



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**Interpretação de dados de perfis geofísicos de poços
para caracterização hidrogeológica na região de
Valparaíso/SP**

Aluno: Lucas Bosco Papa

Orientador: Prof. Dr. Emilson Pereira Leite

Coorientador: Geol. Msc. Mario Nascimento de Souza Filho

Campinas, agosto de 2014

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus, que me guiou, e continua me guiando, por colocar em meu caminho pessoas que tornaram meu sonho possível. Agradeço de maneira especial aos meus orientadores, que estiveram sempre solícitos, preocupados e atenciosos em tempo integral, sempre esclarecendo minhas dúvidas e clareando meu caminho. Foram eles: na Unicamp, o Professor Dr. Emilson Pereira Leite, e na Perfil Master, o também Professor, Msc. Geól. Mario Nascimento Souza Filho.

Agradeço à Perfil Master, pela oportunidade de estágio, pelos dados cedidos durante esse projeto e pela atenção e, dessa forma, aproveito para agradecer ao técnico Welington pela paciência, atenção e instruções durante as atividades de estágio. Agradeço também ao sr. Ademar Redigolo, Superintendente do DAEV, e a todos os colaboradores desse Departamento, pelos dados cedidos para esse projeto.

Agradeço à base de tudo, minha família, Francisco, Sueli e Julia, (pai, mãe e irmã) sempre presente em todos os momentos, mesmo nos mais difíceis, me amparando, aconselhando, ou simplesmente me ouvindo, garantindo-me que tudo se acertaria ao final, assim como também fizeram meus primos e tios, os Bosco. Não posso esquecer de agradecer aos meus amigos, minha segunda família, moradores e “agregados” da querida República Rapina e aos meus também amigos, 09 da Geologia da Unicamp, minha sala.

Por fim, agradeço ao corpo Docente da Geologia da Unicamp, que forneceu o insumo para que eu me aproximasse da condição de *ser* Geólogo, além de todos os funcionários do Instituto de Geociências, principalmente às secretárias, sempre prontas e atenciosas.

Kairós

Tempo de Deus

Sumário

1. Introdução.....	1
1.1. Objetivos.....	3
1.2. Área de Estudo	4
2. Caracterização Regional.....	4
2.1. Bacia do Paraná	4
2.2. Estratigrafia do Grupo Bauru	6
2.2.1. Formação Serra Geral	8
2.2.2. Formação Caiuá.....	9
2.2.3. Formação Santo Anastácio	10
2.2.4. Formação Adamantina.....	11
2.2.5. Formação Marília	12
2.3. Hidrogeologia Regional de Valparaíso - SP.....	12
2.3.1. Aquífero Guarani.....	13
2.3.2. Aquífero Serra Geral	14
2.3.3. Aquífero Bauru	14
3. Materiais e Métodos	15
3.1. Mapas	15
3.2. Descrição das Amostras.....	16
3.3. Perfilagens de Poços	16
3.3.1. Definição	17
3.3.2. Aplicações	17
3.3.3. Vantagens	18
3.3.4. Limitações	18
3.3.5. Tipos de Perfis	19
a. Perfis de Resistividade	19
b. Perfil de Potencial Espontâneo (SP).....	20

c. Perfil de Raios Gama.....	20
d. Perfil de Temperatura.....	20
3.3.6. Perfis Utilizados	21
3.4. Análise de Componentes Principais (PCA).....	22
4. Caracterização Local	23
4.1. Hidrografia de Valparaíso - SP.....	23
4.2. Geologia Local de Valparaíso-SP.....	24
4.3. Hidrogeologia Local de Valparaíso/SP	25
5. Resultados	29
6. Discussões	35
7. Conclusões	43
8. Referências Bibliográficas	44
9. Anexos.....	I

Índice de Figuras

<i>Figura 1 - Limite Municipal de Valparaíso-SP no Estado de São Paulo (modificado de IBGE, 2009).....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2 - Mapa Geológico da Bacia do Paraná Simplificado (Milani, 1998).....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 3 - Escala do Tempo Geológico com a ocorrência das supersequências representadas pelos números de 1 – 6 (Extraído de USGS, 2012).</i>	<i>6</i>
<i>Figura 4 - Distribuição do Grupo Bauru, Formação Itaqueri e correlatas no Estado de São Paulo (Extraído de IPT, 1981).....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 5 - Quadro estratigráfico do Grupo Bauru. (Soares et al., 1980)</i>	<i>8</i>
<i>Figura 6 - Principais unidades aquíferas do Estado de São Paulo (Iritani & Ezaki, 2012).....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 7 - Mapa das Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (IGC, 1998).....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 8 - Mapa Topográfico de Valparaíso-SP com poços plotados</i>	<i>27</i>
<i>Figura 9 - Foto da Placa do Poço Profundo do Aquífero Guarani (P11) de Valparaíso-SP.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 10 - Fotos do tanque misturador das águas, em que os números não tem relação com os números de identificação dos poços, apenas números de controle utilizados na ETA para acompanhar os seis poços do Bauru (1-6) e o poço do Guarani (7).....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 11 – Canais de Scores gerados para a PCA do poço Estrada Adamantina (P25)</i>	<i>30</i>
<i>Figura 12 – Canais de Scores gerados para a PCA do poço Penitenciária I (P26)</i>	<i>31</i>
<i>Figura 13 – Canais de Scores gerados para a PCA do poço Penitenciária II (P27).....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 14 – Canais de Scores gerados para a PCA do poço ETA II (P28).....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 15 - Mapa de Contorno Estrutural do Topo dos basaltos da Fm. Serra Geral (KJsg) 1:25.000</i>	<i>34</i>
<i>Figura 16 - Mapa de Contorno Estrutural do Topo dos arenitos do Grupo Bauru (Kb) 1:25.000.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 17 - Mapa de Espessuras dos arenitos do grupo Bauru (Kb) 1:25.000.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 18 - Interpretação Hidroestratigráfica do poço Estrada Adamantina (P25) ...</i>	<i>36</i>
<i>Figura 19 - Interpretação Hidroestratigráfica do poço Penitenciária I (P26)</i>	<i>37</i>
<i>Figura 20 - Interpretação Hidroestratigráfica do poço Penitenciária II (P27).....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 21 - Interpretação Hidroestratigráfica do poço ETA II (P28).....</i>	<i>39</i>

<i>Figura 22 - Amostra de calha de perfuração entre as profundidades de 70 e 100 m do P28.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 23 - Relação entre os Poços P26 e P27</i>	<i>41</i>
<i>Figura 24 - Relação entre os poços P25, P26, P27 e P28, em que círculos da mesma cor representam trechos equivalentes em cada um dos poços.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 25 - Amostras de calha do P28.....</i>	<i>II</i>
<i>Figura 26 - Parâmetros cruzados na PCA e primeiro canal de score selecionado para o poço P25.....</i>	<i>III</i>
<i>Figura 27 - Parâmetros cruzados na PCA e segundo canal de score selecionado para o poço P25.....</i>	<i>IV</i>
<i>Figura 28 - Parâmetros cruzados na PCA e primeiro canal de score selecionado para o poço P26.....</i>	<i>V</i>
<i>Figura 29 - Parâmetros cruzados na PCA e segundo canal de score selecionado para o poço P26.....</i>	<i>VI</i>
<i>Figura 30 - Parâmetros cruzados na PCA e primeiro canal de score selecionado para o poço P27.....</i>	<i>VII</i>
<i>Figura 31 - Parâmetros cruzados na PCA e segundo canal de score selecionado para o poço P27.....</i>	<i>VIII</i>
<i>Figura 32 - Parâmetros cruzados na PCA e primeiro canal de score selecionado para o poço P28.....</i>	<i>IX</i>
<i>Figura 33 - Parâmetros cruzados na PCA e segundo canal de score selecionado para o poço P28.....</i>	<i>X</i>

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1 - Métodos Geofísicos de perfilagem, condições do poço e objetivos</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 2 - Sondas utilizadas nas perfilagens em Valparaíso e suas funções</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 3 - Relação dos poços de Valparaíso com suas respectivas identificações, localizações, profundidades e vazões</i>	<i>25</i>
<i>Tabela 4 - Descrição das amostras de calha, com base em sua granulometria, cor, seleção, arredondamento e outras características marcantes, conforme profundidade ..</i>	<i>I</i>

Resumo

Este trabalho consiste em um estudo para auxiliar na caracterização hidrogeológica da área de Valparaíso/SP, situado sobre as unidades sedimentares da Formação Adamantina, Grupo Bauru, Bacia do Paraná e sobre três dos principais aquíferos brasileiros: Bauru, Serra Geral e Guarani. O principal objetivo é entender a relação entre os dados geofísicos de poços e alguns parâmetros geológicos e hidrogeológicos na área de estudo, no sentido de contribuir para a caracterização hidrogeológica da região de Valparaíso/SP como um todo, permitindo identificar os melhores horizontes produtores e reservatórios de água, estimando-os a partir das informações presentes nos seus relatórios de perfuração, quanto, principalmente, nos relatórios e dados de perfilagem, cedidos pela empresa Perfil Master.

O estudo baseou-se nas análises e interpretações de perfis geofísicos de poços coletados em 4 dos 28 poços perfurados no entorno da cidade. As interpretações hidroestratigráficas basearam-se nos perfis de *score* obtidos após aplicação da técnica de Análise de Componentes Principais (PCA – *Principal Components Analysis*) para perfis geofísicos. A partir dos valores de profundidade das unidades sedimentares de cada um dos poços presentes nos relatórios de perfuração, e por consequência da profundidade do topo dos basaltos, foi possível cruzar esses valores e obter um Mapa de Espessuras das Unidades Sedimentares de Valparaíso/SP.

Os *scores* gerados pela PCA possibilitaram uma interpretação hidroestratigráfica, que, apesar de relativa, mostrou distribuição semelhante à esperada para ambiente de deposição flúvio-lacustre. Junto das interpretações disponíveis, o Mapa de Espessuras das unidades sedimentares do Kb gerado apresenta-se como aliado na escolha de futuras locações de poços, que explorem o Grupo Bauru.

Abstract

This work consists in a study to assist in a hydrogeological characterization of the area of Valparaíso/SP, located on the sedimentary units Adamantina, Bauru Group, Paraná Basin and on three of the main Brazilian aquifers: Bauru, Serra Geral and Guarani. The main objective of this study is to understand the relationship between the geophysical borehole data and some geological and hydrogeological parameters in this region, to contribute to the hydrogeological characterization of the region of Valparaíso/SP as a whole, allowing to identify the best producers horizons and water

reservoirs, estimated from the information provided in their reports drilling, as mainly the reports and data profiling, assigned by Perfil Master.

The study was based on the analysis and interpretations of geophysical well logs collected over 4 of the 28 wells drilled around the city. Hydrostratigraphic interpretations were assisted by score logs obtained after applying the technique of Principal Components Analysis (PCA) to the geophysical logs. From the depth values of the sedimentary units of each of the wells, present in drilling reports, and therefore the depth of the top of the basalts, was possible to cross these values and get a Map of Thickness of Sedimentary Units of Valparaíso/SP.

The scores generated by PCA allowed a hydrostratigraphic interpretation, which, although relative, was similar to that expected from deposition of fluvial-lacustrine environment distribution. Along the interpretations available, the Map of Thicknesses of Sedimentary Units of Kb generated, presents itself as an ally in choosing future locations of wells, which exploit the Bauru Group.

1. *Introdução*

A perfuração de poços, em função das amostras coletadas, na maioria das vezes, estarem contaminadas com fragmentos de intervalos já perfurados, torna difícil a interpretação desse material coletado. O ideal é fazer até a profundidade do poço desejado, uma sondagem geotécnica amostrando testemunhos de todos os horizontes do poço desejado. No entanto, tal prática, além de morosa, ainda demanda um alto custo (Girão, 1995). A solução para tal necessidade é a perfilagem geofísica de poços.

Os perfis geofísicos de poços fornecem informações que são indispensáveis para caracterização geológica de reservatórios de água em profundidade, tais como a variabilidade sedimentar em escala uniforme, medidas de propriedades físicas do aquífero, além de informações adicionais para delimitação do aquífero (Keys, 1990; Nery, 1995; Mendes & Verma, 2000).

Este trabalho consiste em um estudo para auxiliar na caracterização hidrogeológica do município de Valparaíso-SP (*Figura 1*), o qual se encontra sobre três dos principais aquíferos brasileiros: Bauru, Serra Geral e Guarani. O estudo foi feito com base na análise e interpretação de perfis geofísicos coletados ao longo de 4 dos 28 poços perfurados no entorno da cidade (*Figura 8*), além da descrição geológica de amostras de calha de um poço perfurado no início de 2014. O conjunto de resultados do trabalho poderá servir de referência para o planejamento da perfuração de novos poços na região e para o estabelecimento de modelos hidrogeológicos, além de compor um Projeto de Regularização dos Poços realizado pela Perfil Master - Comércio e Serviços de Perfilagem LTDA, contratado pelo Departamento de Água e Esgoto de Valparaíso/SP.

A técnica de Análise de Componentes Principais (PCA) é aplicada em casos quando se tem mais de um parâmetro de interesse, como ocorre nas perfilagens de poços. Parâmetros geofísicos de diferentes naturezas, como Gama, Resistividade e Condutividade, por exemplo, analisados de maneira conjunta, podem fornecer informações complementares e mais conclusivas do que se analisados individualmente. Isso pode ser observado em diferentes trabalhos acerca da perfilagem em poços de água subterrânea, como no de Brennan (2011), em que considera a PCA um método viável para a previsão da litologia do subsolo, podendo auxiliar ainda na identificação de unidades hidroestratigráficas. Kassenaar (1991), por sua vez, busca a partir da aplicação da técnica da PCA a correlação entre densidade e porosidade, propondo a utilização da

PCA na combinação de componentes de perfilagens geofísicas de poços, reduzindo assim a redundância do conjunto de dados desses parâmetros.

Seguindo o raciocínio desses dois trabalhos, foi essa a técnica de análise estatística empregada para os dados geofísicos dos poços perfilados em Valparaíso/SP, sendo que para cada ponto de perfil de poço, o *score* é a soma dos vetores de cada perfil de interesse multiplicados pelo valor da componente principal correspondente. Assim, os *scores* formam um novo perfil com a mesma quantidade de pontos dos perfis originais, mas que reflete a contribuição de todas as variáveis de interesse em cada ponto.

Fundado e emancipado em 1937, graças à expansão do café, Valparaíso-SP contava na década de 1940, com mais de 40 mil habitantes espalhados em uma área que hoje corresponde a vários outros municípios vizinhos, que cresceram e emanciparam, reduzindo a população, na década de 1960, a apenas 7.000 habitantes (Redígolo, 2013). Posteriormente, na década de 1980, com o advento da cana-de-açúcar, além de receber a primeira usina destiladora de álcool do oeste paulista, Univalem, surgiu o primeiro núcleo residencial da cidade: o Parque dos Canavieiros (Redígolo, 2013).

Com participação em 0,03% do PIB do Estado (SEADE, 2014), o setor agropecuário é o mais forte da economia da cidade. Ainda hoje a cana tem sua importância no cenário econômico da cidade, com as importantes usinas Univalem, hoje pertencente ao Grupo Raízen e Usina da Mata, além da fábrica da Ajinomoto, que produz lisina industrial, um aminoácido derivado do açúcar, essencial na composição de rações para aves e suínos. No setor agropecuário destaca-se a Agropecuária Jacarezinho, no setor de corte bovino de raças como Nelore e Braford, além de ser uma das líderes no setor de produção de sêmen, inseminação artificial e seleção de bovinos geneticamente superiores. (*sites*: Valparaíso, Ajinomoto, Jacarezinho)

Tanto no cultivo da cana quanto na pecuária, são utilizados grandes volumes de água. Tais volumes foram estimados e mensurados em um trabalho publicado por Zimmer & Renault (2003) a respeito do consumo de água na produção de alimentos, em que eles tratam esse consumo indireto da água como “água virtual”. Nesse trabalho é apresentada uma tabela em que demonstra que 1 kg de carne bovina, demanda 13.500 litros de água, enquanto 1 kg de cana-de-açúcar exige 318 litros, com base em valores para a Califórnia-EUA.

De acordo com estimativas da Fundação SEADE, baseadas no Censo Demográfico 2010, Valparaíso conta atualmente com cerca de 23.000 habitantes em um território de 857,5 km², com apenas 4,96 km² de área urbana (SEADE, 2014). De acordo com

informações do DAEV, todas as residências do município, computando cerca de 6.500 ligações, são servidas de águas potável, conforme portaria nº 518 (março de 2004) do Ministério da Saúde, além de apresentar 100% dos efluentes tratados.

Até o final da década de 1990 os valparaisenses enfrentavam constantes escassezes hídricas e racionamentos em virtude de problemas no abastecimento e no déficit hídrico. No entanto, no ano de 1998, um poço tubular profundo de 1128 m, explotando as águas do Aquífero Guarani, com vazões médias de 230 m³/h, começou a operar. Locado no pátio da antiga estação de tratamento de água da cidade, passou a integrar a produção da autarquia, acabando, temporariamente, com os problemas associados ao abastecimento.

Com a desativação dos grandes presídios na década de 1998, o governo deslocou as unidades prisionais para o interior do Estado e no ano de 2001 foi implantado o Centro de Progressão Penitenciária (CPP) de Valparaíso-SP (Redígolo, 2013), aumentando a demanda de água novamente. Ainda segundo Redígolo (2013), atualmente, com mais uma Penitenciária, além da CPP, a população carcerária de Valparaíso corresponde a 10% dos habitantes desse município, com cerca de 2.300 detentos. Isso fez com que fossem perfurados mais dois poços do Aquífero Bauru, de baixa vazão, para complementar o fornecimento por parte do DAEV.

