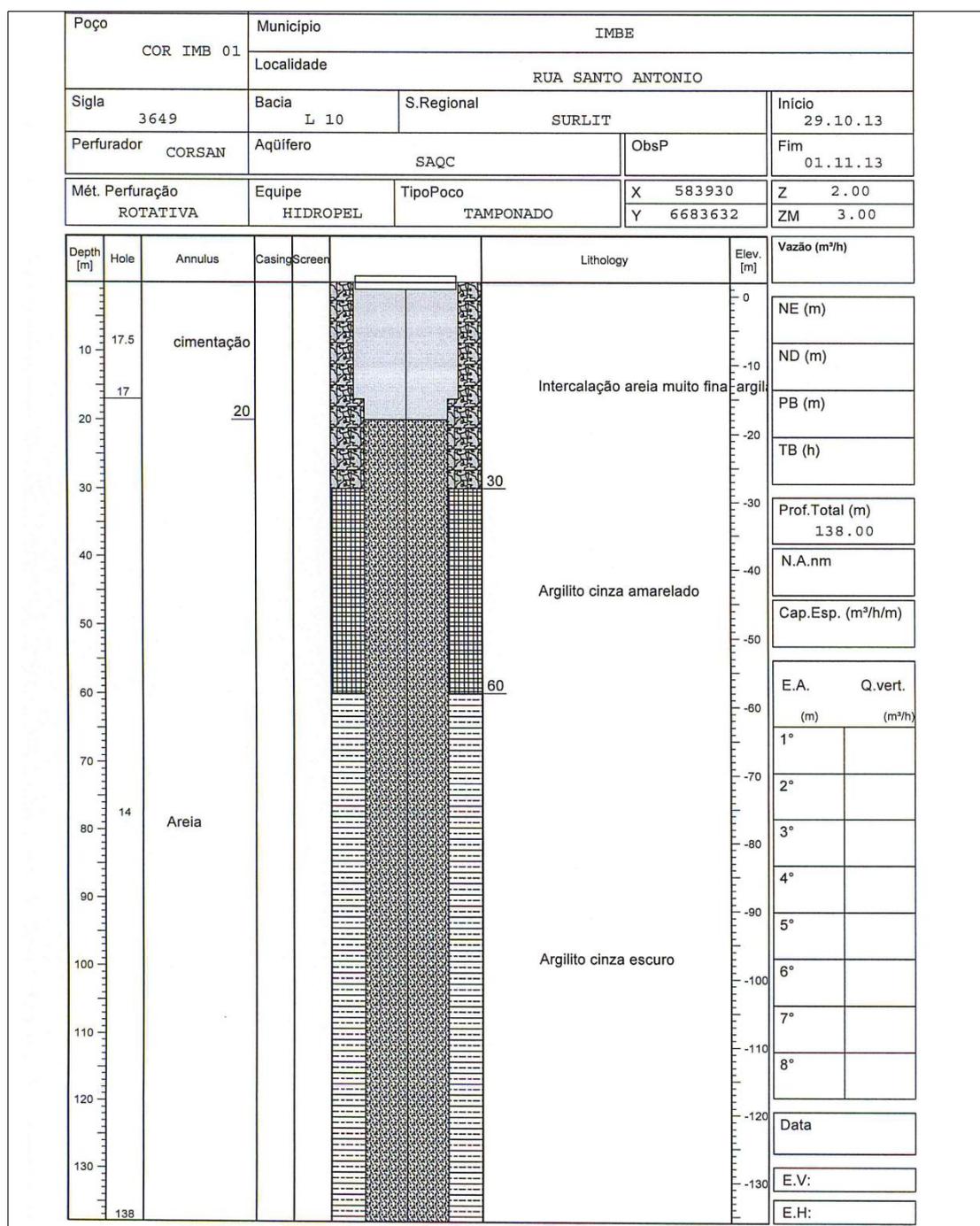


Figura 32. Perfil do poço COR IMB 01, em Imbé. (Adaptado de dados disponibilizados pela CORSAN).

Outras observações podem ser feitas em relação ao mapa de interpolação das espessuras da camada “Sal Grosso”. Uma delas é a visualização de ramificações de ocorrência da camada, pouco definidos devido à distribuição dos dados. Uma dessas ramificações parte da mesma “origem” do possível paleocanal de Osório e Tramandaí, e também poderia estar relacionada a um sistema fluvial.

No limite meridional da área de estudo, há uma ampla porção interpolada indicando presença da camada “Sal Grosso”, desde a porção central do município de Palmares do Sul, seguindo até próximo à linha de costa em Balneário Pinhal. Realmente há ocorrência da camada “Sal Grosso” nos poços presentes próximos à linha de costa em Balneário Pinhal (um exemplo é observado pelo perfil da fig. 26), oferecendo boas vazões. Em Palmares do Sul a camada também é identificada, porém em profundidades menores (fig. 33) do que em Balneário Pinhal. Como há uma distância relativamente grande entre estes dois conjuntos de dados, para um melhor entendimento das feições observadas seria importante investigar o que ocorre em subsuperfície entre eles. A ampliação da área de estudos, para sul, poderia esclarecer melhor os limites de ocorrência da camada naquela porção.