1.1. Objetivos

O objetivo principal desse trabalho é compreender a relação entre os dados geofísicos de poços e alguns parâmetros geológicos e hidrogeológicos na área de estudo, no sentido de contribuir para a caracterização hidrogeológica da região de Valparaíso-SP como um todo, permitindo identificar os melhores horizontes produtores e reservatórios de água, estimando-os a partir das informações presentes nos seus relatórios de perfuração, quanto, principalmente, nos relatórios e dados de perfilagem, cedidos pela Perfil Master.

Com base no objetivo apresentado foram definidas as seguintes metas a serem cumpridas:

- Delimitar o topo dos basaltos da Fm. Serra Geral nos perfis disponíveis, a partir da confecção do Mapa de Contorno Estrutural do Topo dessa Formação;
- Delimitar as unidades sedimentares do Gp. Bauru, a partir da confecção de Mapa de Contorno Estrutural do Topo desse Grupo, que corresponde ao mapa topográfico.;

- Identificar as diferentes fácies sedimentares e litologias a partir da interpretação dos perfis geofísicos.

1.2. Área de Estudo

Situada a noroeste do Estado de São Paulo, na 9ª Região Administrativa estadual, pertencente à Araçatuba (DAEE, 1976), a cidade de Valparaíso (*Figura 1*) dista 565 km da capital paulista e faz fronteira com os municípios de Araçatuba, Guararapes, Bento de Abreu, Lavinia, Adamantina e Lucélia.

Pode ser acessada no km 576 da Rodovia SP-300, mais conhecida como Rodovia Marechal Rondon, de Itu-SP até a fronteira com o estado do Mato Grosso do Sul. Outro acesso ao município pode ser feito pelo km 563 da mesma SP-300, seguindo, então, pela SP-541, Rodovia Dr. Plácido Rocha ou Estrada de Adamantina, que contorna o limite urbano, a leste do município, e termina na Destilaria sucroalcooleira Univalem, do Grupo Raízen.

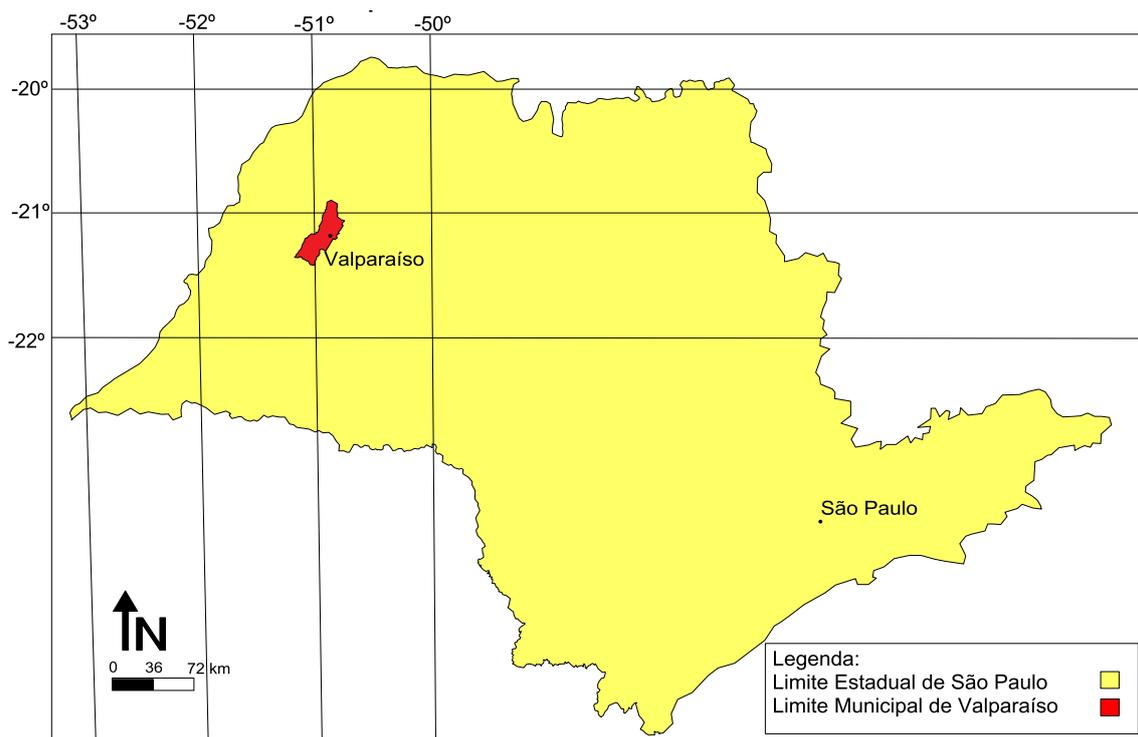


Figura 1 - Limite Municipal de Valparaíso-SP no Estado de São Paulo (modificado de IBGE, 2009)

2. Caracterização Regional

2.1. Bacia do Paraná

Segundo Milani *et al.* (2007) a Bacia Sedimentar do Paraná consiste em uma bacia intracratônica. Essa classificação, quanto ao tipo de bacia, se deve ao seu desenvolvimento ter-se dado no árido interior do paleocontinente *Gondwana*.

Tectonicamente, a subsidência dessa Bacia mostrou-se relacionada aos episódios orogênicos da borda ativa do *Gondwana*. De acordo com Milani *et al.* (2007), uma sobrecarga tectônica teria sido propagada na porção ocidental, ativa, desse paleocontinente, provocando a deformação da litosfera, que corroborou para a subsidência de sua porção central. Estudos pretéritos apresentados por Milani *et al.* (2007) interpretam a evolução da Bacia de outras maneiras. Zalán *et al.* (1990) interpretam a sinéclise como resultado da contração térmica resultante dos fenômenos tectono-magmáticos do Ciclo Brasileiro, enquanto Fulfaro *et al.* (1982) associam “as precursoras da sedimentação cratônica” a calhas aulacogênicas orientadas em NW-SE.

A Bacia do Paraná ocupa uma extensa área na porção Sudeste do continente Sul Americano, abrangendo porções territoriais do Brasil meridional, nordeste da Argentina, Paraguai oriental e norte do Uruguai, totalizando uma área de aproximadamente 1,5 milhões de quilômetros quadrados. Apresenta sedimentos com idades que datam do Paleozoico (Ordoviciano-Siluriano), ao início do Cenozoico (Neocretáceo), apesar da falta de elementos bioestratigráficos para amarrar às escalas do tempo geológico (Milani *et al.*, 2007).

Milani *et al.* (1998) definem

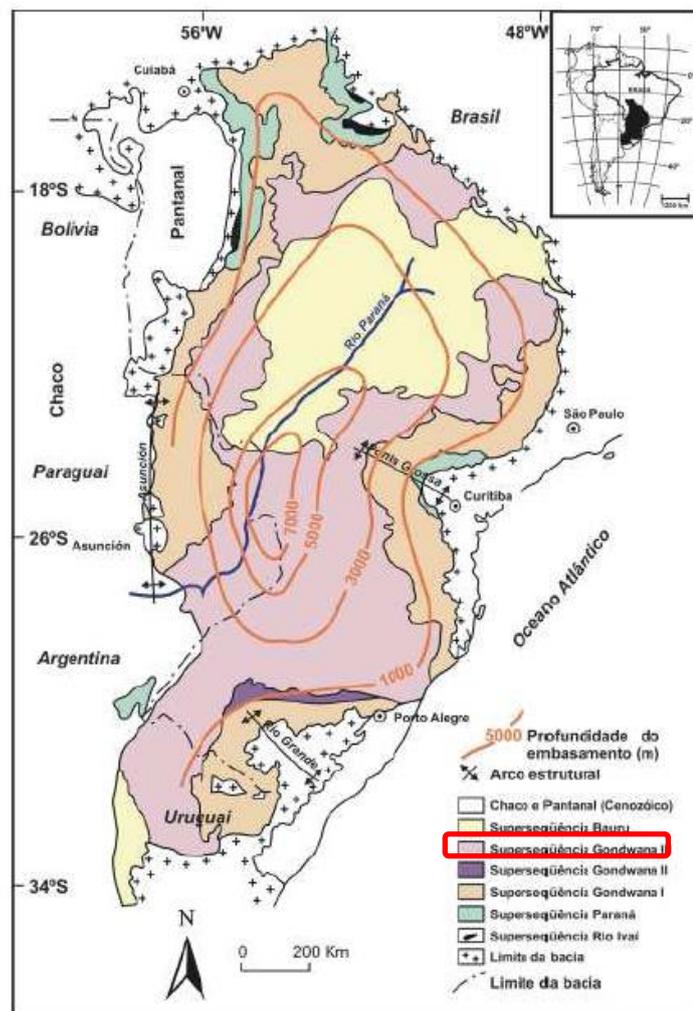


Figura 2 - Mapa Geológico da Bacia do Paraná Simplificado (Milani, 1998)

seis supersequências: 1- Rio Ivaí, 2- Paraná, 3- *Gondwana* I, 4- *Gondwana* II, 5- *Gondwana* III, 6- Bauru. Segundo os autores, compõem o “registro preservado de sucessivas fases de acumulação sedimentar que se intercalam com períodos erosivos”. A respectiva cronologia dessas seis supersequências é apresentada na Escala do Tempo Geológico, a seguir.

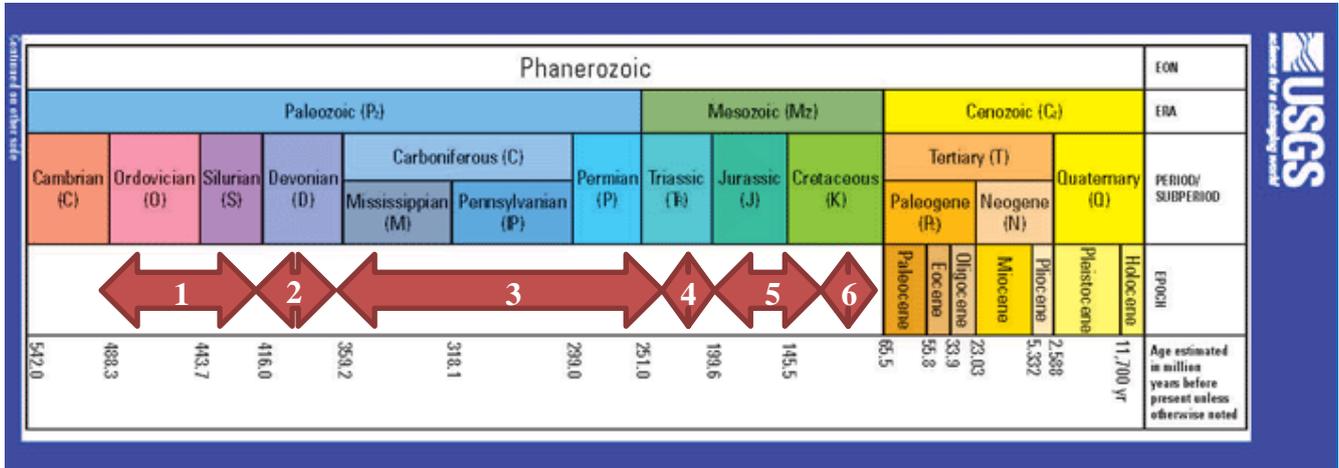


Figura 3 - Escala do Tempo Geológico com a ocorrência das supersequências representadas pelos números de 1 – 6 (Extraído de USGS, 2012).

2.2. Estratigrafia do Grupo Bauru

O Grupo Bauru está inserido na porção centro-setentrional da Bacia do Paraná e corresponde na classificação de Milani *et al.* (2007) à Supersequência Bauru, marcada na Figura 3 pelo contorno em vermelho. Esse Grupo apresenta área aflorante de cerca de 117.000 km² no Estado de São Paulo, correspondente a 47% de seu território. (Silva *et al.*, 2005).

A maior parte, cerca de dois terços, do território paulista pertence às unidades sedimentares da Bacia do Paraná (Rocha, 2005). O município de Valparaíso faz parte dessa fração, posicionado no Noroeste do Estado de São Paulo, está contido nas coberturas sedimentares do Grupo Bauru (Figura 4).

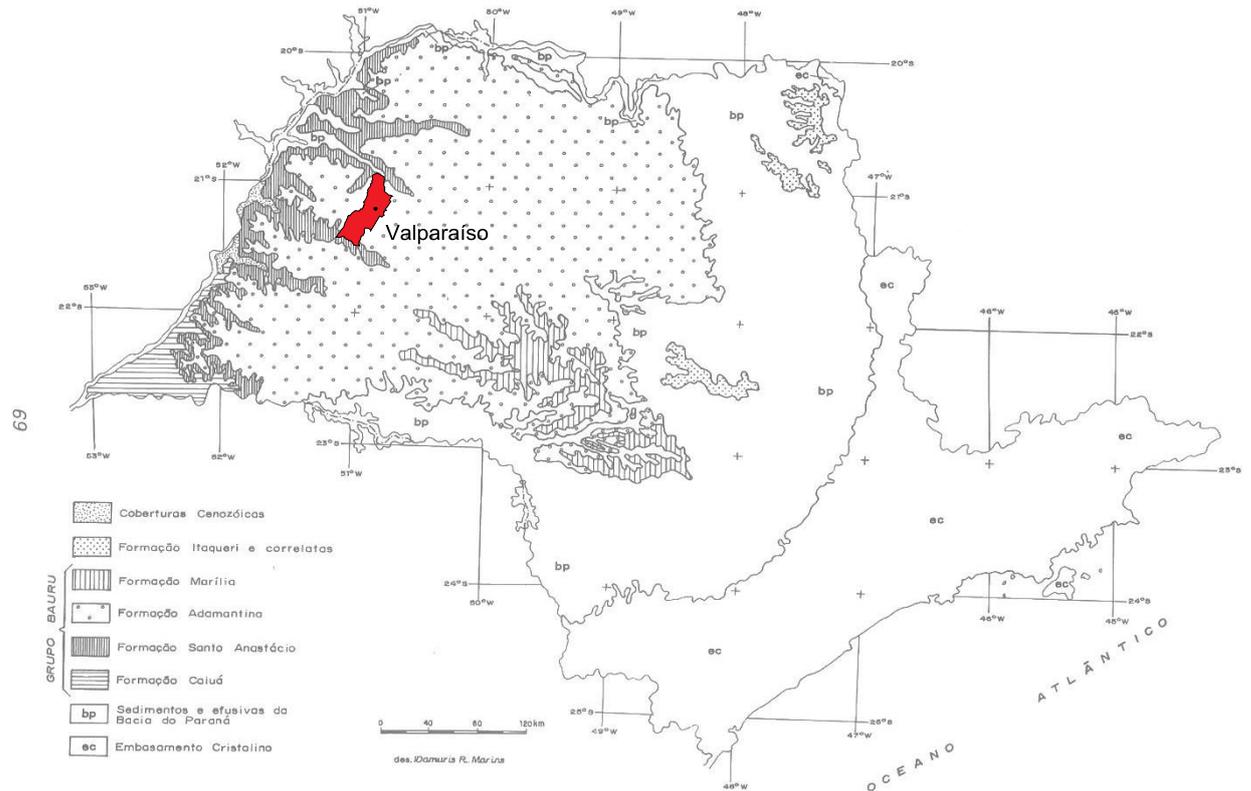


Figura 4 - Distribuição do Grupo Bauru, Formação Itaqueri e correlatas no Estado de São Paulo (Extraído de IPT, 1981)

De acordo com o histórico bibliográfico apresentado por Soares *et al.* (1979) o termo Bauru já foi empregado, anteriormente, para designar Série (Freitas, 1955), Grupo (Almeida e Barbosa, 1953; Barbosa *et al.*, 1967) ou Formação (Washburne, 1930; Arid, 1967; Suguio, 1973; Coimbra, 1976; e outros). No entanto, após mapeamentos organizados por Soares *et al.* (1974; 1979) e Suguio *et al.* (1977), foi proposta a classificação de Bauru como Grupo, e que esse fosse constituído de quatro formações: Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília (Figura 5). Adotando a classificação proposta por Soares (1979), nesse trabalho Bauru será referido como um Grupo e cada uma de suas quatro unidades constituintes como Formação.

GRUPO		FORMAÇÃO	ESP. MÁX.	LITOLOGIA	LITOFÁCIES	SISTEMA DEPOSICIONAL	FÓSSEIS	IDADE
B A U R U	Serra Geral		+ 1500 m					CRETÁCEO INFERIOR
	Caiuá		200 m			DESÉRTICO		
	Santo Anastácio		80 m			FLUVIAL MEANDRANTE A ANASTOMOSADO PSAMÍTICO		
	Adamantina		190 m		UBIRAJARA	PSAMÍTICO À LESTE E NORTE	algas moluscos conchostráceos répteis	CRETÁCEO MÉDIO
	Marília		160 m		IITAQUERI	LEQUES ALUVIAIS		
						TACIBA S. J. Rio Preto	FLUVIAL MEANDRANTE PELÍTICO À SUL	



Figura 5 - Quadro estratigráfico do Grupo Bauru. (Soares et al., 1980)

2.2.1. Formação Serra Geral

O embasamento do Grupo Bauru, classificado como, Formação Serra Geral é constituído por rochas básicas, predominantemente basálticas (Soares *et al.*, 1979). De acordo com Almeida *et al.* (1980) esse embasamento foi afetado por movimentos

tectônicos que deram origem a *horsts* e, com isso, produziram rejeitos de centenas de metros. Associados a esses espaços de acomodação, um período de intensos processos erosivos promoveu a acumulação dos sedimentos desse Grupo.

Originada a partir de vulcanismo resultante da ruptura de porções da crosta terrestre, a Formação Serra Geral está associada à separação continental África-América do Sul, de 138 a 127 milhões atrás, durante um período de clima seco. (Iritani & Ezaki, 2012).

Ainda de acordo com Iritani & Ezaki (2012), durante um período de clima mais úmido, pós-cessar dos derrames de lavas, iniciou-se a deposição das unidades sedimentares constituintes do Grupo Bauru, descritas a seguir, até 65 milhões de anos atrás.

2.2.2. Formação Caiuá

A sedimentação desse Grupo teria iniciado com a deposição da Formação Caiuá em ambiente duvidoso entre continental eólico e flúvio-deltáico, durante o Cretáceo Inferior, segundo Almeida *et al.* (1980). Já Soares *et al.* (1979) sugerem uma deposição eólica, em virtude das características litológicas, especialmente a homogeneidade textural e a estratificação cruzada de grande porte, comum às dunas eólicas. Também são evidências de tal ambiente a presença de estruturas deformacionais por rompimento de camadas e níveis de deflação, além da ausência de conglomerados, mesmo na superfície do basalto, que evidenciariam um ambiente então fluvial.

Litologicamente uniforme, é representada por arenitos de muito finos a médios, com estratificação cruzada de grande porte. São compostos por grãos de subarredondados a bem arredondados, com grau variável de esfericidade, boa seleção e recobertos por película de limonita, que fornece a esses grãos cor de vermelha-escura a arroxeada. Essa película de limonita é resultante, provavelmente, da alteração de minerais de ferro, como magnetita, presentes nesses arenitos. São composicionalmente classificados como quartzarenitos devido à abundância de grãos de quartzo e à escassez de matriz argilosa (Soares *et al.*, 1979).

No estado de São Paulo, a Formação Caiuá está exposta na região do Pontal do Paranapanema, às margens do rio Paraná, no Porto Epitácio, na margem paulista, tendo sido primeiramente definida por Washburne (1930). No entanto, sua máxima espessura

conhecida ocorre no noroeste do estado do Paraná, com 200 m que se reduz tanto para norte, quanto para oeste (Soares *et al.*, 1979).

2.2.3. Formação Santo Anastácio

Posterior à Formação Caiuá, a Formação Santo Anastácio teria sido depositada durante o final do Cretáceo Inferior, estendendo-se até o Cretáceo Médio. Apesar da ausência de registros fossilíferos, essa idade foi associada ao soerguimento durante o Albiano-Turoniano do arco de Ponta Grossa (Soares, *et al.*, 1979). A partir das características litológicas, Soares *et al.* (1979) sugerem que o ambiente de deposição dessa unidade seria de canais meandantes a retilíneos de pequena profundidade, e em planícies de transbordamento arenosas, refletindo suprimento lento, uniforme e regular de areia com deficiência de material argiloso na área fonte.

Almeida *et al.* (1980) distinguem a Formação Santo Anastácio em duas variedades de arenitos, semelhantes quanto à composição, seleção e estruturas sedimentares, mas distintas quanto à granulometria e à quantidade de matriz. A sul do rio Tietê, onde a Formação Santo Anastácio ocorre sobre a Caiuá, os arenitos são de finos a médios, enquanto a norte do mesmo rio, onde a Formação Santo Anastácio ocorre sobre a Serra Geral, os arenitos são de muito finos a finos, com pequenas quantidades de grãos de fração areia média e maior quantidade de matriz argilosa que a variedade anterior.

Com relação aos aspectos comuns a essas duas variedades de arenitos, são compostos predominantemente por grãos de quartzo, apresentando seleção de regular a boa, com grãos de subarredondados a arredondados e raras estruturas sedimentares. É comum a essas que os grãos de quartzo estejam recobertos pela fina película limonítica, também observada nos arenitos da Caiuá, o que lhes confere cor marrom-avermelhada (Soares *et al.*, 1979).

Com faixa estreita de afloramentos no flanco norte do vale do rio Paranapanema, a ocorrência da Formação Santo Anastácio, segundo Soares *et al.* (1979) é mais expressiva no vale do rio Santo Anastácio, atingindo espessuras de até 80 m, mas também ocorre no vale do rio do Peixe e afluentes da margem sul, com espessuras entre 50 e 60 m.

2.2.4. Formação Adamantina

Sobreposta à Formação Santo Anastácio, a Formação Adamantina distingue-se da anterior com base na textura, composição mineralógica e estruturas sedimentares, apresentando respectivamente: depósitos mais finos e bem selecionados; com frequente presença de mica e mais raramente feldspato, sílica amorfa e minerais opacos; e grande variedade de estruturas sedimentares, conforme descritos por Almeida *et al.* (1980). Essas diferenças indicam uma maior maturidade textural e mineralógica da Formação Adamantina, além de indicar uma área fonte distinta, em relação à formação Santo Anastácio, sugerindo um ambiente de deposição em um sistema flúvio-lacustre (Almeida *et al.*, 1980).

Composta por bancos de arenitos de granulação fina a muito fina, esses apresentam cor de róseo a castanho, com estratificações cruzadas de 2 a 20 m, alternadas por bancos de siltitos, lamitos e arenitos lamíticos, de cor castanho-avermelhado a cinza acastanhado, maciços ou com acamamento plano-paralelo grosseiro, frequentemente com marcas de onda e microestratificação cruzada (Soares *et al.*, 1979).

Correspondente à unidade de maior distribuição em superfície paulista, apresenta afloramentos que foram subdivididos por Soares *et al.* (1979) nas seguintes litofácies: ao norte, nas bacias dos rios Turvo, São José dos Dourados e baixo Tietê, a litofácies *São José do Rio Preto*, com espessura máxima de 160 m; nos espigões entre os rios Tietê e Aguapeí, Aguapeí e Peixe, Peixe e Santo Anastácio, Santo Anastácio e Paranapanema, litofácies *Taciba*, com espessura de até 190 m; no espigão entre rio do Peixe e vale do rio Turvo: litofácies *Ubirajara*, com espessuras entre 100 e 150 m.

A litofácies São José do Rio Preto, segundo Soares *et al.* (1979) é constituída por variação mais arenosa, com granulometria entre areia fina e muito fina, de cores acinzentadas e vermelhas, com alguns corpos de conglomerado intraformacional, seleção de boa a muito boa para a fração arenosa. A litofácies Taciba, por sua vez, é constituída por alternância entre fácies de canal e fácies de transbordamento, sendo a primeira representada por bancos de 2 a 3 m de arenitos finos, de cor rósea a castanho-claro, e a segunda por bancos de até 10 m de espessura de lamitos e siltitos castanho-avermelhados. Por último, a litofácies Ubirajara é caracterizada pela predominância de arenitos de granulação fina a média, cor vermelha ou castanho-avermelhada, baixa

seleção, grãos subangulares, raros corpos de lamitos e arenitos lamíticos (Soares *et al.*, 1979).

2.2.5. Formação Marília

Unidade superior do Grupo Bauru é composta por arenitos grosseiros a conglomeráticos o que a distingue das demais unidades desse Grupo. Sua idade pode ser estabelecida a partir de registros fossilíferos em sua parte inferior, que indicam idade do Senoniano. Suas características texturais, mineralógicas, estruturas sedimentares e geometria dos corpos, de acordo com Soares *et al.* (1979) indicam ambiente deposicional de correntes de alta energia em canais extensos, com rápida deposição, o que impediu a formação de estruturas sedimentares.

Esses arenitos apresentam teor de matriz variável, seleção ruim, grãos angulosos e, mineralogicamente, são ricos em feldspatos, minerais pesados e minerais instáveis. Apresentam também raras camadas de lamitos vermelhos e calcários. A presença abundante de nódulos carbonáticos irregulares também é característicos dessa unidade. (Soares *et al.*, 1979).

Soares *et al.* (1979) descrevem a ocorrência desses arenitos extensivamente na parte leste do Planalto Ocidental paulista. Sua máxima espessura descrita por esses autores é de 160 m, na cidade de Marília e reduz-se sensivelmente a oeste.

2.3. Hidrogeologia Regional de Valparaíso - SP

Dos 645 municípios paulistas, 462 são abastecidos, parcial ou integralmente, por água subterrânea dos diversos aquíferos disponíveis (*Figura 6*). Por sua vez, as águas subterrâneas, armazenadas nos sedimentos do Grupo Bauru e extraídas através de poços tubulares, representam a fonte principal e alternativa de obtenção de recursos hídricos de 240 municípios do interior paulista. Desses, 87,5%, correspondente a 210 municípios, o abastecimento é feito integralmente por águas subterrâneas do Aquífero Bauru. (Silva *et al.*, 2005)

Na região noroeste do Estado de São Paulo, onde está contido o município de Valparaíso, apenas o Aquífero sedimentar Bauru (Kb) é aflorante, uma vez que seus sedimentos sobrepõem os aquíferos fissurais Serra Geral e Diabásio, constituídos pela Formação Serra Geral, que, por sua vez, confina as unidades sedimentares do Aquífero Guarani, dando-lhe, por isso, o comportamento de aquífero confinado. Já o Aquífero

Bauru, ao contrário do Guarani, tem comportamento de aquífero livre, por ser totalmente aflorante em superfície, o que permite também que sua recarga seja proveniente de toda a sua extensão aflorante (Iritani & Ezaki, 2012). A *Figura 6* fornece a ocorrência desses aquíferos no Estado de São Paulo.

Baseado em IGG, 1974.

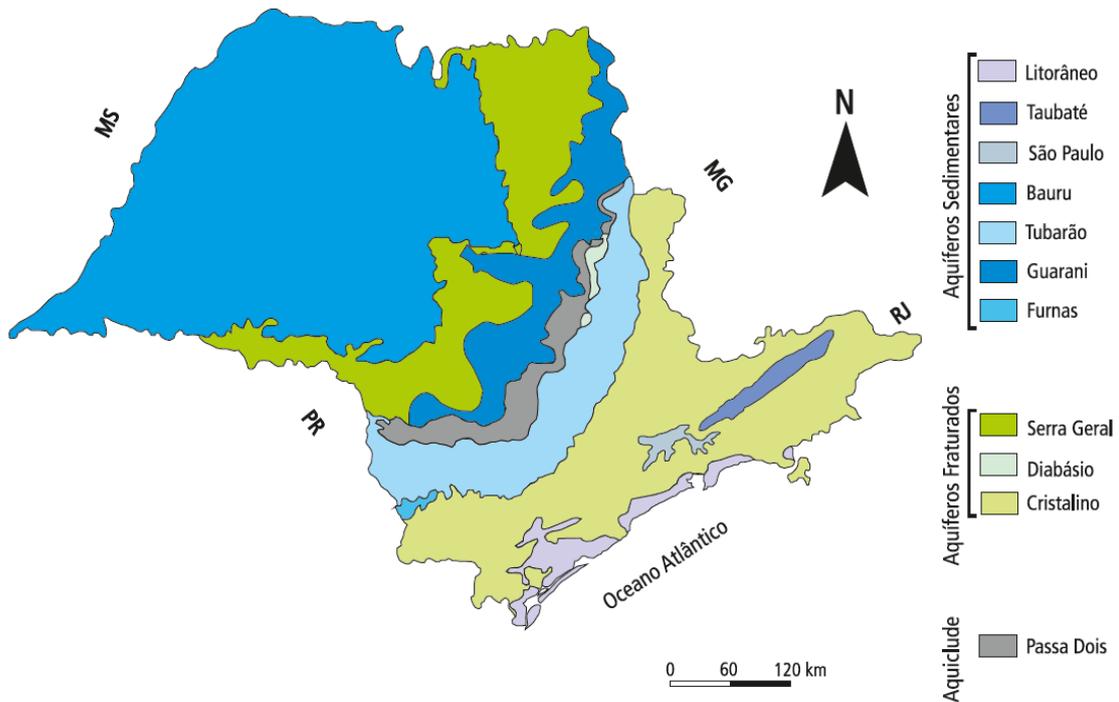


Figura 6 - Principais unidades aquíferas do Estado de São Paulo (Iritani & Ezaki, 2012)

2.3.1. Aquífero Guarani

Dominantemente confinado pelos Aquíferos Serra Geral e Bauru, a maior área de ocorrência do Aquífero sedimentar do Guarani em território paulista mergulha a oeste, enquanto sua restrita área aflorante no estado estende-se, a sul, de Rifaina a Fartura e, a norte, de Ribeirão Preto a Botucatu. Com espessura máxima de 400 m, essa ocorre ao longo da calha do rio Tietê (Iritani & Ezaki, 2012) e atinge profundidades de até mais de 1900 m, no oeste do Estado (Rocha, 2005).

Formados há mais de 130 milhões de anos, os arenitos do Guarani apresentam granulação média a fina, o que permite associar sua gênese a um ambiente desértico, dominado por processos eólicos. A elevada homogeneidade desses arenitos proporciona a esse aquífero, além de elevada porosidade, a interconectividade desses poros, proporcionando sua elevada produtividade.

Quanto às suas características hidráulicas, há poços do Guarani que apresentam vazões superiores a 500 m³/h, mas recomenda-se que se mantenha a vazão média de até 360 m³/h por poço, sendo tal vazão para as áreas confinadas, evitando sua superexploração (Rocha, 2005). Por ser um aquífero confinado apresenta temperaturas elevadas de até 60°C.

2.3.2. Aquífero Serra Geral

O Aquífero fraturado Serra Geral (KJsg), teria se formado entre 138 e 127 milhões de anos atrás, durante o Eocretáceo. Na sua maior parte recoberto pelo Aquífero Bauru (Kb) e sobreposto ao Guarani, é composto por sequências de derrames de lava vulcânica, que originaram as rochas basálticas (Rocha, 2005).

As principais estruturas tectônicas presentes nessas rochas são as foliações e as fraturas. No entanto, só as fraturas contribuem para a formação de espaços vazios, permitindo a circulação das águas subterrâneas (Rocha, 2005). No caso do Aquífero Serra Geral, além das fraturas tectônicas, descontinuidades, como fraturas de resfriamento, representadas por disjunções colunares, também permitem essa circulação (Rocha, 2005).

O principal fator limitante da exploração de suas águas é atingir suas fraturas, pois durante a perfuração de poços profundos, há a possibilidade de provocar prisões das ferramentas, além de ocasionar o desvio na verticalidade do furo do poço (Giampá & Gonçalves, 2013). Isso além do elevado desgaste das brocas ao perfurar rochas ígneas, se comparadas às sedimentares, além do maior tempo requerido, aumentando o custo da perfuração em virtude da equipe de perfuração.

2.3.3. Aquífero Bauru

Conforme descritas anteriormente, as arenitos do grupo Bauru são constituídas de rochas arenosas, areno-argilosas e siltosas. Segundo Iritani & Ezaki (2012) teriam sido formadas há mais de 65 milhões de anos, em duas fases principais. Inicialmente sua gênese deu-se em ambiente desértico e posteriormente em clima semi-árido (Rocha, 2005).

Sua ocorrência em território paulista é limitada a oeste pelo rio Paraná, a norte pelo rio Grande, a sul pelo rio Paranapanema e por afloramentos da Formação Serra Geral, que também delimitam esse aquífero a leste (Rocha, 2005). Ocupando a metade

oeste paulista, ocorre de Barretos a Bauru, estendendo-se até o Pontal do Paranapanema (Iritani & Ezaki, 2012).

De acordo com a nota explicativa do Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo 1:1.000.000 do DAEE (Rocha, 2005), as espessuras saturadas dos arenitos do Bauru atingem até cerca de 75 m. No entanto, suas espessuras máximas, atingem até 300 m na região de Marília, assim como descrita anteriormente, cidade que apresenta os máximos registros de espessura da Formação homônima.

De acordo com Iritani & Ezaki (2012), cerca de 240 municípios do interior paulista captam as águas do Aquífero Bauru, sendo que 87% desses abastecem-se integralmente por essas águas subterrâneas. Com produtividade em torno de 10 m³/h, para vazões sustentáveis, os poços do Bauru atingem até 40 m³/h na região de São José do Rio Preto, e 40 a 80 m³/h entre Bauru e Tupã (Rocha, 2005).

Essa variação na produtividade foi associada por Barcha *et al.* (1981) à não-homogeneidade do Grupo Bauru ao longo Estado de São Paulo. Eles ainda propõem que tal variação esteja diretamente relacionada à combinação dos fatores: textura, cimento, porosidade e permeabilidade da rocha, que, assim como descrito na seção **Geologia Regional de Valparaíso-SP**, varia de acordo com as formações observadas, podendo variar também dentro de uma mesma unidade.

3. *Materiais e Métodos*

3.1. Mapas

Parte dos mapas incluídos nesse trabalho foi coletada diretamente de artigos e livros consultados, como é o caso dos mapas presentes em Geologia, Hidrogeologia e Hidrografia. Alguns deles foram modificados, a fim de posicionar os limites municipais de Valparaíso-SP, de maneira a mostrar sua ocorrência para determinados temas, como, por exemplo, as unidades aflorantes do Grupo Bauru.