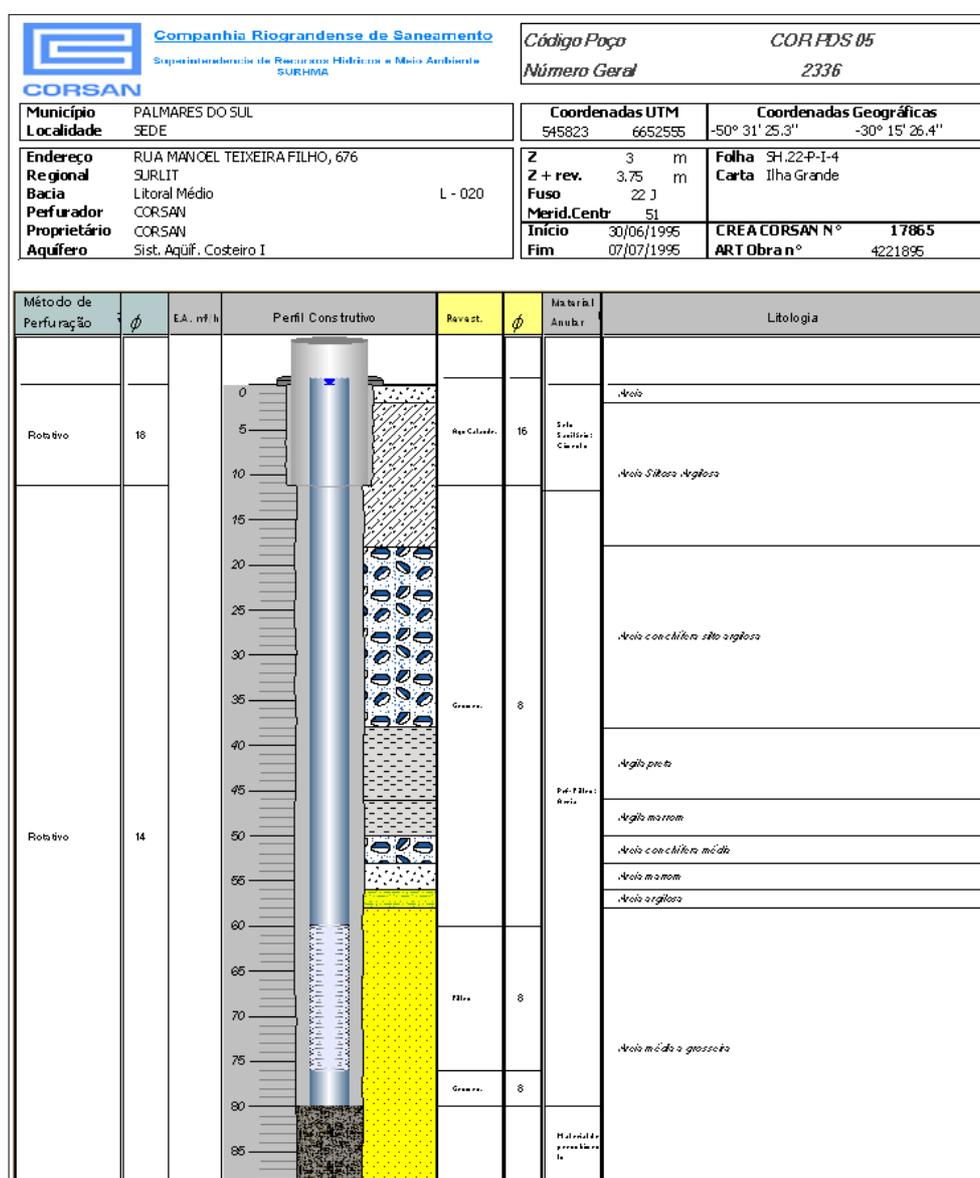


Figura 32. Perfil de poço em Palmares do Sul, com ocorrência da camada aos 58 m de profundidade. (Adaptado de dados disponibilizados pela CORSAN).

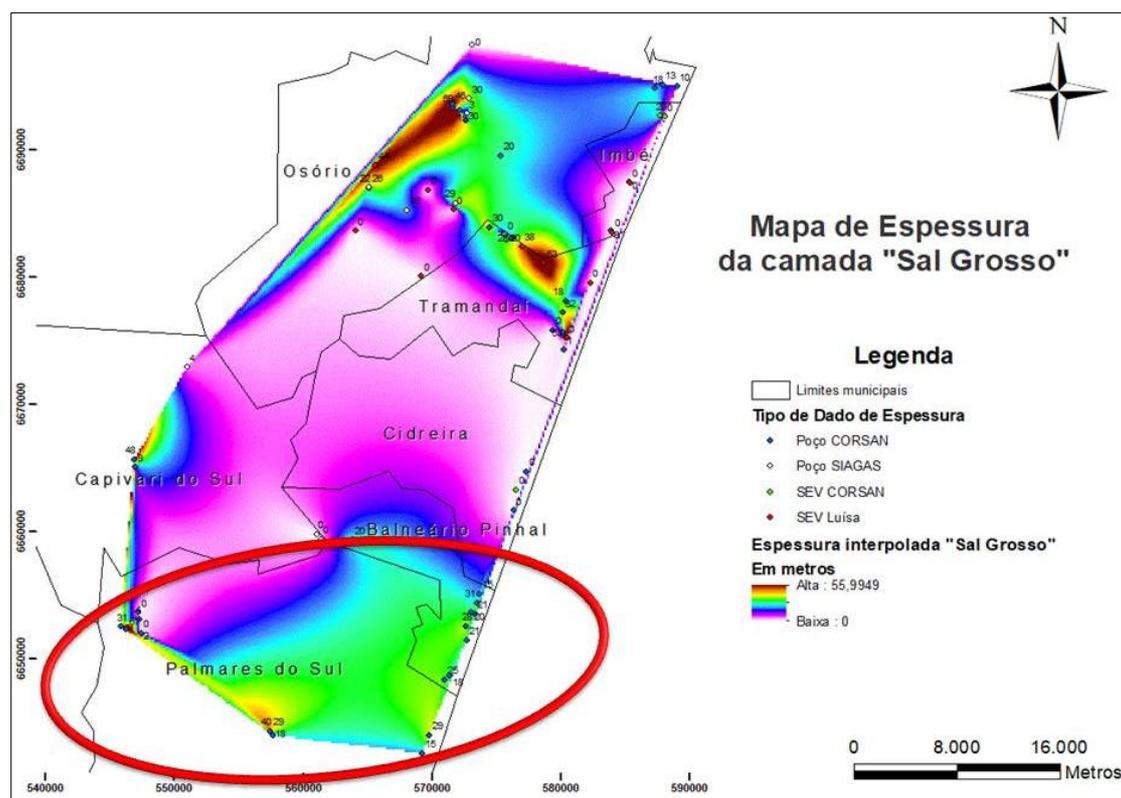


Figura 33. Interpretação possível, com chegada de material sedimentar a partir de leques aluviais nas porções proximais, seguindo com sentido sudeste para o oceano através de sistema fluvial. (Elaborado pela autora).

Uma tentativa de entender melhor o contexto deste sistema aluvial hipotético foi feita, buscando visualizar sua posição em relação ao relevo atual e pensar sobre qual seria a área-fonte dos sedimentos que teriam alimentado este sistema. Assim, o mapa interpolado de espessuras da camada "Sal Grosso" foi colocado junto da imagem de relevo obtida através dos dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), possibilitando a visualização das feições em conjunto com dados altimétricos. Na figura 35, o contexto de fundo relacionado ao relevo está em tons de cinza, com as maiores altitudes na cor branca, e as menores em preto.

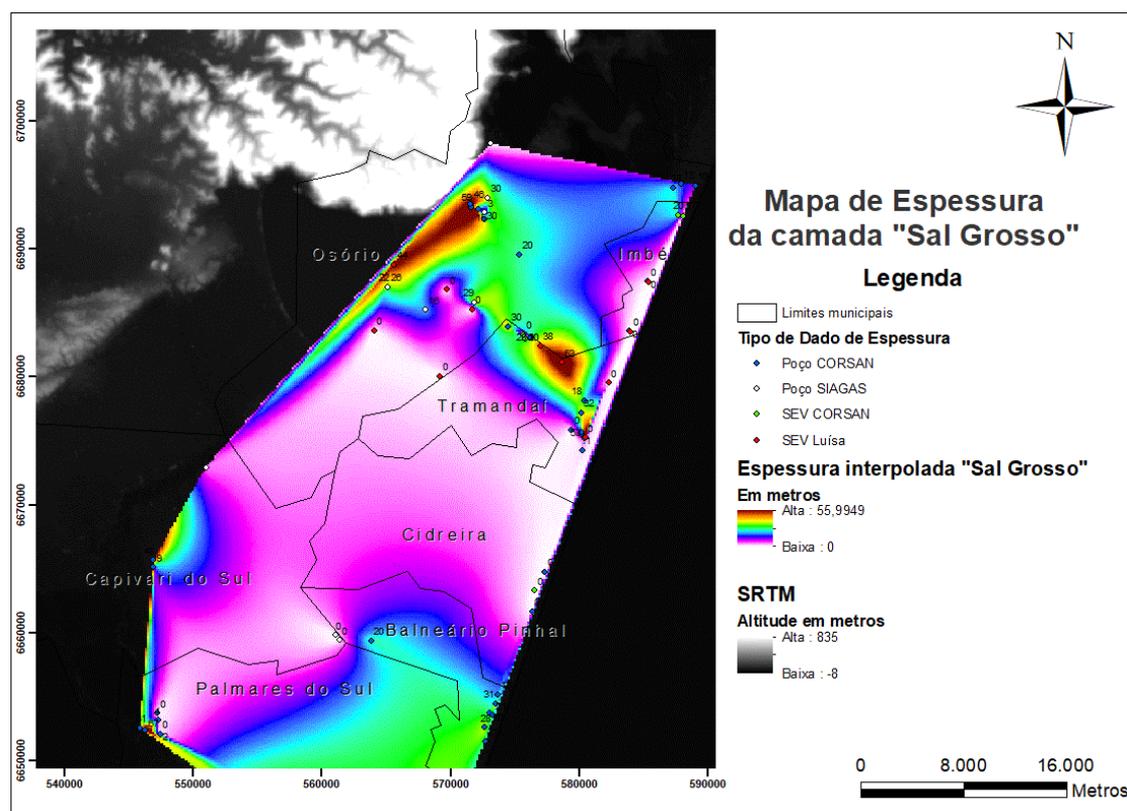


Figura 35. Mapa de espessuras da camada “Sal Grosso” interpolado com dados altimétricos do SRTM ao fundo. (Elaborado pela autora).