O mapa topográfico de Valparaíso-SP (*Figura 8*) foi confeccionado com auxílio do *software* Google Earth, onde foram coletadas informações de suas cotas topográficas com base nas coordenadas UTM. Numa quadrícula de 4 km x 4 km foram coletados pontos a cada 250 m, tanto de norte para sul, quanto de oeste para leste e listados em uma tabela e, posteriormente, utilizados como grade no *software* Surfer para confeccionar um mapa topográfico.

Isso foi feito pois os mapas topográficos de Valparaíso-SP confeccionados pelo Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC) estão disponíveis apenas no formato analógico e na escala de 1:50000. Sua ampliação geraria perda de detalhes importantes desse município, de menos de 5 km² de área urbana. A precisão dos mapas do Google Earth, por sua vez, varia de acordo com a região estudada, sendo que em grandes capitais as imagens são de melhor qualidade, além de serem atualizadas constantemente (Alencar & Santos, 2013).

De acordo com os levantamentos de dados realizados por Alencar & Santos (2013), as escalas do Google Earth variam de 1:2000 a 1:30000, sendo portanto maiores do que a escala do mapa regional do IGC. Quanto às cotas, os dados analisados pelas autoras forneceram escalas de cerca de 1:4000, classificado como classe A, o que para os padrões das Normas Técnicas Cartográficas é uma escala razoável, apresentando um erro padrão de 1/3 da equidistância para um Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) altimétrico de metade da equidistância das curvas de nível, conforme regido pelo Artigo 9º, § 2º, do Decreto Lei nº 89.817 (1984). Esse PEC é um indicador estatístico de dispersão, que define a exatidão dos trabalhos cartográficos, conforme apresentado no Artigo 8º, § 1º, do mesmo Decreto de Lei.

A partir dos mapas de contorno estrutural gerados para o topo dos arenitos do Grupo Bauru, correspondente ao Mapa Topográfico, e para o topo dos basaltos da Fm. Serra Geral, correspondente à base das unidades sedimentares, confeccionou-se um Mapa de Espessuras, *Figura 17*, dessas unidades sedimentares, utilizando também o *software* Surfer.

3.2. Descrição das Amostras

Durante a perfuração do último poço municipal de Valparaíso-SP, P28, locado na antiga Estação de Tratamento de água, solicitou-se a coleta de amostras de calha, para um intervalo de 6 m. A coleta iniciou-se aos 30 m e encerrou-se aos 144 m, profundidade correspondente ao topo dos basaltos da Fm. Serra Geral para esse poço.

A descrição das amostras foi feita utilizando uma Lupa binocular Stemi DV4 - Zeiss de 32x de aumento, do Laboratório de Microscopia do Instituto de Geociências da Unicamp e é apresentada na *Tabela 4*, em anexo.

3.3. Perfis de Poços

3.3.1. Definição

A perfilagem de poços consiste em um método geofísico ativo, uma vez que utiliza diferentes fontes para excitar o meio a ser investigado. Em definição apresentada pelo manual do USGS (Keys, 1990), esse método geofísico é a ciência de registros e análises, contínuas ou pontuais, das propriedades geofísicas das rochas atravessadas por um poço. Kearey *et al.* (2013) destacam que a perfilagem de poços é usada a fim de obter-se informações adicionais sobre essas rochas cortadas pelo poço, definindo, a partir de assinaturas geofísicas características, propriedades das rochas *in situ* para cada profundidade correspondente.

3.3.2. Aplicações

O principal objetivo das perfilagens de poços é a obtenção de informações de um poço que não seriam obtidas a partir da perfuração, amostragem e testes (Keys, 1990). Os perfis geofísicos de uso mais frequente na hidrogeologia, de acordo com Nery (2013), classificados com base na natureza de seus princípios físicos são elétrico ou indutivo para o de resistividade; acústico para o de porosidade; radioativo para o de argilosidade; e mecânico para o de cáliper.

Conforme descrito anteriormente, as principais ferramentas empregadas na perfilagem de poços nem sempre são nomeadas seguindo um mesmo padrão. Algumas são nomeadas de acordo com os parâmetros medidos (perfil de resistividade), outras de acordo com o princípio empregado na medida (perfil de potencial espontâneo) e outras ainda com base na geometria da sonda utilizada (perfil de cáliper¹) (Wonik & Hinsby, 2007).

As ferramentas mais importantes e amplamente aplicadas na hidrogeologia, de acordo com Wonik e Hinsby (2007), são apresentadas na Tabela a seguir:

Tabela 1 - Métodos Geofísicos de perfilagem, condições do poço e objetivos

Tipo de Perfil	Perfil Específico	Condições do Poço	Informação
Nuclear	Raios gama Raios gama espectral	Poços abertos ou revestidos, com ou sem fluido.	Litologia, densidade, porosidade, calibração da superfície geofísica.
	Gama-gama (densidade) Gama-gama (porosidade)	Poços abertos com fluido.	
Elétrico	Potencial Espontâneo (SP)	Poços abertos ou poços com	Litologia, calibração

¹ Cáliper é a forma aportuguesada de *caliper*. O termo original, em inglês, é literalmente traduzido por compasso de calibre (Michaelis, 2009).

	Resistividade Resistividade focada	filtros, com fluido.	da superfície geofísica, posição dos filtros de PVC.
Eletromagnético	Indução Suscetibilidade	Poços abertos ou revestidos por PVC, com ou sem fluido.	Litologia, águas salinas.
Acústico	Sônico	Poços abertos com fluidos	Litologia (porosidade).
Físico	Cáliper	Poços abertos e revestidos, com ou sem fluidos.	Diâmetro do furo do Poço.
Ótico	Câmera	Poços abertos e revestidos com água limpa.	Condição do poço ou do revestimento, cavernas, desvios e aspectos das fraturas e camadas.
Fluxo	<i>Flowmeter</i> impulsor <i>Flowmeter</i> de pulso de calor	Poços abertos e revestidos com fluido.	Movimento vertical da água no poço.
Fluido	Qualidade da água	Poços abertos e revestidos com fluido.	EC, temperatura, pH, O ₂ , NO ₃ , Eh, pressão total de gás

3.3.3. Vantagens

Além de ser uma técnica não-destrutiva, a perfilagem fornece registros contínuos, associados a uma escala de profundidade contínua (Paillet & Crowder, 1996), o que nem sempre se consegue com amostragens durante a perfuração, por exemplo. Além disso, uma mesma ferramenta de perfilagem pode fornecer mais de um tipo de dado geofísico (Paillet & Crowder, 1996).

O volume amostrado por perfis de poços são muito maiores do que o amostrado por testemunhos de sondagem ou por amostras de calha de perfuração (Paillet & Crowder, 1996). Como exemplo disso, o perfil de resistividade de 64" fornece dados em um diâmetro de cerca de 162 cm ao redor da sonda, mesmo para um poço com diâmetro de furo de 8".

3.3.4. Limitações

Baseado na não unicidade² das interpretações geológicas dos dados geofísicos, é importante que esses dados sejam avaliados de maneira combinada e associados às amostras disponíveis, a fim de reduzir os erros de interpretação e a ambiguidade (Kearey, 2013). Dessa forma, os perfis geofísicos não podem substituir completamente as amostragens (Keys, 1990).

² Problema inerente de problemas inversos, que consistem, por sua vez, em determinar as causas, a partir dos efeitos. Ex.: uma resposta de gama elevada pode ser resultante tanto de um afloramento argiloso, quanto de um arenoso arcóseo.

Poços abertos, ou seja, sem revestimento, podem ser perfilados utilizando-se todas as ferramentas de perfilagem disponíveis. O revestimento, por sua vez, quando constituído de aço inox ou ferro impede a utilização de métodos elétricos e eletromagnéticos, além de distorcer as velocidades sísmicas, permitindo apenas a utilização dos métodos radioativos (Kearey *et al.*, 2013).

Algumas limitações específicas ocorrem para os seguintes perfis que são definidos a seguir: perfis normais, que fornecem valores incorretos quando aplicados a camadas finas; perfis de raios gama, que não podem medir furos com muitas sequências de revestimento de cimento (Keys, 1990).

3.3.5. Tipos de Perfis

a. Perfis de Resistividade

A medida da resistividade de uma solução corresponde à participação de todos os seus íons dissolvidos. Assim sendo, quanto mais salgada a água, mais condutiva e menos resistiva.

Com base nessas definições, um perfil de resistividade resulta da medida de quantidade de sais dissolvidos na água contida nos poros da rocha, que corresponde à salinidade. Portanto, a resistividade da rocha é diretamente proporcional à resistividade da água de seus poros e inversamente proporcional à porosidade, ou quantidade de poros (Nery, 2013).

Em um meio homogêneo, a diferença de potencial aplicada entre os eletrodos de corrente reflete a densidade de corrente e a resistividade, em ohm-metro (Ωm), naquela região (Kearey *et al.*, 2013).

As variações mais importantes dos tipos de perfis de resistividade são:

- I. **Perfil Normal**, em que apenas um eletrodo de potencial e um de corrente são montados sobre a sonda, com o outro par sendo montado sobre o solo. A zona energizada nesse caso é uma casca espessa e as medidas de resistividade correspondem às de uma casca esférica relativamente fina. Pode-se variar a separação dos eletrodos, gerando, assim, perfis normais curtos (16") e longos (64"), que proporcionam diferentes penetrações nas rochas (Kearey *et al.*, 2013).
- II. **Perfil Lateral**, em que o eletrodo de corrente dentro do poço está acima do par de eletrodos potenciais. A zona energizada estende-se muito além da

rocha circundante do que no caso dos perfis normais, com isso, a resistividade aparente se aproxima do seu valor original. O perfil lateral dá uma clara indicação do limite inferior da formação.

b. Perfil de Potencial Espontâneo (SP)

Correspondente a um perfil do tipo litológico (Nery, 2013) por fornecer dados acerca da litologia rochas atravessadas pelo furo do poço, esses perfis são obtidos a partir das medições de diferença de potencial em milivolts (mV), entre um eletrodo contido na sonda e outro na superfície. Seu efeito origina-se com o movimento de íons a diferentes velocidades entre dois fluidos de concentração diferentes. Seu efeito torna-se evidente no limite entre arenito (ou carbonato) e folhelho, pois no primeiro litotipo ocorre maior invasão do fluido, por ser mais poroso (Kearey *et al.*, 2013).

A soma dos potenciais gerados entre os fluidos de perfuração/formação e entre o contato camada permeável/folhelho origina a curva de potencial espontâneo, útil para quantificar a salinidade da água contida nos poros das rochas (Nery, 2013).

c. Perfil de Raios Gama

Também do tipo litológico (Nery, 2013), os perfis de raios gama utilizam tanto a radioatividade natural, produzida pelos elementos estáveis ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K , quanto pelo bombardeio de núcleos instáveis por raios gama ou nêutrons (Kearey *et al.*, 2013).

Esses perfis corrigem as falsas leituras dos perfis de resistividade e de porosidade, geradas pela presença de argila (Nery, 2013). Os folhelhos geralmente apresentam pequenas quantidades de material radioativo, principalmente de ^{40}K , comum em micas, feldspatos alcalinos e minerais de argila (Kearey *et al.*, 2013).

Essas medições fornecem resultados em unidades API e podem ser feitas inclusive em poços revestidos, no entanto, com intensidade de radiação reduzida em 30% (Kearey *et al.*, 2013).

d. Perfil de Temperatura

Esse perfil registra de forma contínua a temperatura da lama dentro do furo (Nery, 2013). Até cerca de 20 m da superfície da Terra os gradientes de temperatura são muito afetados por mudanças diurnas e sazonais, não fornecendo valores confiáveis de fluxo de calor (Kearey *et al.*, 2013).

Fornecem informações referentes ao gradiente geotérmico, como posição de água quente na busca de fontes energéticas geotérmicas; posição de injeção de água no poço,

que servem como guia para fonte e movimento das águas subterrâneas e também de contaminantes; usado para localizar cimento, atrás do revestimento, por meio do calor liberado durante a cura/pega do cimento; além de contribuir na correção de outros perfis, como de resistividade, fornecendo evidências de desvios de temperatura indesejados, características de algumas sondas (Keys, 1990).

3.3.6. Perfis Utilizados

Os tipos de perfis, descritos anteriormente, foram utilizados para os 5 poços perfilados de Valparaíso. No entanto, como já descrito em **Sonda**, essa aquisição de dados foi feita utilizando uma única sonda, composta por diferentes ferramentas. Dessa forma, as sondas utilizadas nas perfilagens dos poços P17, P25, P26, P27 e P28, de acordo com os registros contidos nos cabeçalho dos perfis, são apresentadas na *Tabela 2*, a seguir, enquanto as informações presentes na coluna “Tipos de Perfis Coletados” foram consultadas na base de dados da fornecedora dessas ferramentas - *Century Geophysical Corporation*.

Tabela 2 - Sondas utilizadas nas perfilagens em Valparaíso e suas funções

Número de Modelo da Sonda	Tipos de Perfis Coletados	Número de Identificação do Poço
8144	Gama, Potencial Espontâneo, Resistividade Normal (16” e 64”), Resistividade Lateral, Resistividade de Fluido, Resistividade <i>Single-point</i> , Condutividade, Temperatura.	P26 e P27
9511	Gama, Condutividade.	P17
9043	Gama, Potencial Espontâneo, Resistividade Normal (16” e 64”), Resistividade Lateral, Resistividade Fluido, Resistividade <i>Single-point</i> , Temperatura.	P25
9143	Gama, Potencial Espontâneo, Resistividade Normal (16” e 64”), Resistividade Lateral, Resistividade Fluido, Temperatura.	P28

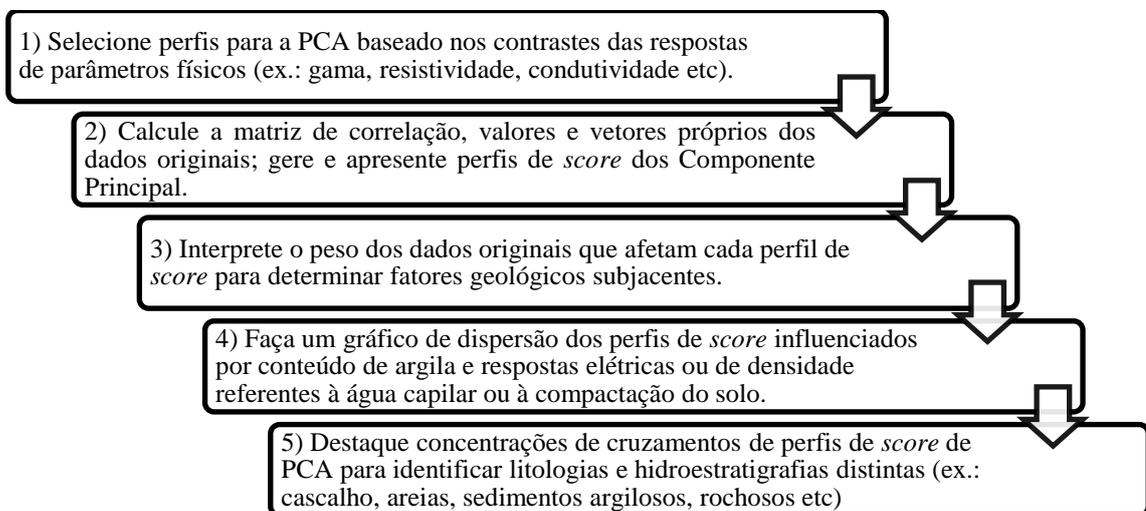
3.4. Análise de Componentes Principais (PCA)

A análise estatística multivariada é uma técnica que se ocupa de conjunto de dados oriundos de diversas medidas obtidas sobre uma mesma amostra, e considera não só características individuais de cada uma das medidas, mas possíveis relações existentes entre essas variáveis (Andriotti, 1997).

No caso desse trabalho, foi utilizada a Análise de Componentes Principais, do inglês *Principal Component Analyses* (PCA), com crescente utilização na Geologia, de acordo com Andriotti (1997).

O objetivo dessa técnica é reduzir a quantidade de dados a serem analisados e detectar padrões para classificação dos dados. A PCA encontra um campo fértil quando há muitas variáveis interagindo, assim como ocorre na perfilagem, em que uma mesma sonda, multiparâmetros, pode fornecer diferentes perfis para um mesmo poço.

A transformação que gera as Componentes Principais pode ser vista como uma operação que gera um novo conjunto de dados (Andriotti, 1997). Estes processos listados a seguir, foram traduzidos e extraídos de Brennan (2011) e procuram definir em que consiste a técnica da PCA:



Os canais de *score* citados acima descrevem a contribuição de cada componente principal para cada ponto de dados, sendo que para cada componente principal especificado é criado um canal. (Geosoft, 2013)

A aplicação dessa técnica foi realizada a partir das seguintes etapas:

- 1º: Cessão dos dados geofísicos, pela Perfil Master, na extensão *LAS*, que corresponde a um arquivo de dados, e não mais perfis gráficos;
- 2º: Seleção apenas dos parâmetros com significado litológico;

3º: Análise estatística preliminar, gerando histogramas para as componentes individuais e gráficos de dispersão para o cruzamento das componentes, eliminando, respectivamente, seções sem dados e componentes com assinaturas semelhantes;

4º: Importação dos dados reduzidos pela análise estatística preliminar para o *software* Oasis Montaj, onde, a partir da extensão geoquímica, foram gerados conjuntos de canais de *Score*, conforme cada cruzamento de dados. Para cada componente principal especificado foi gerado um canal de *Score*;

5º: Importação dos canais de *Score* gerados para o Excel, representando-os graficamente. Para as curvas de *score* geradas, quando muito densas, foi adicionada uma linha de tendência “média móvel” para um período de 10, para melhorar sua visualização.;

6º: Comparação dos gráficos gerados com os perfis geofísicos originais, buscando semelhanças entre as assinaturas, como picos positivos ou negativos e quebras importantes que pudessem representar uma transição litológica.

Entretanto, dos dados disponíveis para o poço P17, apenas as informações de Raios Gama foram utilizadas nesse trabalho, uma vez que o poço, apesar de revestido por PVC, possui centralizadores de aço o que faz com que, tanto as informações de resistividade, quanto as de condutividade sofram interferência, não fornecendo informações referentes aos litotipos.

4. Caracterização Local

4.1. Hidrografia de Valparaíso - SP

De acordo com o Mapa das Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (*Figura 7*) confeccionado pelo IGC-SP, o município de Valparaíso está contido entre as Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 19 e 20, pertencendo, respectivamente, às bacias hidrográficas do Baixo Tietê e Aguapeí.

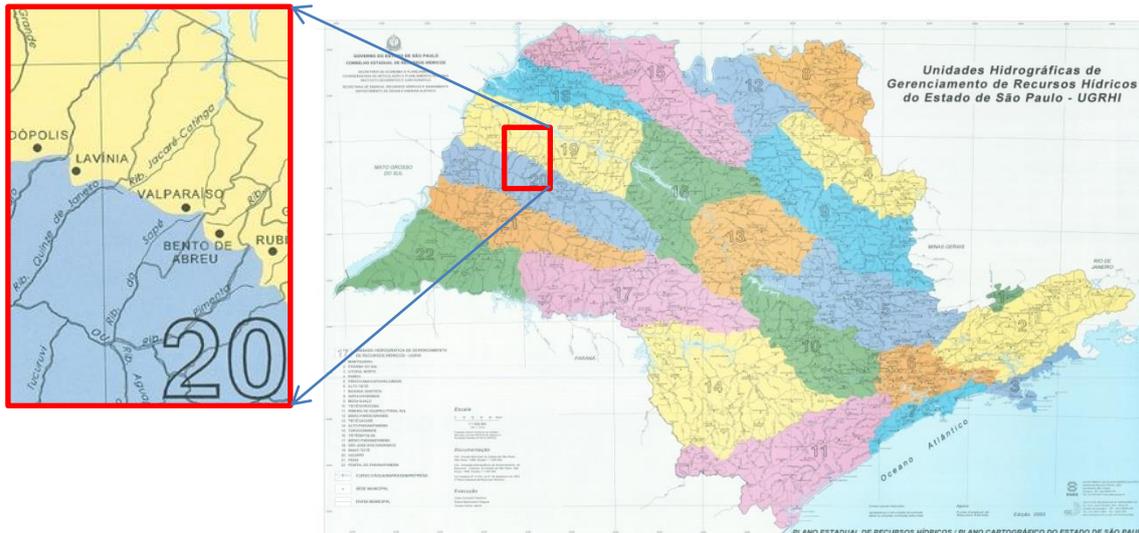


Figura 7 - Mapa das Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (IGC, 1998)

O município de Valparaíso, instalado em 1937, de acordo com a Lei Nº 233, de 24 de dezembro de 1948, fixada pelo então governador do Estado de São Paulo, Adhemar de Barros, é delimitado da seguinte forma: a oeste, com o município de Lavínia, pela foz do Ribeirão Quinze de Janeiro, afluente do Rio Aguapeí; a sul pela foz dos Ribeirões Tucuruvi e Sapé, também afluentes do Rio Aguapeí, limita esse município com Flórida Paulista e Adamantina; a leste, pelo Ribeirão Jacaré-Catinga, afluente do Rio Aguapeí, com os municípios de Bento de Abreu e Guararapes; ao norte pelo mesmo Ribeirão Jacaré-Catinga, com o município de Araçatuba (Fonte: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1948/lei-233-24.12.1948.html>).

4.2. Geologia Local de Valparaíso-SP

A partir das áreas de ocorrência das arenitas do grupo Bauru e do Mapa de Distribuição do Grupo Bauru, apresentados na seção **Geologia Regional de Valparaíso-SP**, associados aos principais rios que delimitam esse município, presentes em **Hidrografia de Valparaíso-SP**, é possível indicar que as unidades aflorantes devam corresponder à Formação Adamantina. Isso se deve ao fato dos ribeirões que delimitam esse município serem afluentes do rio Aguapeí que, de acordo com Soares *et al.* (1979), delimita a ocorrência da litofácies Taciba, componente da Formação Adamantina, que também pode ser verificada na *Figura 4*.

Considerando apenas a descrição das amostras de calha, presente na *Tabela 4* em **Anexo**, do poço P28 (ETA II), concluído em dezembro de 2013, ela não fornece

características distintas da Formação Adamantina com relação à Santo Anastácio. Principalmente pelo fato dessa distinção ser feita com base em comparação, conforme descrito por Soares *et al.* (1979), para a textura e em características perdidas durante a perfuração, como estruturas sedimentares, não é possível distingui-las tomando apenas essas amostras.

4.3. Hidrogeologia Local de Valparaíso/SP

Dos 28 poços municipais de abastecimento localizados em Valparaíso-SP, apenas 19 deles apresentam relatórios de perfuração, disponibilizados pelo DAEV (Departamento de Água e Esgoto de Valparaíso-SP) para consulta. Esses relatórios fornecem informações de poços perfurados desde o início da década de 1980 até a data do último poço perfurado, final de 2013 e são apresentados na *Tabela 3*.

Essas informações compiladas, associadas aos dados dos perfis geofísicos de cinco desses poços, cedidos pela Perfil Master Comércio e Serviço de Perfilagem Ltda., juntamente com um relatório de Avaliação Hidrogeológica de Valparaíso, da mesma, além de amostras de calha do último poço perfurado, permitiram extrair e analisar as informações geológicas e hidrogeológicas do substrato de Valparaíso.

Tabela 3 - Relação dos poços de Valparaíso com suas respectivas identificações, localizações, profundidades e vazões

Identificação	Nome do Poço	Coordenadas UTM		Cota Google Earth (m)	Profundidade (m)	Cota Topo KJsg ³ (m)	Espessura Kb ⁴ (m)	Data do Teste de Vazão	Vazão (m ³ /h)
		E-O (m)	N-S (m)						
1	Djanira	513.373	7.652.553	426					
2	Djanira - Agrovila II	513.003	7.652.350	424	156	270	154	24/07/1992	12,00
3	Escola (Pq. dos Canavieiros)	512.902	7.652.350	433					
4	Primavera (Bogaz I)	512.670	7.652.300	422	160	263,5	159,5	24/05/2004	10,15

³ Corresponde ao topo dos basaltos da Formação Serra Geral, calculado a partir da diferença entre Cota Topográfica (Google Earth) e a Espessura do Kb.

⁴ Corresponde à espessura dos sedimentos do Grupo Bauru.

5	Primavera (Bogaz II)	512.730	7.652.010	411	152	263,5	151,5	24/05/2004	11,19
6	João Marim I	513.050	7.651.667	405					
7	João Marim I	513.100	7.651.350	389	240	255,5	133,5	29/12/1989	12,37
8	João Marim III	513.317	7.651.634	399	140	259	140	11/03/1991	13,00
9	Agrovila/ Rotary Clube	513.253	7.652.317	414	170	250	164	16/07/2007	15,90
10	Vestiário (C de lazer)	513.386	7.652.215	414	141	273	141	23/02/1990	8,10
11	Profundo (Guarani)	512.454	7.651.914	415	1122	270	145	08/11/1998	231,20
12	ETA	513.440	7.651.883	403	135	268	135	21/12/1990	15,00
13 ⁵	Edite	513.329	7.651.346	405	200	265	140	11/05/1976	9,90
14	Bela Vista	514.162	7.651.630	429	175	254	175	14/02/1992	4,50
15	PAS	513.915	7.652.085	414					
16	Riviera	515.267	7.652.933	452					
17	Valdevino II	514.870	7.652.574	445	180	269	176	07/07/2008	14,40
18	Asa Branca/Cohab	514.850	7.652.550	443	190	263	190	07/07/1987	5,61
19	Pancoti	514.078	7.653.830	429					
20	Lar das Crianças	513.919	7.653.704	439					
21	Mimi	513.511	7.653.719	438					
22	Jd. Califórnia	512.799	7.653.654	433	171	262	171	31/07/2007	10,15
23	ADCU	512.700	7.653.450	441	186,8	254	186	27/01/1983	11,20
24	Acapulco	513.120	7.652.920	380	278	290	90	10/02/2007	25,00
25	Estrada de Adamantina	513.580	7.651.877	402	142	260	142	16/10/1990	13,30
26	Penitenciária I	515.318	7.652.403	461	212	269	192		
27	Penitenciária II	515.700	7.652.200	467	207	260	207		

⁵ Apesar da ausência de Relatório de Dados de Perfuração desse poço, por parte do DAEV, o relatório do mesmo (a partir de suas coordenadas) está disponível para consulta na obra: *Estudo de águas subterrâneas : região administrativa 7, 8, 9 : Bauru, S.J. Rio Preto, Araçatuba* na página C-22.

ETA II	513.413	7.651.876	403	161	251,1	151,9	14/02/2014	7,5
--------	---------	-----------	-----	-----	-------	-------	------------	-----

A partir das coordenadas UTM e dos dados altimétricos apresentados na *Tabela 3*, seguindo os passos descritos em **Materiais e Métodos**, foi confeccionado um mapa topográfico com os poços plotados.

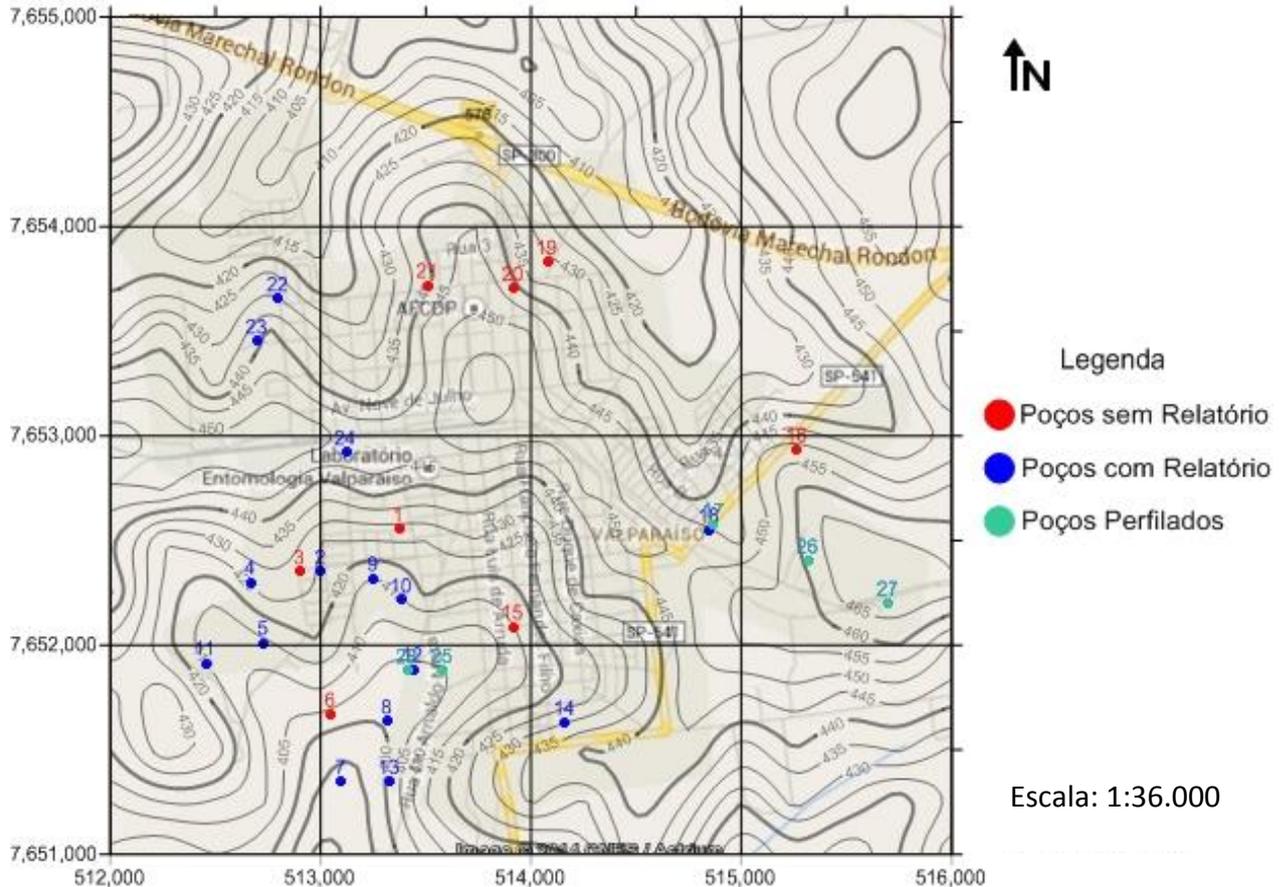


Figura 8 - Mapa Topográfico de Valparaíso-SP com poços plotados

Desses 28 poços, apenas o poço identificado por P11 (*Figura 9*), pelo DAEV, explora o Aquífero Guarani. Com 1122 m de profundidade, conforme descrito em relatório da extinta Constroli Projetos e Construção Ltda. (1998), produz em média 230 m³/h de água jorrante, a uma temperatura em torno de 48° C. No entanto, desde 2011, com a troca do equipamento de operação, produz 20h/dia, uma vazão de 304 m³/h, 365dias/ano, de acordo com o Souza Filho *et al* (2011).

Os demais poços que apresentam relatórios, com base em seus testes de vazão⁶, produzem em média 12 m³/h e exploram água do Aquífero Bauru. Com profundidade

⁶ Esses testes de vazão foram realizados ao final das perfurações desses poços, em diferentes décadas, não apresentando valores confiáveis para a confecção de modelos ou mapas potenciométricos para a região de Valparaíso-SP.

média⁷ de 177 m, esses poços, geralmente, estão cravados nos basaltos da Formação Serra Geral.



Figura 9 - Foto da Placa do Poço Profundo do Aquífero Guarani (P11) de Valparaíso-SP

Na Estação de Tratamento de Água (ETA) de Valparaíso existe um reservatório de mistura de seis poços do Aquífero Bauru com o P11, do Guarani (*Figura 9*). Esse processo tem por objetivo a redução da temperatura das águas do Guarani, em torno de 50°C, a partir da mistura com as águas dos poços do Bauru, em torno de 25°C, para então distribuí-la para a população.

⁷ Essa média corresponde a uma média aritmética das profundidades descritas nos 18 relatórios disponíveis dos poços do Aquífero Bauru.



Figura 10 - Fotos do tanque misturador das águas, em que os números não tem relação com os números de identificação dos poços, apenas números de controle utilizados na ETA para acompanhar os seis poços do Bauru (1-6) e o poço do Guarani (7).