Esta tentativa se revelou interessante, pois a borda da Formação Serra Geral coincidiu com uma posição que levaria facilmente à interpretação de que os basaltos ali presentes é que poderiam ter alimentado o sistema aluvial hipotético. Porém, esta possibilidade é logo descartada, visto que os basaltos não gerariam o material que representa o “Sal Grosso”, com as características texturais que o fizeram receber este apelido.

Assim, uma possibilidade é de que a área-fonte esteja relacionada a rochas graníticas, oriundas do Escudo Sul-Rio-Grandense. Esta área-fonte deveria ser relativamente próxima, uma vez que os grãos apresentam aspecto textural imaturo, geralmente angulosos, evidenciando um transporte não muito longo. Uma hipótese aqui levantada é de que o paleocanal identificado poderia representar a posição pretérita do rio Jacuí, anterior ao desenvolvimento dos sistemas laguna-barreira da planície costeira.

Em relação à análise estratigráfica dos perfis dos poços e das sondagens elétricas verticais, foi possível identificar um padrão de empilhamento. As três unidades deposicionais geralmente presentes nos perfis, como evidenciado na fig. 36, revelam a presença frequente de um pacote de depósito marinho acima ou, por vezes, intercalado com a camada “Sal Grosso”. Logo acima deste depósito marinho ocorrem os depósitos do sistema laguna-barreira.

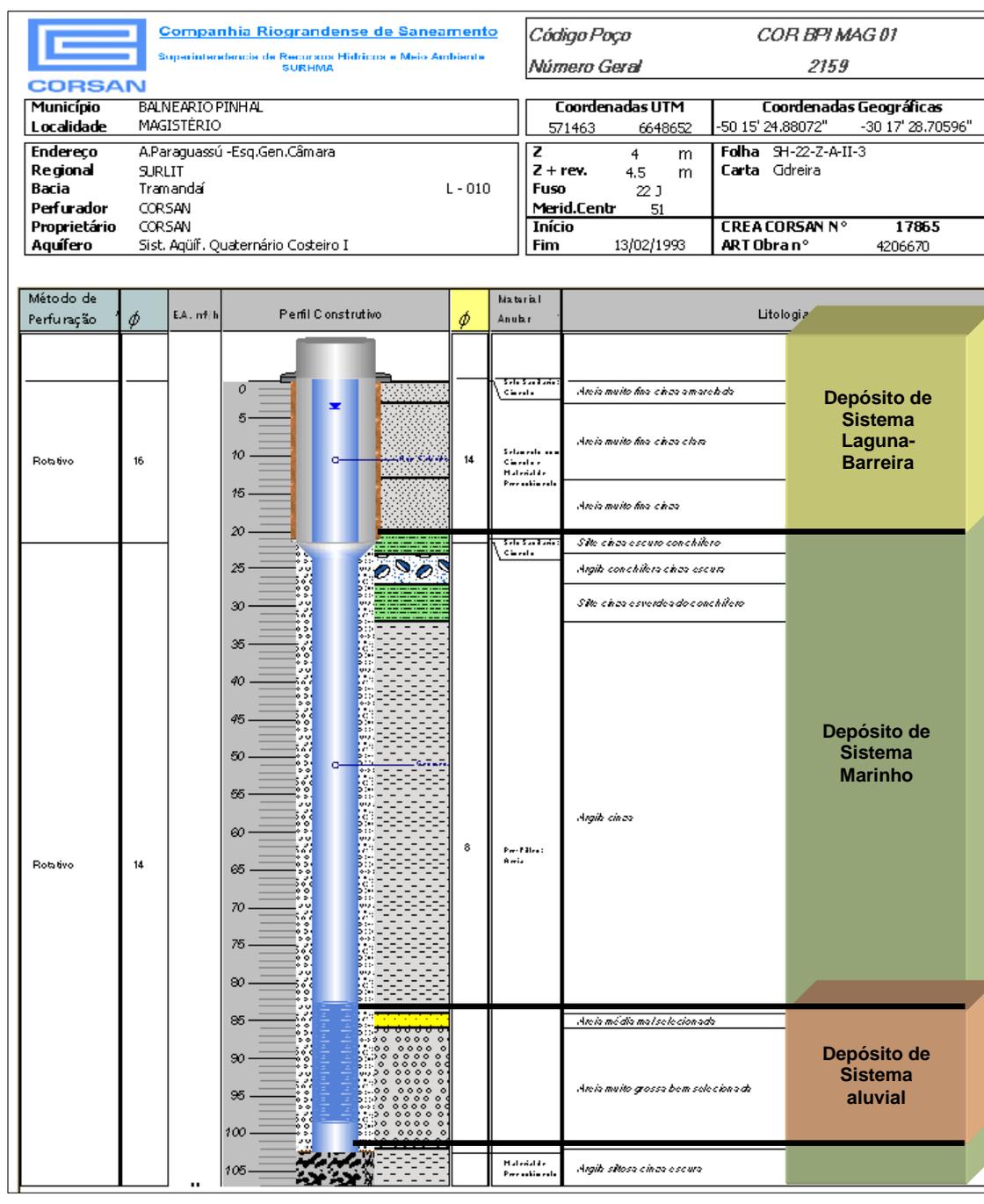


Figura 36. Poço de Balneário Pinhal mostrando os tipos de depósitos e o padrão de empilhamento, observados na análise estratigráfica. (Adaptado de dados disponibilizados pela CORSAN).

A identificação deste pacote marinho se deu principalmente por meio da sua granulometria, geralmente descrita nos perfis de poços como sendo de tamanho argila, silte ou areia fina. Também, frequentemente há ocorrência de conchas nesses pacotes, conforme se observa nas descrições litológicas dos poços. Nos perfis geoeletricos, esses depósitos marinhos aparecem como baixos resistivos em camadas geoeletricas logo acima da camada

interpretada como “Sal Grosso”. Por muitas vezes acaba servindo como um indicador estratigráfico do topo da camada “Sal Grosso”, por apresentar esse comportamento condutivo. Este material fino presente nos pacotes marinhos pode ter sido depositado em contexto de ambiente de *shoreface*, ou até mesmo de *offshore*. Nestas condições, o nível relativo do mar estaria mais alto que o atual. Conjuntamente, depósitos estuarinos poderiam ter sido formados durante uma fase de elevação do nível relativo do mar, com a inundação do paleo vale inciso, a qual teria se expandido com o prosseguimento de um processo de subida eustática.