5. Resultados

Para as análises de componente principal, foram gerados os seguintes canais de scores para cada um dos quatro poços perfilados que foram analisados:

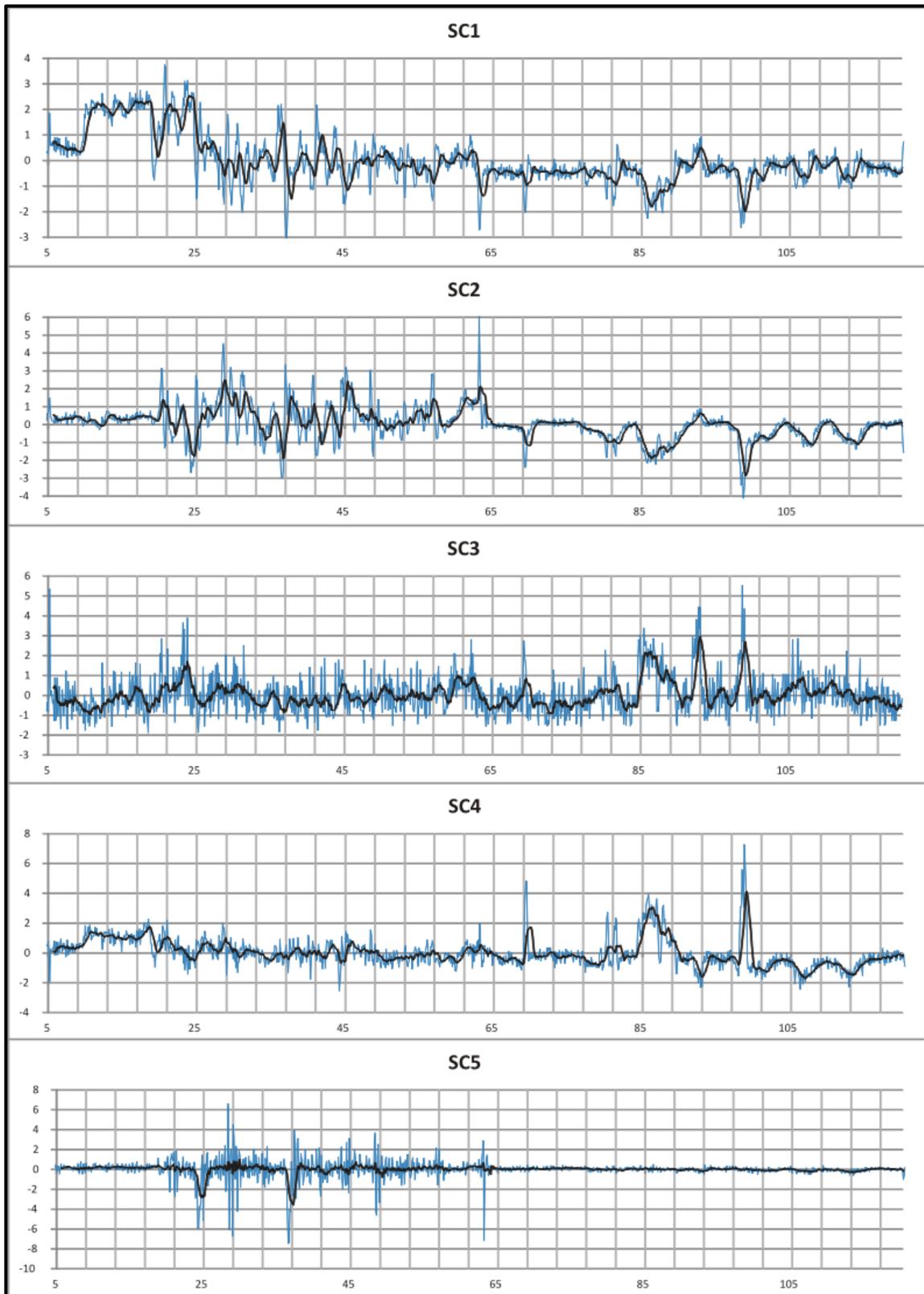


Figura 11 – Canais de Scores gerados para a PCA do poço Estrada Adamantina (P25)

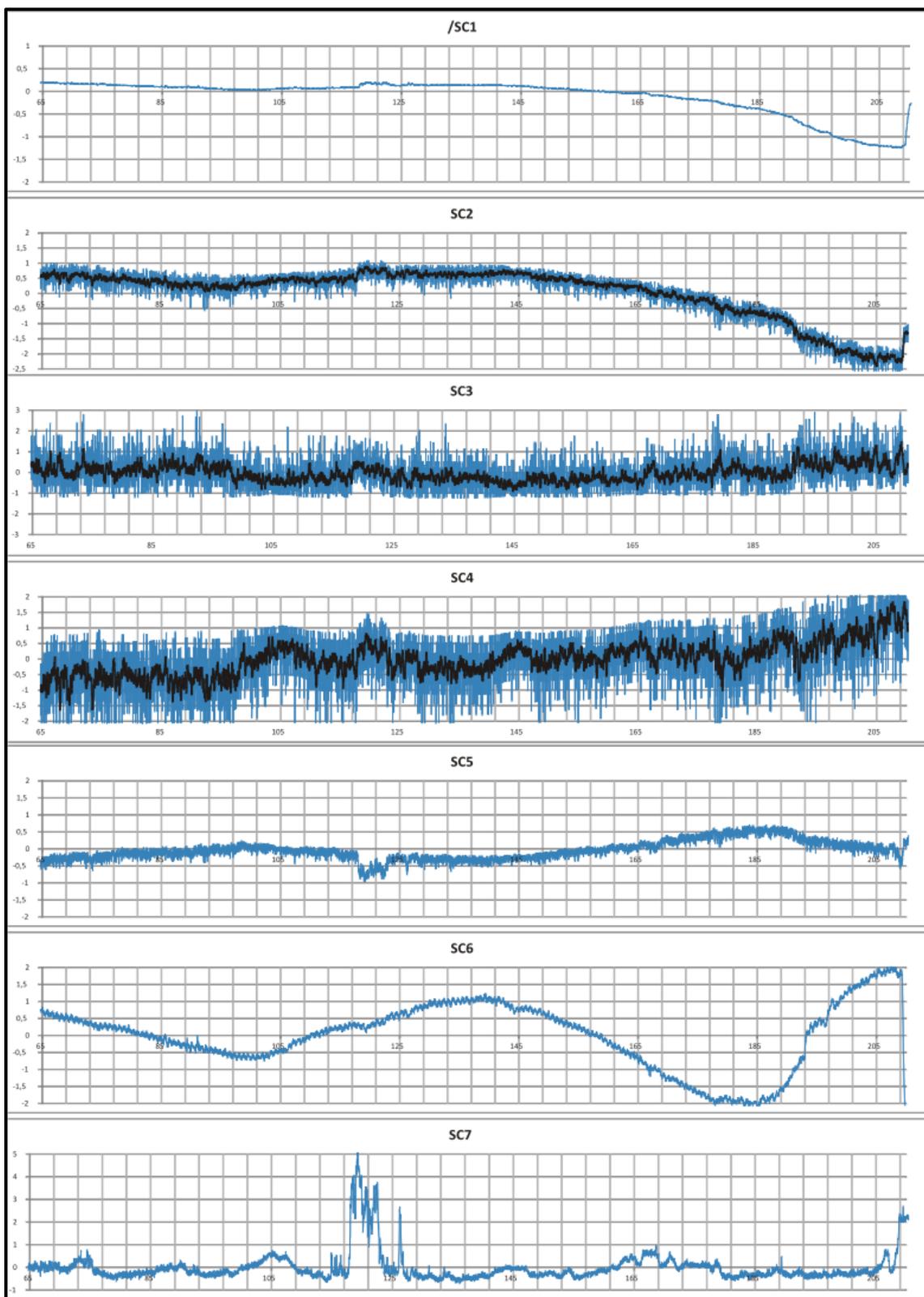


Figura 12 – Canais de Scores gerados para a PCA do poço Penitenciária I (P26)

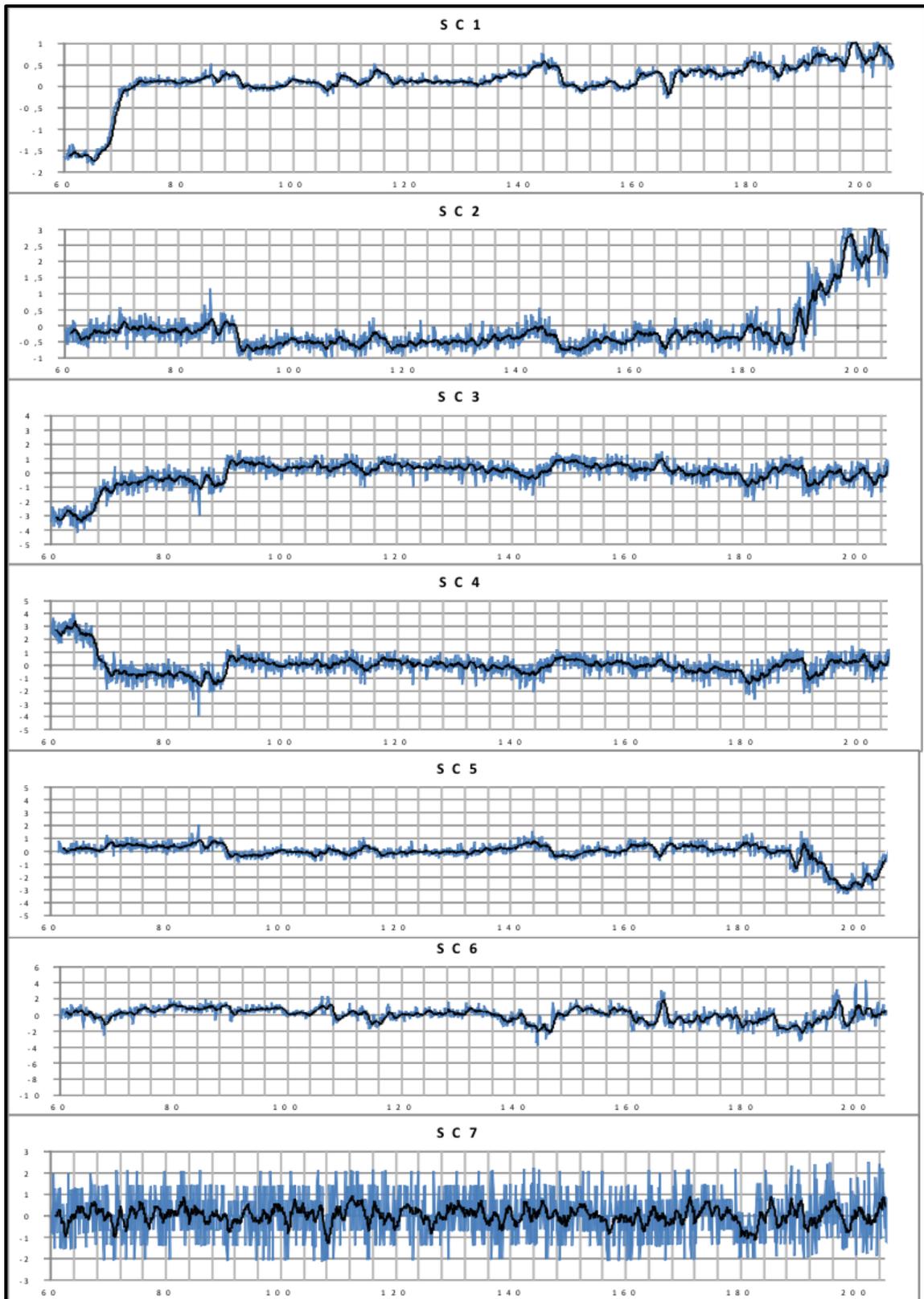


Figura 13 – Canais de Scores gerados para a PCA do poço Penitenciária II (P27)

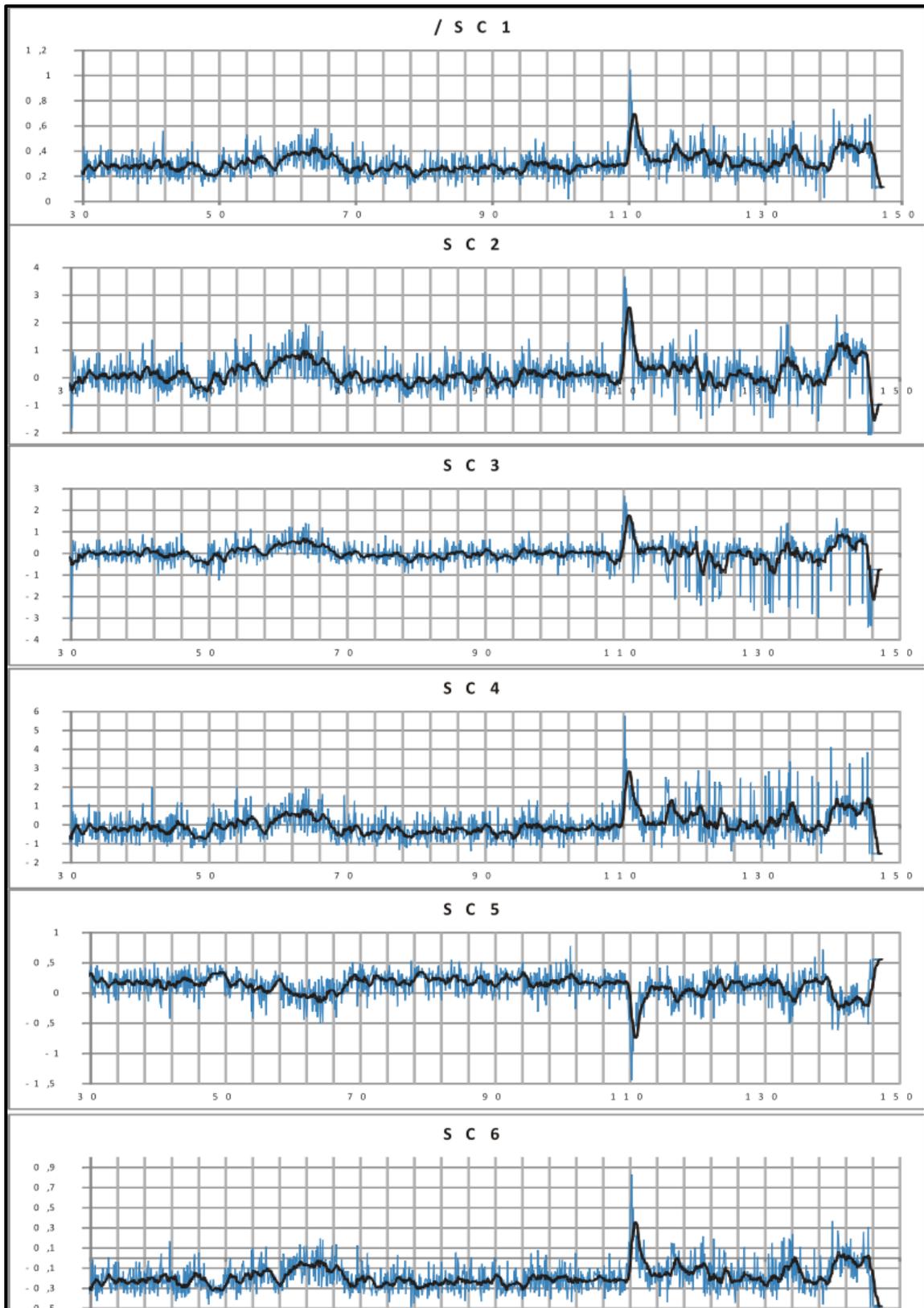


Figura 14 – Canais de Scores gerados para a PCA do poço ETA II (P28)

A partir dos dados referentes à cota do topo dos basaltos da Formação Serra Geral (KJsg) e suas respectivas coordenadas UTM presentes na *Tabela 3*, foi confeccionado, utilizando o *software* Surfer, um Mapa de Contorno Estrutural do Topo dos Basaltos.

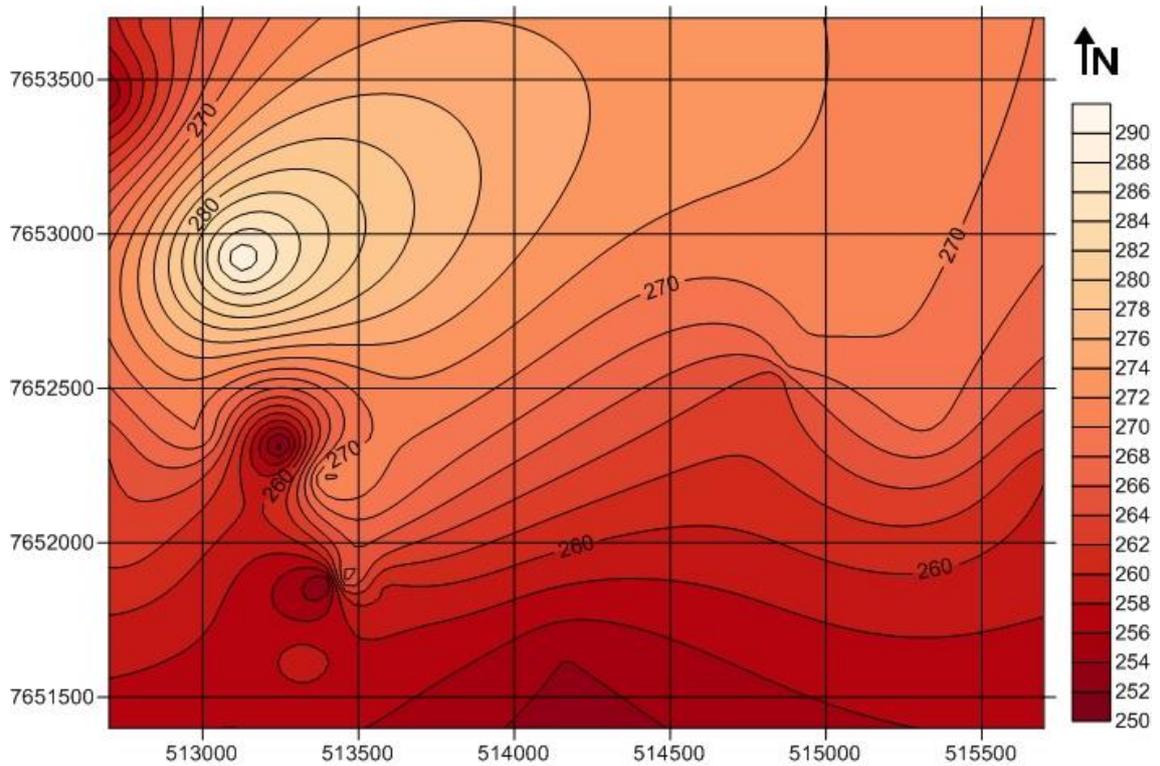


Figura 15 - Mapa de Contorno Estrutural do Topo dos basaltos da Fm. Serra Geral (KJsg) 1:25.000

Para o mesmo intervalo de coordenadas do Mapa anterior, *Figura 15*, foi confeccionado, utilizando o mesmo *software*, um Mapa de Contorno Estrutural do Topo dos arenitos do Grupo Bauru (Kb), a partir dos Mapa Topográfico da Cidade (*Figura 8*).