Esta condição de mar mais alto, formando os espessos pacotes marinhos entre os depósitos dos sistemas de leques aluviais e os depósitos dos sistemas laguna-barreira, não estão ilustrados no perfil esquemático clássico da trajetória da linha de costa para os sistemas deposicionais laguna-barreira (fig. 4). Os depósitos de finos têm espessura considerável de, em média, 45 metros, e são visíveis em praticamente todos os perfis de poços analisados, e identificáveis nas SEVs. Por tais motivos, seria importante considerá-los em relação à estratigrafia da planície costeira, até porque ocorrem logo abaixo dos depósitos dos sistemas laguna-barreira, com seu topo ocorrendo, em média, aos 26 metros de profundidade (coincidindo com a base dos depósitos do sistema laguna-barreira). Além disso, a ocorrência do depósito marinho nesta posição estratigráfica significa que o mar esteve mais alto antes do início dos depósitos dos sistemas laguna-barreira, a ponto de acumular o espesso pacote de finos. Depósitos deste tipo, com tamanha acumulação, não foram mais observados no registro mais recente, mesmo com as posteriores variações do nível do mar. Possivelmente este nível de mar mais alto responsável pela acumulação dos pacotes de sistema marinho esteja relacionado a oscilações de menor frequência, de outra ordem de grandeza em comparação às oscilações relacionadas às variações eustáticas que registraram cada sistema laguna-barreira presente na planície costeira, os quais podem ser considerados como sequências deposicionais de alta frequência (Rosa et al., 2017).

Deste modo, sob os depósitos sedimentares acumulados abaixo da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, teria se desenvolvido um sistema estuarino que evoluiu para um sistema marinho, cujos pacotes sedimentares estão evidentes nos perfis de poços e nas SEVs.

A ilustração da fig. 37 integra o conhecimento sobre a estratigrafia obtido neste trabalho com o modelo anteriormente proposto por Villwock & Tomazelli (2000).

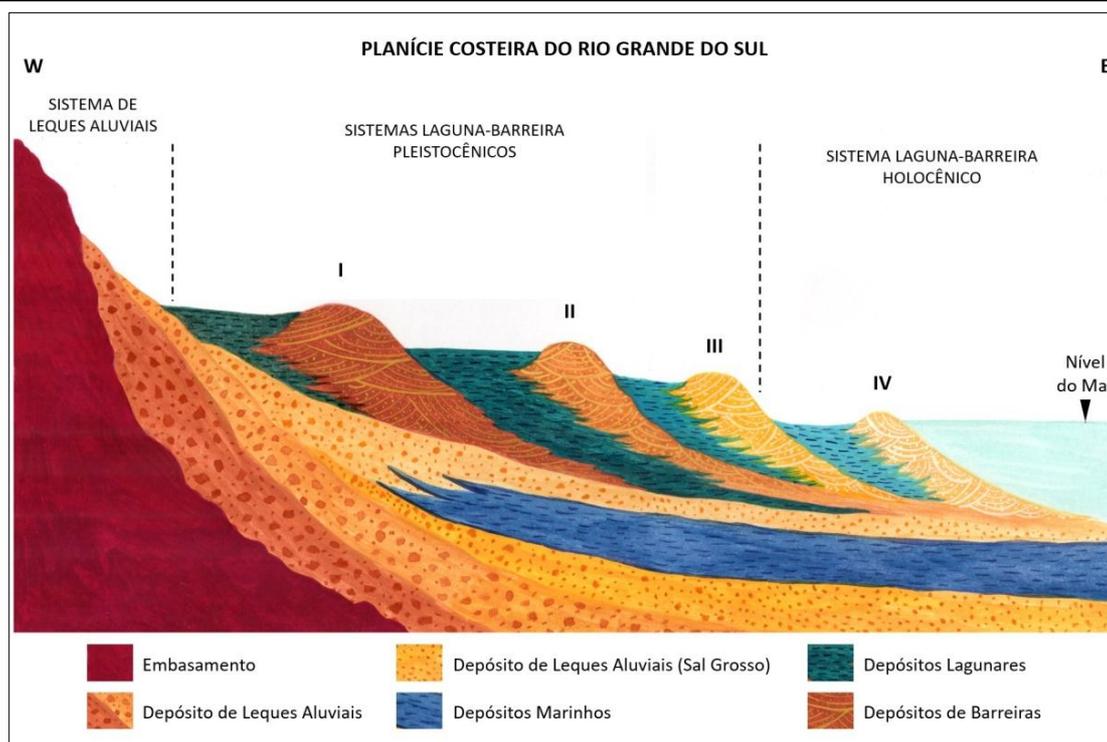


Foto 37. Perfil esquemático de trajetória da linha de costa na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, com a inserção do pacote marinho entre os depósitos dos sistemas laguna-barreira e dos leques aluviais. Desenhista: Mariah Xavier Rocha (Modificado de TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000).

6 CONCLUSÕES

O presente estudo procurou definir a distribuição espacial da camada “Sal Grosso” no litoral norte do Rio Grande do Sul, procurando entender sua geometria, de modo a ajudar a compreender sua gênese. Também, investigou a ocorrência da camada dentro dos limites do município de Imbé. Além disso, foi feita uma análise das diferentes unidades deposicionais presentes nos perfis, com a identificação de um padrão de empilhamento.

A hipótese inicialmente levantada, de que a camada “Sal Grosso” teria se originado a partir de um sistema aluvial é extremamente plausível, já que a sua geometria, aliada às características sedimentológicas, indica a existência de um paleocanal orientado perpendicularmente à linha de costa entre os municípios de Osório e Tramandaí. Outras feições evidenciadas através do mapa de espessuras, como “ramos”, indicam a “Sal Grosso” em vários locais, o que embasa a presença de sistemas aluviais com a presença de leques aluviais nas porções mais proximais, passando distalmente para sistemas fluviais.

Como os dados disponíveis na área estão distribuídos de forma restrita e irregular, a visualização espacial da ocorrência da camada e a definição de

feições através de interpolação de dados, como as suas espessuras, ficam prejudicadas, tendo que haver muito cuidado nas interpretações realizadas. Assim, novas perfurações e dados de sondagens seriam importantes para melhor definir as feições relacionadas à camada.

Sobre a sua ocorrência em Imbé, as sondagens elétricas verticais realizadas dentro dos limites do município não a identificaram, de forma coerente com os dados já existentes de poço e SEVs realizadas anteriormente. Imbé oferece condição pouco favorável à captação de água subterrânea por poços tubulares, portanto. Com exceção da área próxima ao limite com o Balneário Atlântida Sul, onde uma SEV levantada pela equipe da CORSAN identificou um possível aquífero aos 81 metros, condizente com os depósitos de “Sal Grosso” identificados nos perfis dos poços produtivos que a CORSAN tem em Atlântida Sul, pertencente ao município de Osório.

Por fim, a análise estratigráfica evidenciou a presença de depósitos aluviais (onde está contida a unidade “Sal Grosso”), uma unidade deposicional estuarina/marinha e os sistemas laguna-barreira. Este empilhamento indica um período de mar mais baixo seguido por um afogamento e um novo período de mar mais baixo. Este grande ciclo poderia representar uma sequência deposicional de ordem inferior (menor frequência) à das sequências deposicionais associadas aos sistemas laguna-barreira registrados na planície costeira do Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

- BAITELLI, R. 2012. **Evolução paleogeográfica do sistema de paleodrenagem do Rio Jacuí na Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 149 f., Tese de doutorado, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BARBOZA, E. G.; TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R., ROSA, M. L. C. C. Planície costeira do Rio Grande Do Sul: erosão em longo período. **Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología**, v. 15, n. May 2016, p. 94–97, 2009.
- BRAGA, A. C. D. O. **Geofísica Aplicada: métodos geoeletricos em hidrogeologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E.G.; TOMAZELLI, L.J.; HESP, P.A.; CLEROT, L.C.P. & AYUP-ZOUAIN, R.N. 2009. **The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul**. In: DILLENBURG, S.R. & HESP, P.A. (eds). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Springer, p.53-91.
- DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G. The strike-fed sandy coast of Southern Brazil. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 388, n. 1, p. 333–352, 2014.
- MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. D. 2005. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: relatório final**. Porto Alegre: CPRM, 1.
- ROSA, M.L.C.C. 2012. **Geomorfologia, estratigrafia de sequências e potencial de preservação dos sistemas laguna-barreira do Quaternário costeiro do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 232 p., Tese de doutorado, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ROSA, M.L.C.C et al. 2012. **High-Frequency Sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base-level fall**. *Brazilian Journal of Geology*, São Paulo , v. 47, n. 2, p. 183-207, Apr. 2017.
- TOMAZELLI, J. A.; VILLWOCK, J. A. 1996. Quaternary geological evolution of Rio Grande do Sul coastal plain, southern Brazil. **Anais da Academia brasileira de Ciências**, 68 (3), 373-382.
- TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. 2000. **O Cenozóico no Rio Grande do Sul: geologia da planície costeira**. *Geologia do Rio Grande do Sul*, 2, 375-406.
- VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. 1995. **Geologia costeira do Rio Grande do sul. Notas técnicas**, 8, 1-45.
- VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J.; LOSS, E. L.; DEHNHARDT, E. A.; HORN F^o, N.O.; BACHI, F. A. & DEHNHARDT, B. A. 1986. **Geology of the**

Rio Grande do Sul Coastal Province. In: Rabassa, J. (ed.). Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. A.A. Balkema, Rotterdam. 4:79-97.

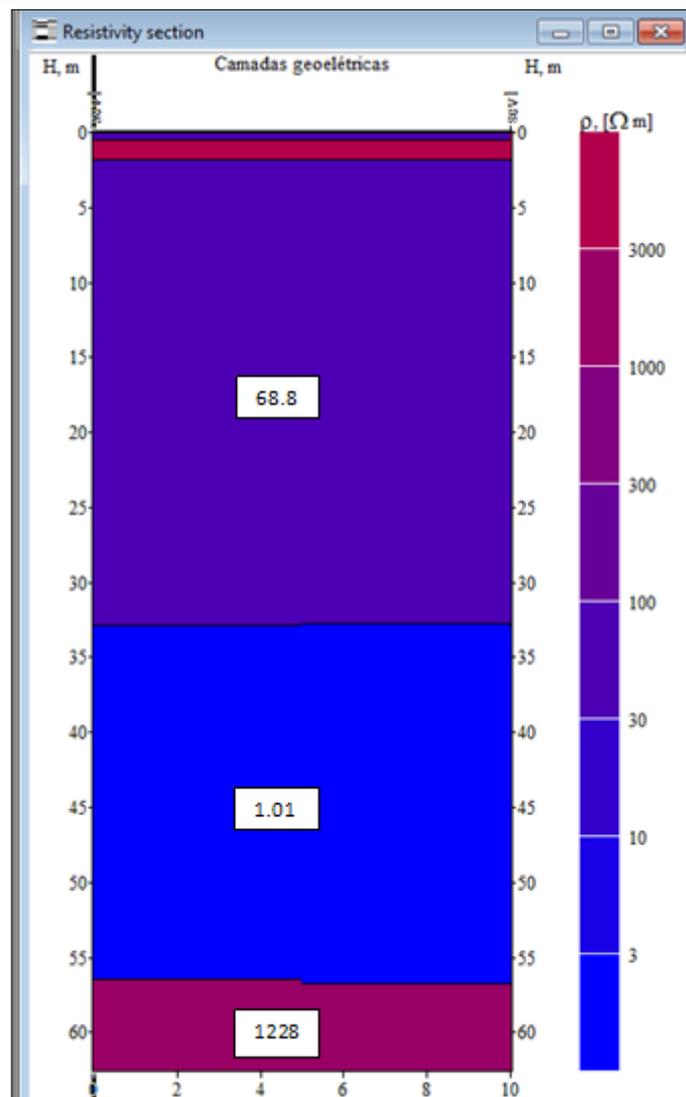
WESCHENFELDER, J. 2005. **Processos sedimentares e variação do nível do mar na região costeira do Rio Grande do Sul, Brasil.** Porto Alegre, 141 f., Tese de doutorado, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

WILDNER, W., RAMGRAB, G. E., LOPES, R. D., & IGLESIAS, C. D. F. 2006. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: CPRM.

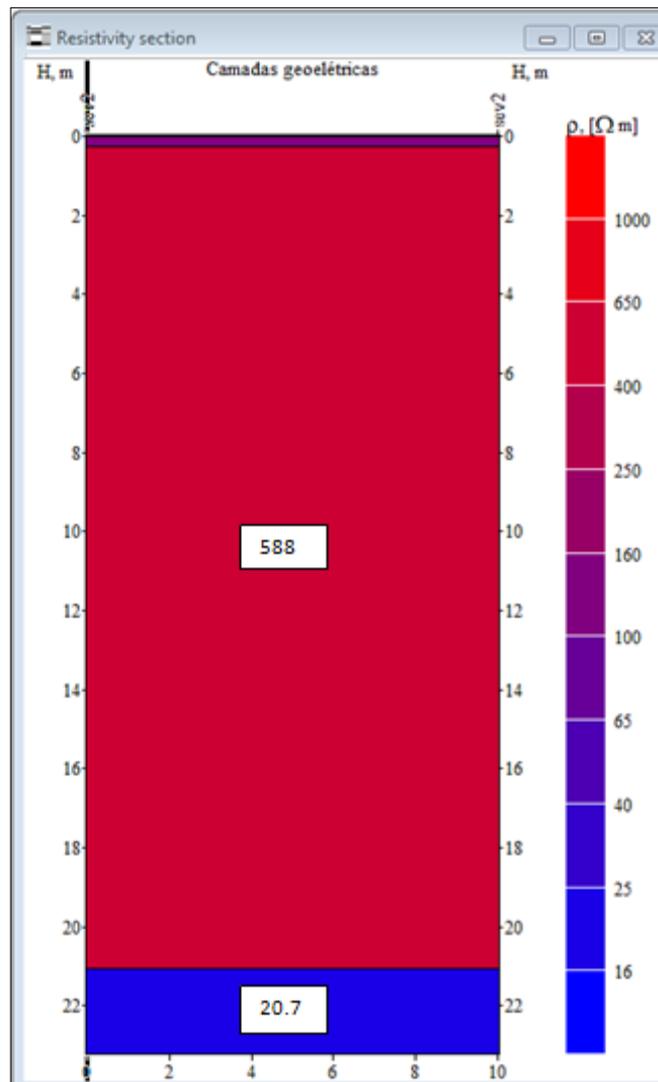
ANEXOS

MEM	SEV: 1		Equip:		Temático Luísa		
	AB/2	MN/2	K	ΔV	I	Rho	Erro (%)
1	1.5	0.5	6.28			145.9	0.1
2	2	0.5	11.78			199.1	0.1
3	3	0.5	27.48			312	0
4	4	0.5	49.48			410	0
5	5	0.5	77.75			495	0
6	6	0.5	112.31			555.7	0
7	6	1	54.98			492.2	0
8	8	0.5	200.18			635	0
9	8	1	98.91			568.7	0
10	10	0.5	313.35			665.4	0
11	10	1	155.43			594.3	0.1
12	12	1	224.51			571.1	0.1
13	15	1	351.68			493.2	0
14	15	2	173.57			468.2	0
15	20	1	626.75			327.7	0
16	20	2	311.01			312.7	0
17	25	2	487.73			203.5	0.1
18	30	2	703.71			140.6	0
19	40	2	1253.49			77.3	0.2
20	40	5	494.8			75.85	0.2
21	50	2	1960.35			39.17	0.5
22	50	5	777.54			59.25	2
23	60	5	1123.11			51.93	0.8
24	60	10	549.77			49.44	0.3
25	80	5	2020.7			34.53	0.1
26	80	10	989.1			32.02	0.3
27	100	5	3133.74			19.5	0.2
28	100	10	1555.09			17.33	0.6
29	150	5	7060.72			5,071	0.3
30	150	10	3518.58			4,581	25
31	200	5	12558.51			11.01	16
32	200	10	6267.47			10.33	19