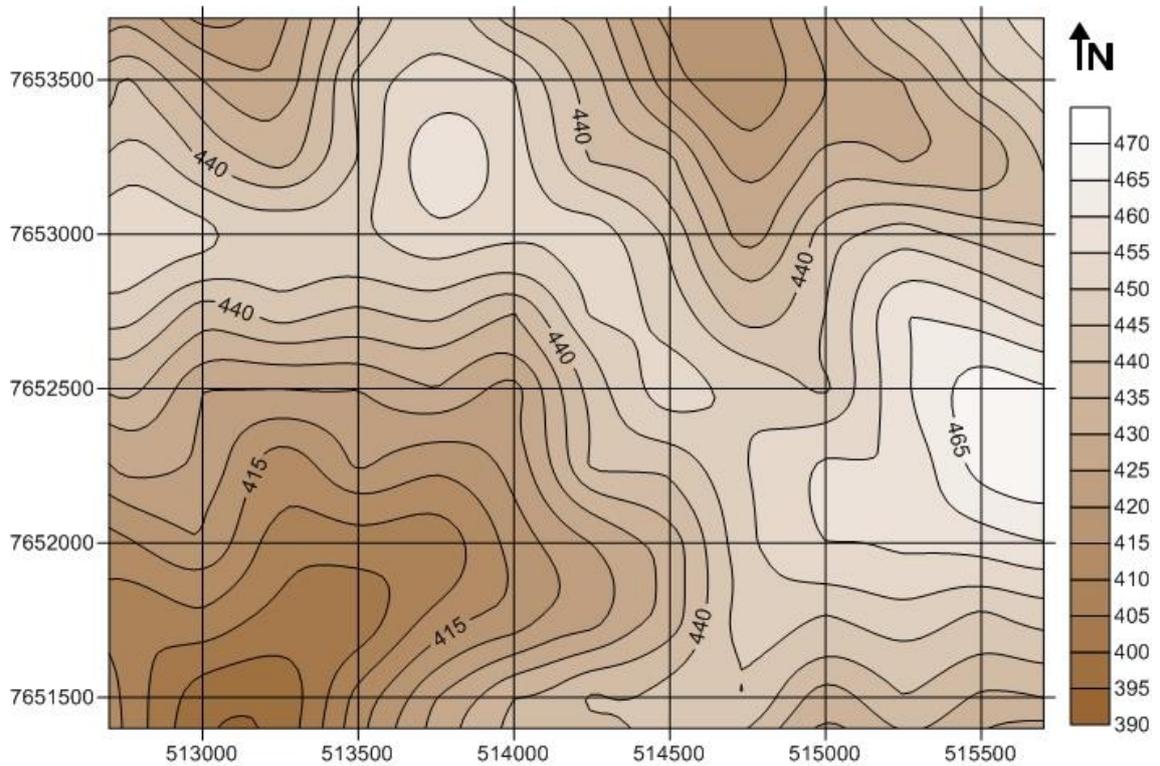


Figura 16 - Mapa de Contorno Estrutural do Topo dos arenitos do Grupo Bauru (Kb) 1:25.000

Conforme descrito anteriormente, a partir dos Mapas de Contorno Estrutural do topo dos basaltos e dos arenitos, *Figura 15 e Figura 16*, respectivamente, foi possível gerar o Mapa de Espessuras abaixo.

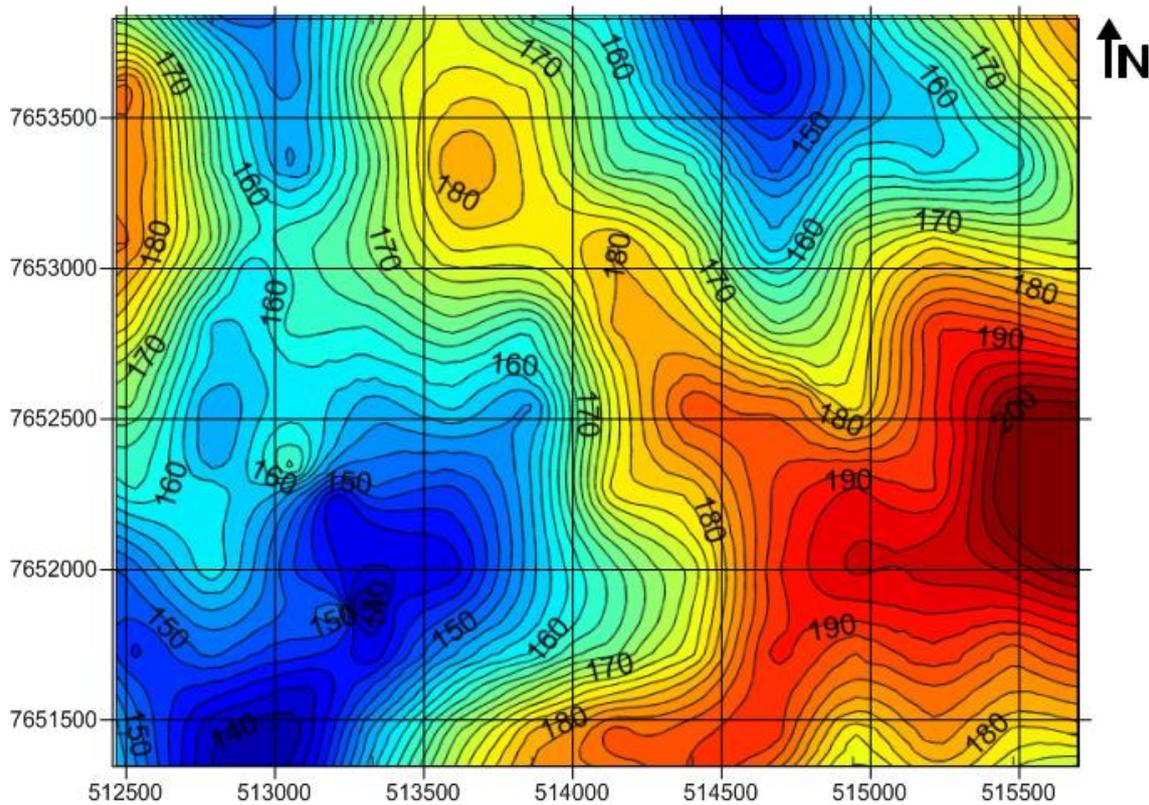


Figura 17 - Mapa de Espessuras dos arenitos do grupo Bauru (Kb) 1:25.000

6. Discussões

A análise estatística multivariada realizada para o poço Estrada Adamantina (P25) cruzou cinco tipos de dados: Gama, Resistividade Normal de 16", Resistividade Normal de 64", Resistividade Lateral e Potencial Espontâneo e gerou, por isso, cinco *scores*. Desses *scores* é possível observar que os primeiros dois são representações similares às duas resistividades normais, sendo o *Score 01* semelhante à de 16" e o *Score 02* à de 64". Por outro lado, os *scores 03 e 04* são mais representativos para todos os parâmetros analisados, assemelhando-se à assinatura de Gama, sem que picos e quebras observadas nas curvas de resistividade sejam eliminadas, conforme pode ser observado na *Figura 26 e Figura 27*, em anexo. Por esse motivo foram os escolhidos na tentativa de interpretação hidroestratigráfica desse poço, presente na *Figura 18*.

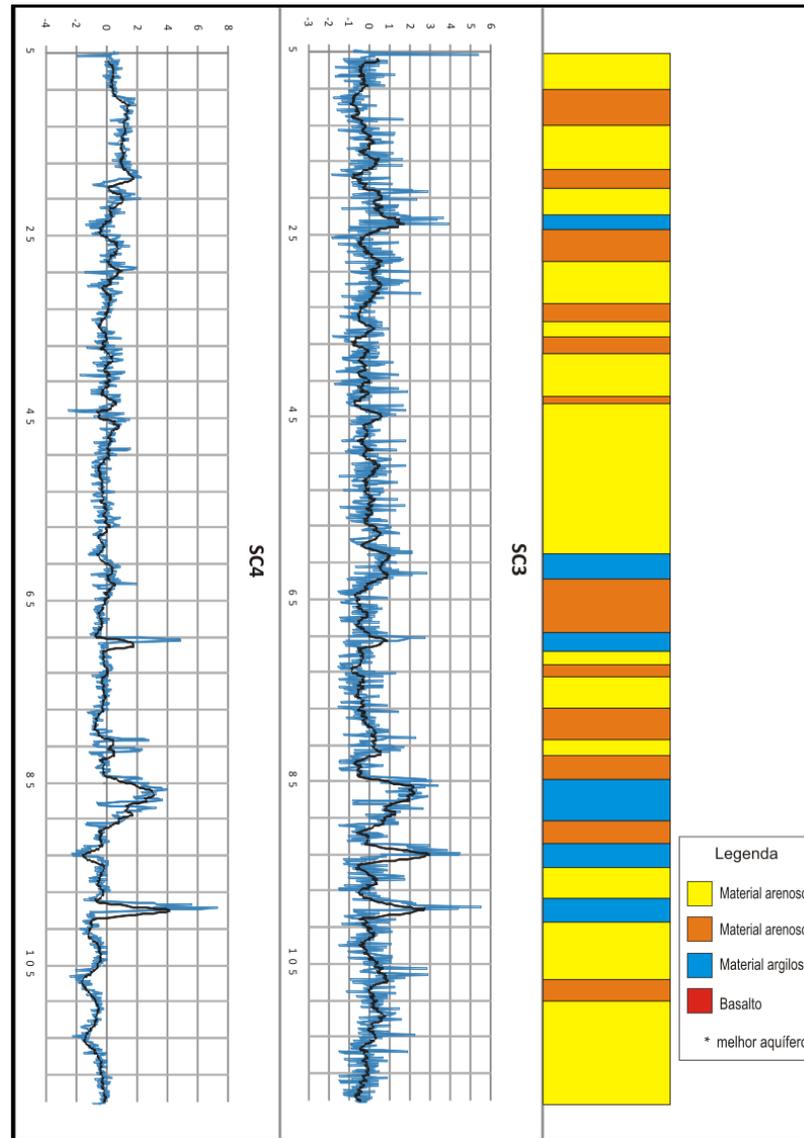


Figura 18 - Interpretação Hidroestratigráfica do poço Estrada Adamantina (P25)

Para o poço Penitenciária I (P26), a modelagem gerou sete *scores* a partir de perfis de: Gama, Resistividade *Single-point*, Resistividade Normal de 16", Resistividade Normal de 64", Resistividade Lateral, Potencial Espontâneo e Condutividade. Desses sete, alguns apresentam informações referentes às Resistividades, assim como observado no *Score 04*, enquanto o *Score 03* apresenta assinatura semelhante à de raios Gama. Por serem as curvas mais representativas para os parâmetros analisados, conforme pode ser observado, em anexo, na *Figura 28* e *29*, essas curvas de *score* citadas foram as escolhidas na tentativa de interpretação hidroestratigráfica desse poço, presente na *Figura 19*.

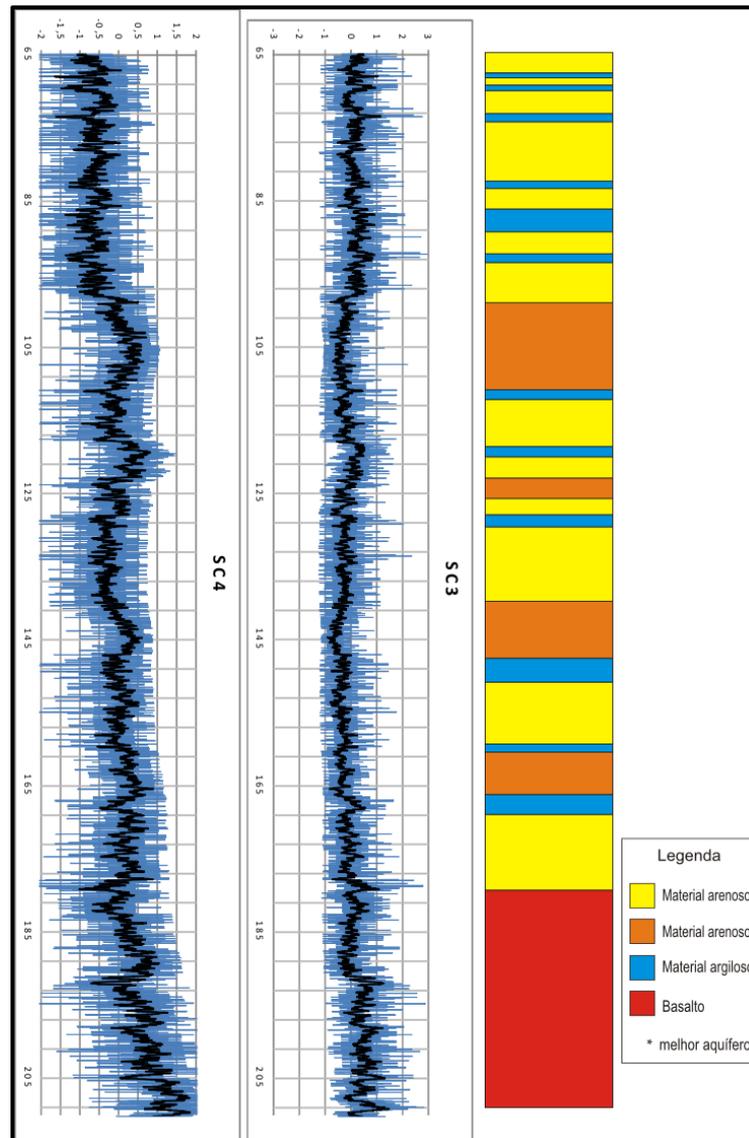


Figura 19 - Interpretação Hidroestratigráfica do poço Penitenciária I (P26)

Para o poço Penitenciária II (P27), foram cruzados os mesmos sete parâmetros analisados no poço Penitenciária I (P26), gerando também sete *scores*. Nesse caso, diferente do modelo gerado para o poço P26, os canais de *score* mais representativos, conforme mostram as *Figura 30* e *Figura 31*, em anexo, foram 02 e 06, escolhidos, por isso, na tentativa de interpretação hidroestratigráfica desse poço, apresentada na *Figura 20*.

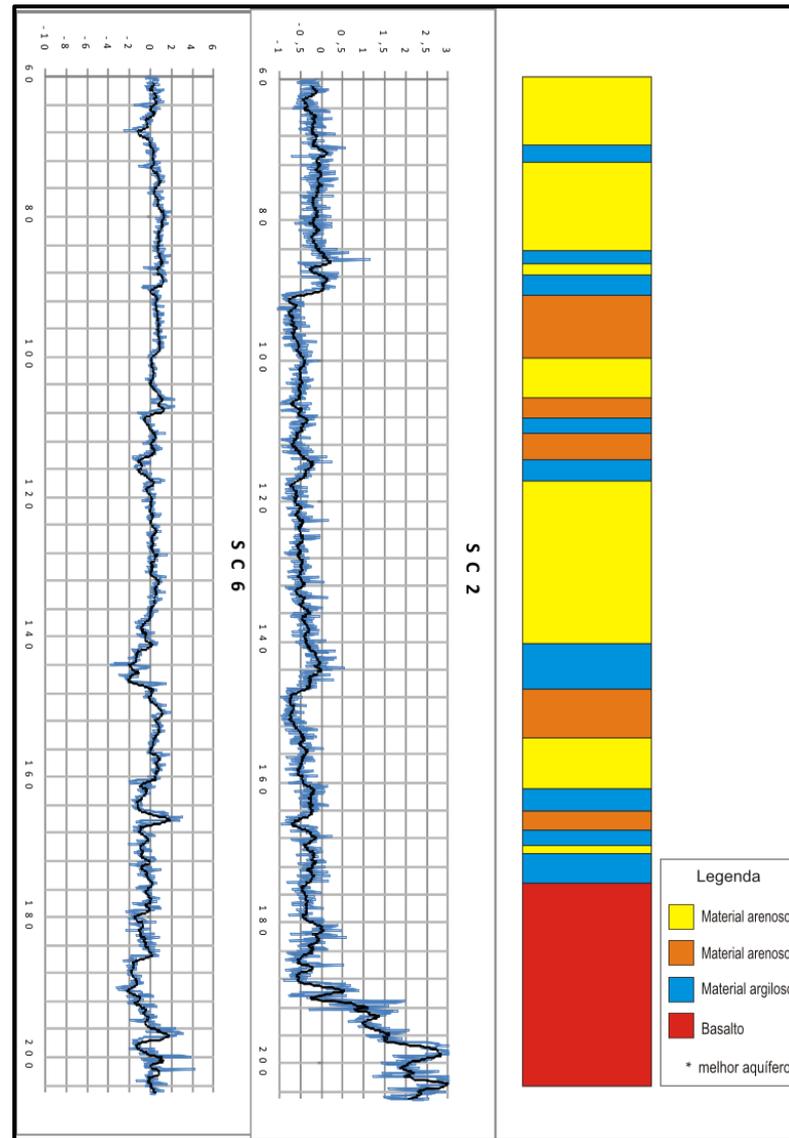


Figura 20 - Interpretação Hidroestratigráfica do poço Penitenciária II (P27)

A modelagem dos dados de: Gama, Resistividade Normal de 16", Resistividade Normal de 64", Resistividade *Single-point*, Resistividade Lateral e Potencial Espontâneo do poço ETA II (P28), por sua vez, gerou seis *scores*. Desses, com exceção do *Score 05*, todos apresentam assinatura semelhante à de Raios Gama, preservando cada um de seus picos positivos e negativos. No entanto, quanto às curvas de Resistividade, nenhuma delas contribuiu na composição das curvas de nenhum desses cinco *Scores*. O *Score 05*, por sua vez, apresenta resposta aparentemente antagônica à de Raios Gama, mas que coincide com grande parte dos picos registrados em ambas as assinaturas de Resistividade, com exceção de dois picos positivos marcantes entre as profundidades de 74 e 94 m, que, marcam uma variação hidroestratigráfica, observada, no entanto, na descrição das amostras de calha de perfuração, em Anexo, tanto com relação à granulometria, afinando a partir dos 85 m de

profundidade, quanto uma variação na cor, observada na *Figura 22*. Apesar disso, os canais de *score* escolhidos foram o 02 e 05, por serem aqueles mais representativos para os parâmetros analisados, conforme pode ser verificado nas *Figura 32* e *Figura 33*, em anexo.