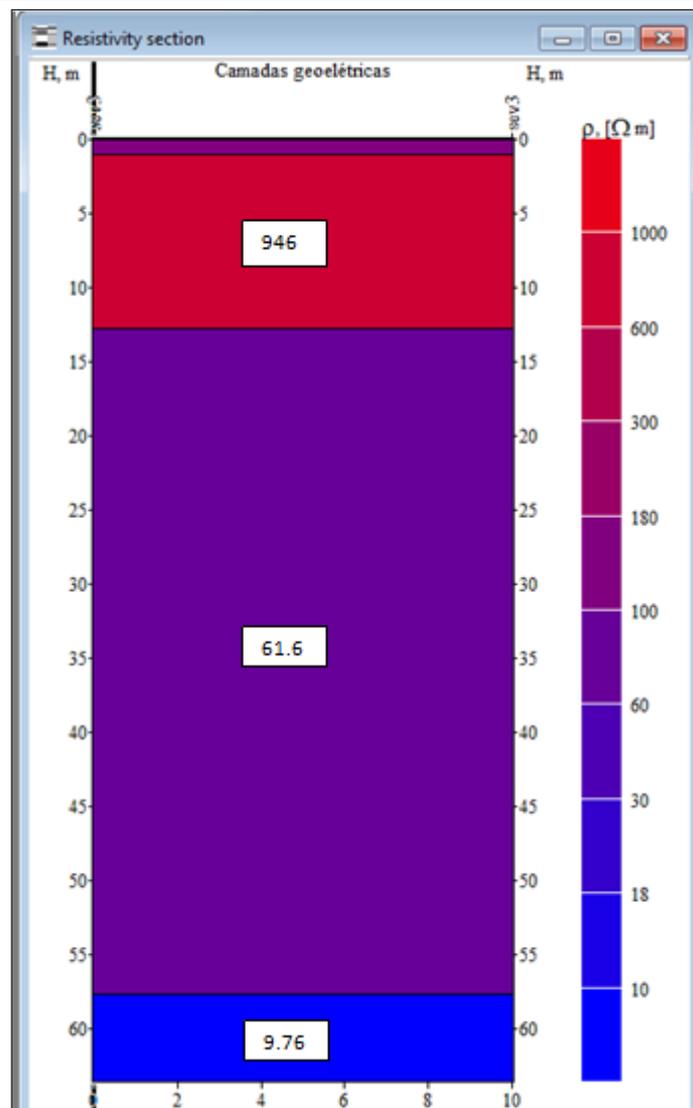
Anexo 1. Planilha de campo utilizada para levantamentos de sondagem elétrica vertical, preenchida com dados da SEV 1.



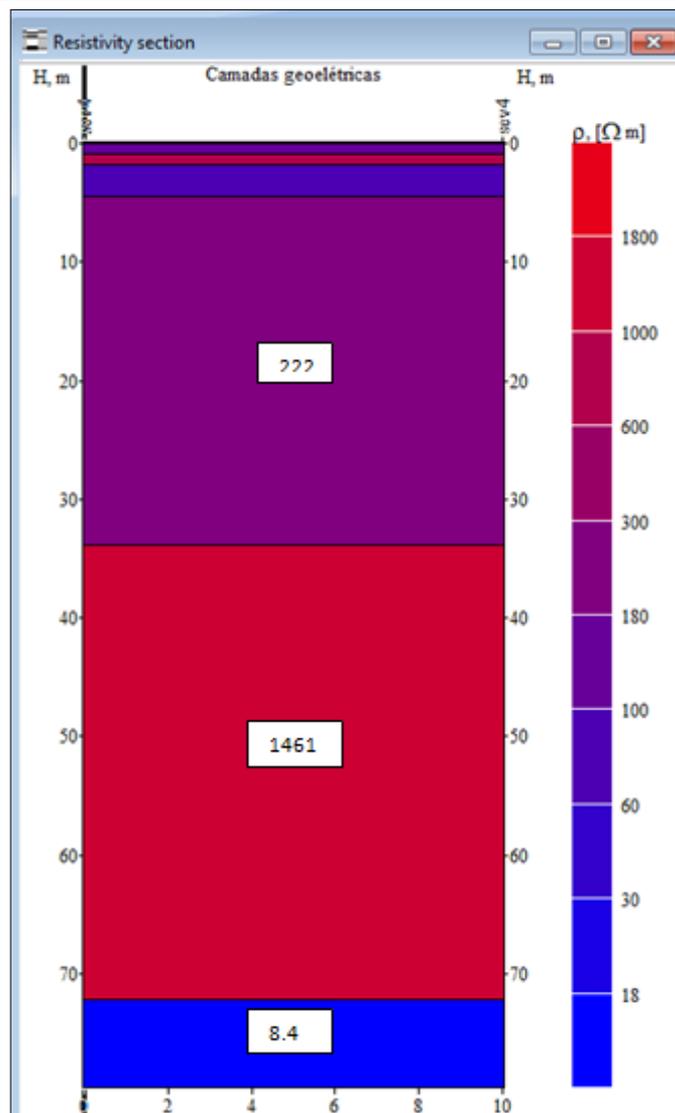
Anexo 2. SEV 1 – Perfil geolético separando as camadas geoléticas, com suas respectivas resistividades.



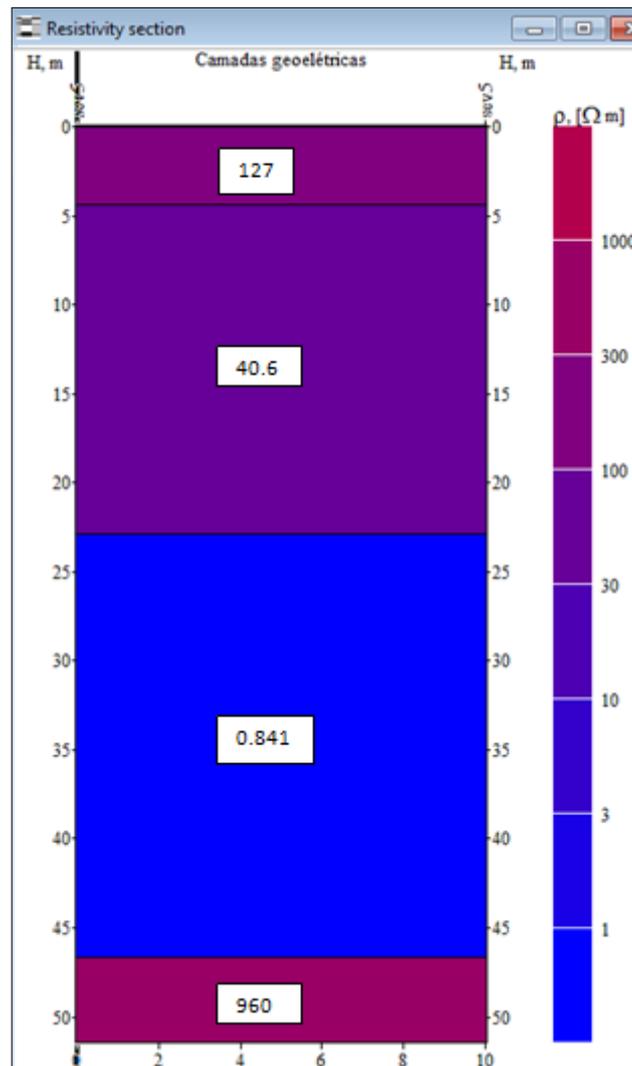
Anexo 3. SEV 2 – Perfil geolétrico separando as camadas geolétricas, com suas respectivas resistividades.



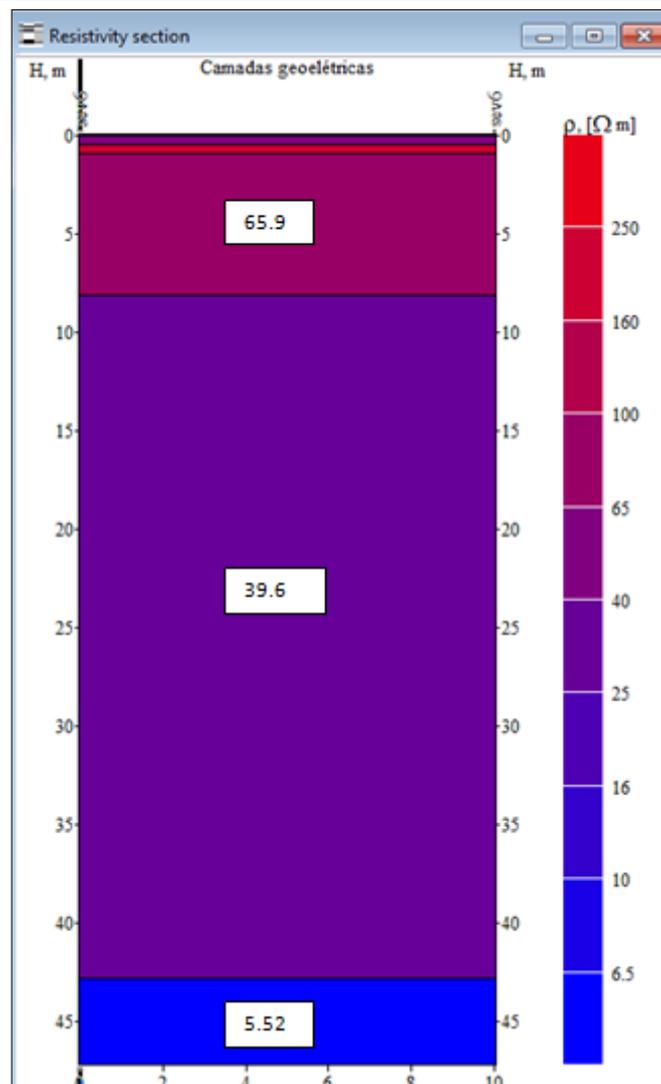
Anexo 4. SEV 3 – Perfil geolétrico separando as camadas geolétricas, com suas respectivas resistividades.



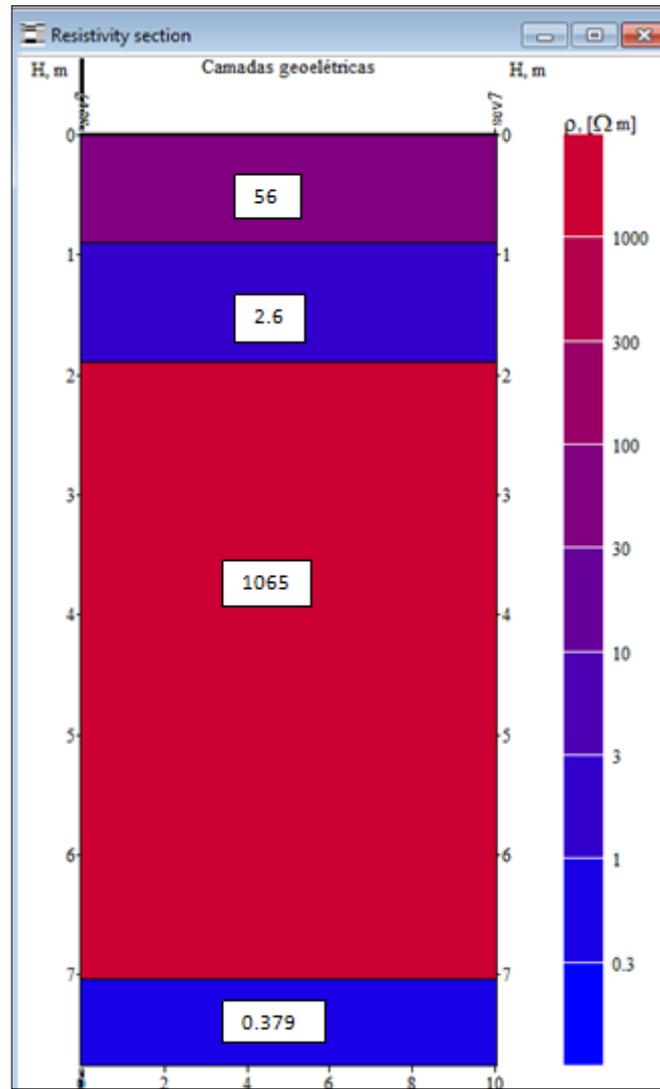
Anexo 5. SEV 4 – Perfil geolétrico separando as camadas geolétricas, com suas respectivas resistividades.



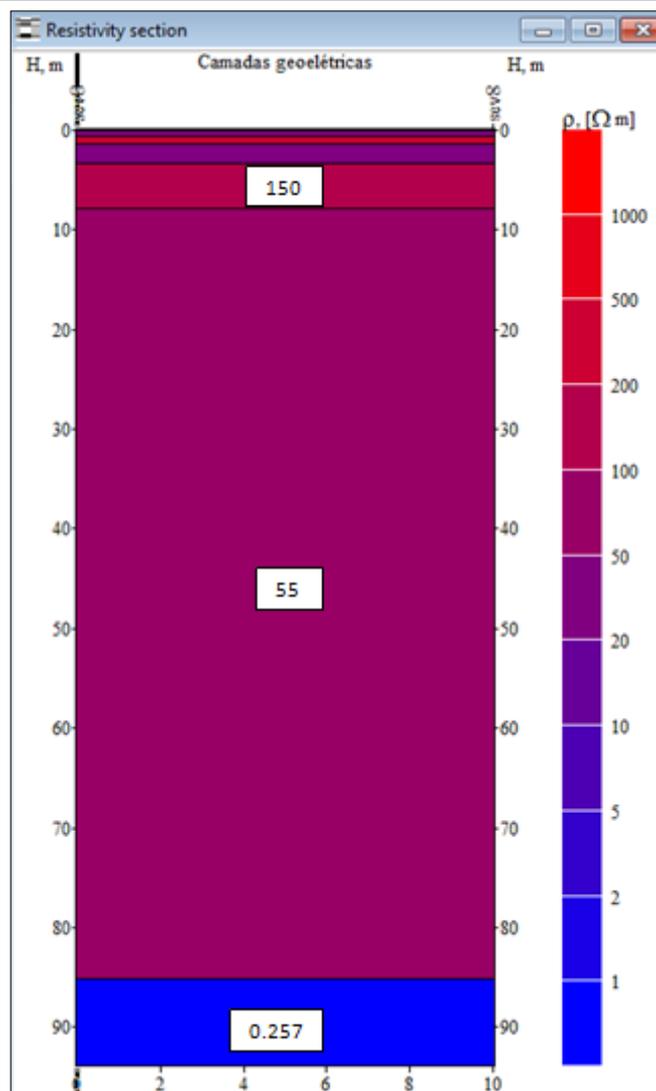
Anexo 6. SEV 5 – Perfil geolétrico separando as camadas geolétricas, com suas respectivas resistividades.



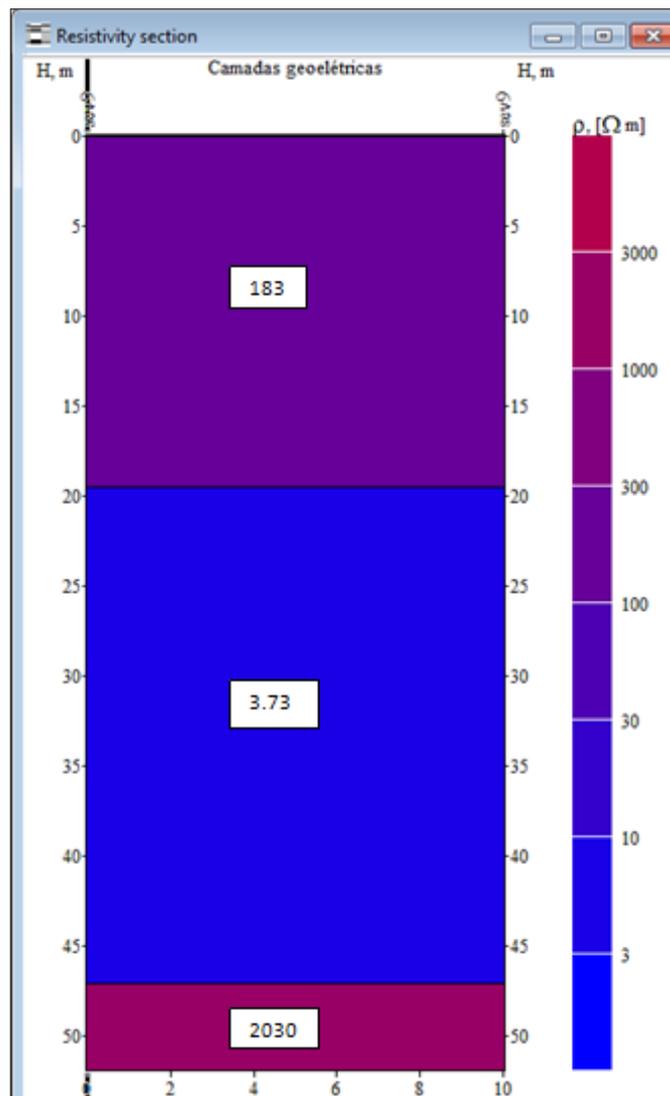
Anexo 7. SEV 6 – Perfil geolétrico separando as camadas geoléticas, com suas respectivas resistividades.



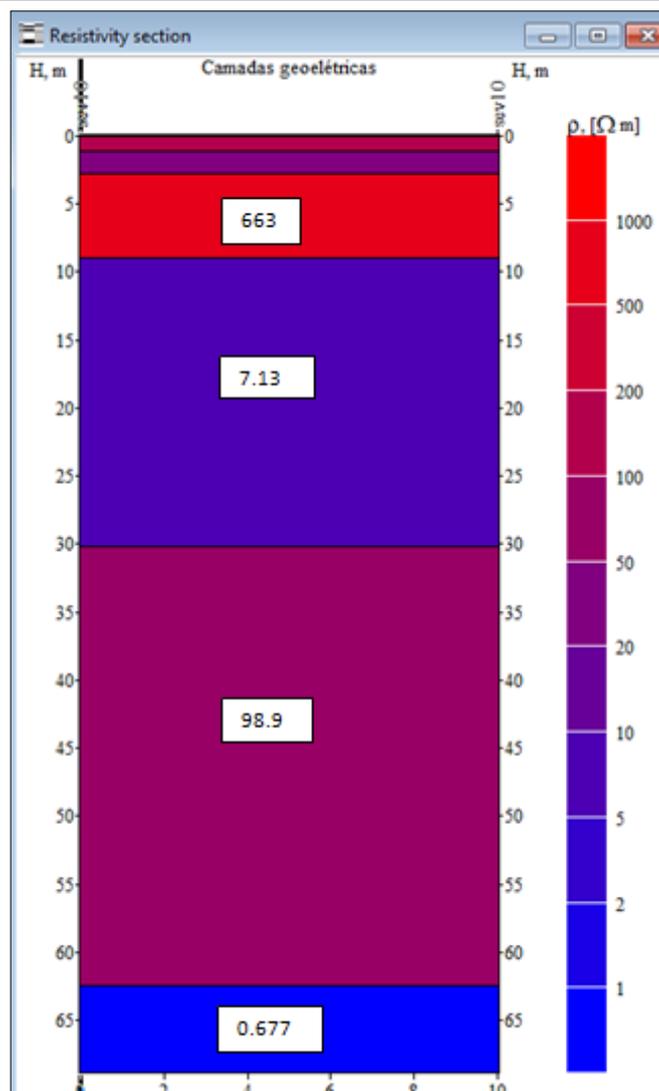
Anexo 8. SEV 7 – Perfil geolétrico separando as camadas geolétricas, com suas respectivas resistividades.



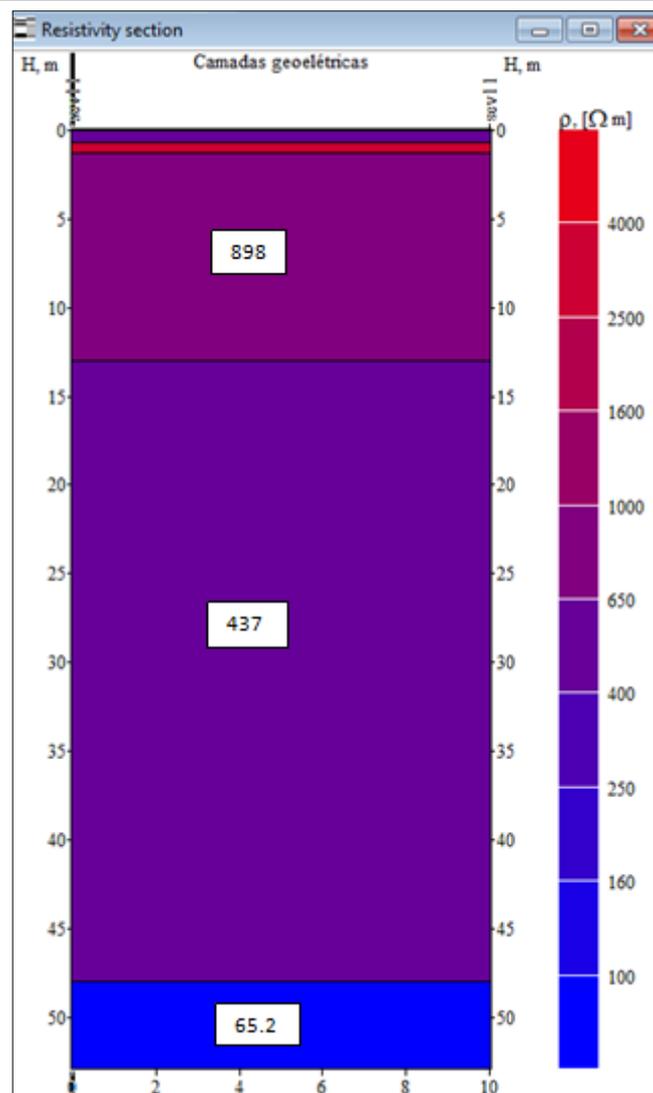
Anexo 9. SEV 8 – Perfil geolétrico separando as camadas geoléticas, com suas respectivas resistividades.



Anexo 10. SEV 9 – Perfil geoelectrico separando as camadas geoelectricas, com suas respectivas resistividades.



Anexo 11. SEV 10 – Perfil geolétrico separando as camadas geolétricas, com suas respectivas resistividades.



Anexo 12. SEV 11 – Perfil geológico separando as camadas geológicas, com suas respectivas resistividades.