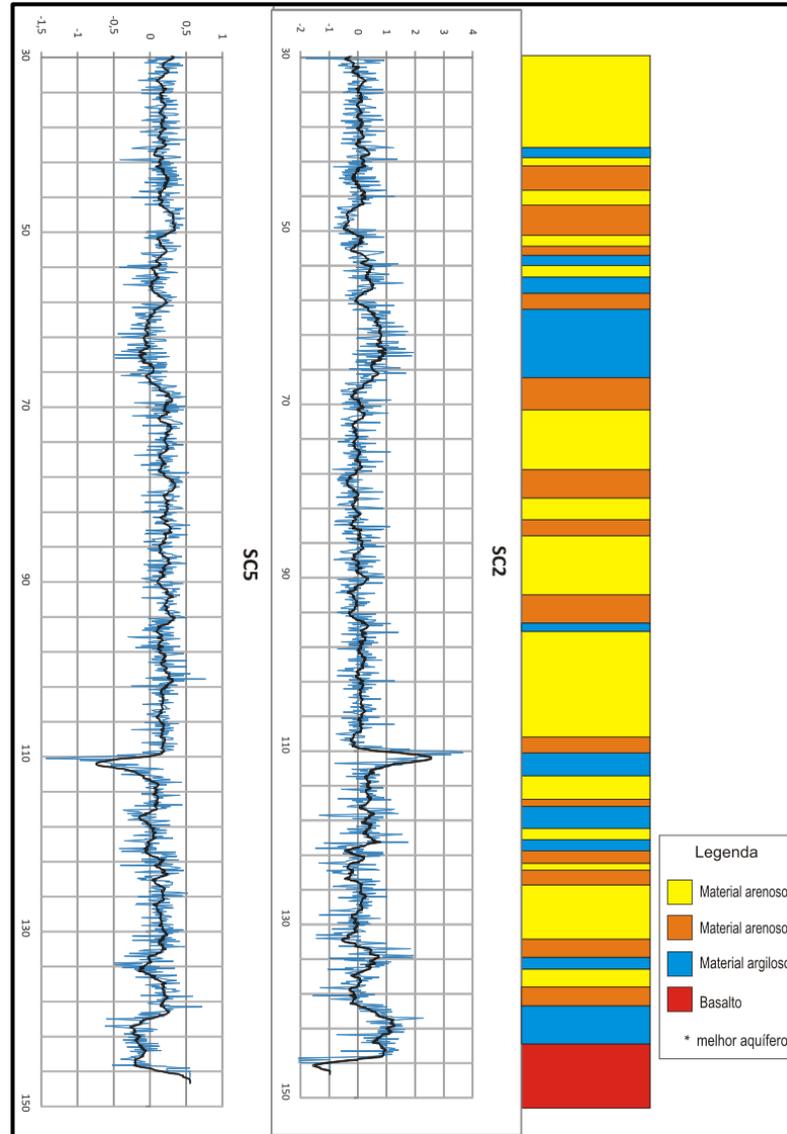


Figura 21 - Interpretação Hidroestratigráfica do poço ETA II (P28)



Figura 22 - Amostra de calha de perfuração entre as profundidades de 70 e 100 m do P28.

Apesar da interpretação hidroestratigráfica de cada poço ter sido feita exclusivamente com base nas curvas de *score* geradas, de forma visual, é possível relacioná-la à literatura, com base na alternância de material argiloso em meio ao conteúdo arenoso, à origem da Formação Adamantina, como flúvio-lacustre (Almeida *et al.*, 1980), em que essa alternância de material fino com material mais grosso é característica predominante.

A disponibilidade de dados, no entanto, se comparada ao trabalho de Brennan (2011), é um importante fator limitante na aquisição de resultados expressivos e conclusivos, uma vez que, diferente do trabalho citado, os dados analisados nesse trabalho não apresentavam perfis: sônico, de cáliper e também de suscetibilidade magnética, mas, apenas perfis associados ao conteúdo de argila, sem nenhum que associasse à densidade/compactação ou condutividade hidráulica.

Apesar disso, para modelagens envolvendo os mesmos parâmetros, como ocorre com os poços P26 e P27, é possível obter relações entre as assinaturas dos canais de *score* gerados, assim como identificado pelos círculos vermelhos na figura abaixo. É importante ressaltar também que nesse caso a proximidade geográfica desses dois poços, e a mesma cota topográfica, são fatores que proporcionam tal semelhança.

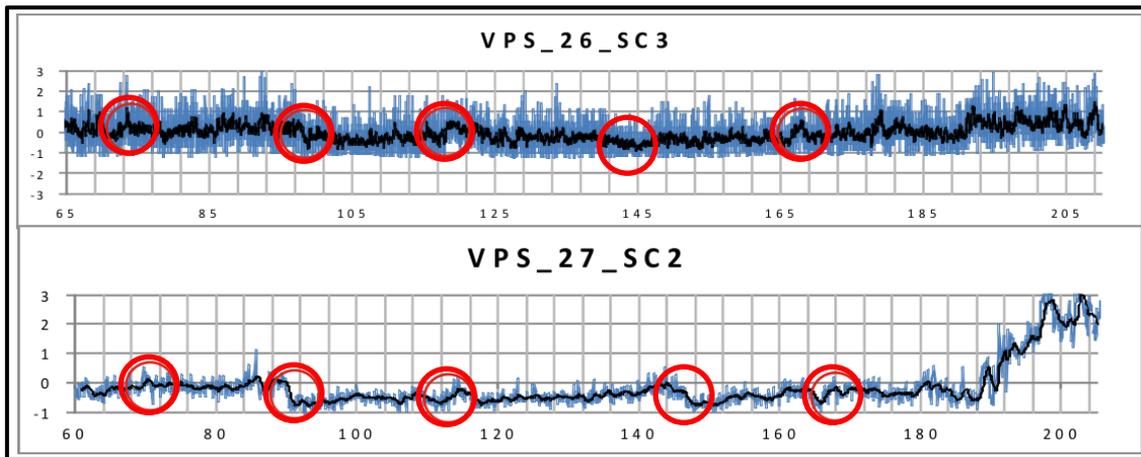


Figura 23 - Relação entre os Poços P26 e P27

A maior amplitude entre cotas topográficas ocorre entre os poços P27 e P28. Com quase 70 m de diferença, ela reflete também na diferença de espessuras da Formação Adamantina, ao longo dessa área, conforme observado no Mapa de Espessuras confeccionado (*Figura 17*). No entanto, se considerarmos o mergulho das unidades sedimentares da área estudada como horizontais, as profundidades em torno de 70 m dos poços P26 e P27, que se encontram na cota de 467 m, seriam equivalentes ao topo dos poços P25 e P28, que estão aproximadamente na cota 400, e a partir daí seria possível buscar relações entre elas.

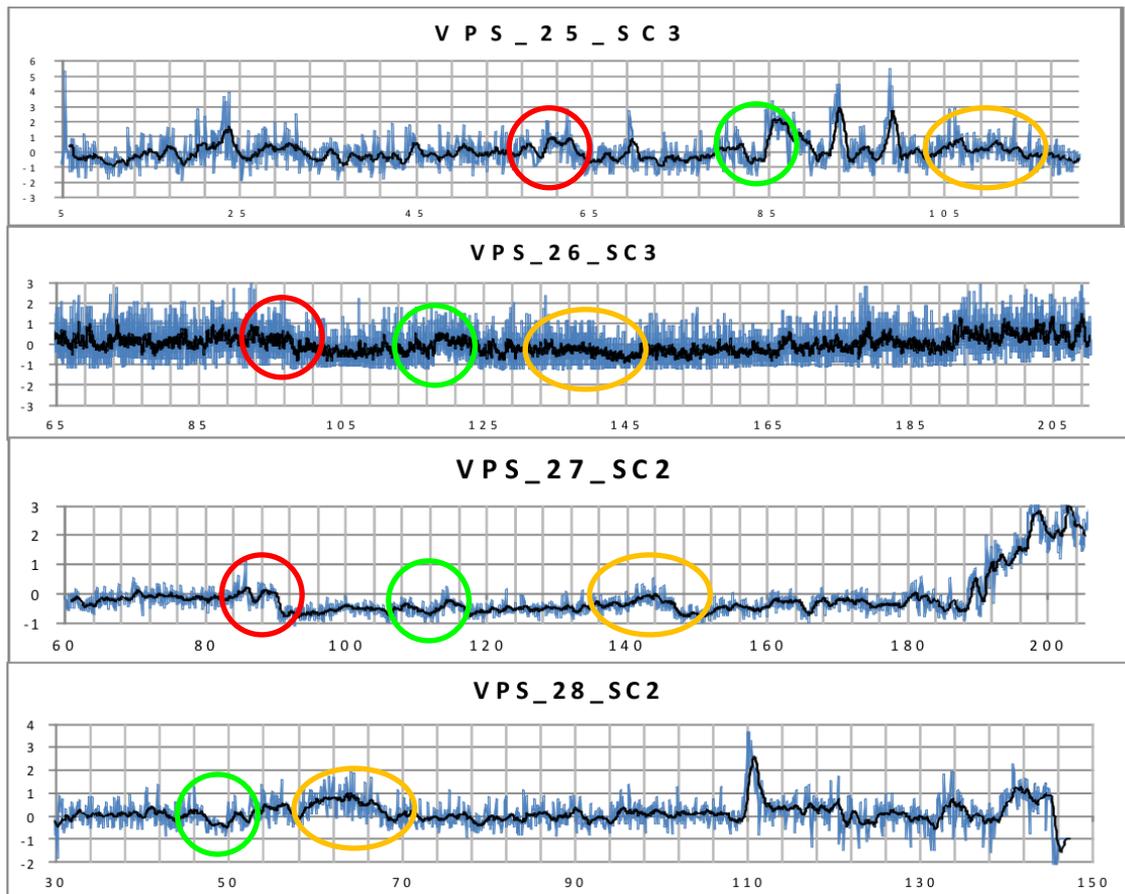


Figura 24 - Relação entre os poços P25, P26, P27 e P28, em que círculos da mesma cor representam trechos equivalentes em cada um dos poços

Essas curvas de *scores* apresentadas são análogas às curvas de raios gama de cada um dos poços apresentados, ou seja, os picos positivos representam elevado conteúdo de material argiloso, o que lhes confere característica de um mau reservatório nesses trechos, enquanto o análogo negativo é um bom reservatório, por sua vez. Esses trechos destacados na figura, principalmente as quebras, refletem também na mudança desse conteúdo de argila, mostrando variações que podem estar associadas à própria gênese dessa formação, descrita por Almeida *et al.* (1980) como flúvio-lacustre.

7. Conclusões

Nesse trabalho foi realizada uma análise estatística multivariada de dados utilizando o método de Análise de Componentes Principais (PCA), a partir de dados geofísicos coletados para quatro poços do Aquífero Bauru, perfilados na região de Valparaíso-SP, seguida de uma interpretação hidroestratigráfica para cada um deles.

A PCA pode auxiliar os intérpretes de perfis de poços em hidrogeologia, simplificando e sintetizando os resultados da perfilagem, a partir da redução da quantidade de curvas geofísicas a serem analisadas a curvas representativas de *score*. Agregando a assinatura de diferentes parâmetros geofísicos em uma mesma curva é possível gerar padrões relativos para a identificação de potenciais aquíferos, diminuindo a redundância do conjunto de dados, que muitas vezes apresenta parâmetros que, apesar de distintos, representam aspectos litológicos semelhantes, como, por exemplo, as duas curvas de resistividade normal.

Para esse trabalho, os *scores* gerados pela PCA possibilitaram uma interpretação hidroestratigráfica, que mostrou distribuição semelhante àquela esperada para um ambiente de deposição flúvio-lacustre. A alternância de material fino com mais grosso é marcante nesses perfis, o que é algo esperado em virtude da variação energética durante tais deposições, marcando um ambiente de deposição mais calmo – de origem lacustre – para as porções mais finas em relação às porções mais grossas – de origem fluvial.

Visando um maior aproveitamento dos dados disponibilizados pelo DAEV, integrando os resultados obtidos e também complementando as interpretações disponíveis, o Mapa de Espessuras das unidades sedimentares Kb gerado apresenta-se como aliado na escolha de futuras locações de poços, que explorem o Grupo Bauru, pelo menos com relação à espessura de Kb.

8. Referências Bibliográficas

Agropecuária Jacarezinho Ltda. 2014. Unidade de Valparaíso. Disponível em: <http://www.agrojacarezinho.com.br/conheca.php>. Acesso em: 12/05/2014.

Ajinomoto do Brasil Ind. e Com. De Alimentos Ltda. 2014. Unidade Ajinomoto de Valparaíso. Disponível em: <http://www.ajinomoto.com.br/unidades/valparaiso>. Acesso em: 12/05/2014.

Alencar C.M.S. & Santos P.L.V.A.C. 2013. Precisão dos dados cartográficos disponíveis na web através da imagem do Google Earth. In: Encontro Internacional Dados, Tecnologia e Informação. Disponível em: <http://gpnti.marilia.unesp.br:8085/index.php/DTI/DTI/paper/viewFile/279/103>.

Almeida M.A., Stein D.P., Melo M.S., Bistrichi C.A., Ponçano W.L., Hasui Y., Almeida F.F.M. 1980. *Geologia do Oeste Paulista e áreas fronteiriças dos estados de Mato Grosso do Sul e Paraná*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Camboriú, v. 5, p. 2799-2812.

Andriotti J.L.S. 1997. *Análise de Componentes Principais: Fundamentos de uma técnica de análise de dados multivariada aplicada a dados geológicos*. Acta Geológica Leopoldensia, Porto Alegre, v.20, n.44, p-27-50. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/Art_analise_componentes_Andriotti.pdf

Barcha S.F., Arid F.M., Mezzalira, S. 1981. *Subprovíncias hidrogeológicas do Grupo Bauru na região norte-ocidental do estado de São Paulo*. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 17-33.

Brennan A.N. 2011. *Characterizing the Quaternary Hydrostratigraphy of Buried Valleys using Multi-Parameter Borehole Geophysics, Georgetown, Ontario*. McMaster University, Ontario, Canada 153 p. Disponível em: <http://digitalcommons.mcmaster.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=7345&context=opendissertations>

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). 1976. *Estudo de águas subterrâneas : região administrativa 7, 8, 9 : Bauru, S.J. Rio Preto, Araçatuba*. DAEE, São Paulo, v. 2, 189 p.

Fundação SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). 2014. Perfil Municipal. Disponível em: <http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/perfil.php>. Acesso em: 12/05/2014.

Geosoft. 2013. Geosoft Technical Note. *Principal Component Analysis (PCA) and Factor Analysis in Oasis Montaj*. Disponível em: <http://www.geosoft.com/media/uploads/resources/technical-notes/Principal%20Component%20Analysis.pdf>

Giampá C.E. & Gonçalves V.G. 2013. *Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos*. Oficina de Textos, São Paulo. 496 p.

INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2009. Mapa Político do Estado de São Paulo 1:900.000. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/politico/unidades_federacao/sp_politico.pdf

INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2014. Cidades. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=355630&search=sao-paulo|valparaiso|infograficos:-informacoes-completas>. Acesso em: 10/05/2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. 1981. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1: 500.000*. São Paulo: IPT, 1981a. 2 v. (Monografias, 6; Publicação, 1 184).

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (IGC). 1998. Mapa das Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.igc.sp.gov.br/produtos/ugrhi.html>.

Iritani, M.A. & Ezaki S. 2012. *As Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo*. IG, São Paulo. 104 p. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/publicacoes/files/2013/04/01-aguas-subterraneas-2012.pdf>

Kassenaar J. D.C. 1991. *An application of principal components analysis to borehole geophysical data*. In: Proceedings of the 4th International MGLS/KEGS Symposium on Borehole Geophysics for Minerals, Geotechnical and Groundwater Application., Toronto, p. 18-22. Disponível em: <http://software.earthfx.com/vlw3/brochure/MultiWell%20Papers/MGLS%20Kassenaar%20PCA%20Paper.pdf>

Kearey P., Brooks M., Hill I. 2009. *Geofísica de Exploração*. Oficina de Textos, São Paulo, 438 p.

Keys W.S. (coord.). 1990. *Borehole geophysics applied to ground-water investigations*. TWRI Book 2, Chapter E2. USGS, Denver, 150 p. Disponível em: pubs.usgs.gov/twri/twri2-e2/pdf/TWRI_2-E2.pdf

Landim P.M.B. 2002. *Introdução à confecção de mapas pelo software Surfer*. UNESP, Rio Claro, 29 p.

Mendes R.L.R & Verma OM P. 2000. *Perfilagem Geofísica de Poço e SEV Aplicados a Delimitação de Aquíferos*. In: ABAS, XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas & 1st Joint World Congress on Groundwater, Fortaleza, 16 p.

Michaelis Dicionário Escolar Inglês. 2009. Dicionário. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/moderno/ingles>. Acesso em: 15/05/2014.

Milani E.J., Faccini U.F., Scherer C.M.S., Araújo L.M., Cupertino J.A. 1998. *Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil*. Boletim IG-USP, São Paulo, Série científica, n.29, p.125-173. Disponível em: http://papegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0102-62831998000100005&lng=pt&nrm=iso&tlng=en

Milani E.J., Melo J.H.G., Souza P.A., Fernandes L.A., França A.B. 2007. *Bacia do Paraná*. Boletim de Geociências da PETROBRÁS, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p. 265-346. Disponível em: <http://vdpf.petrobras.com.br/vdpf/consultarArquivosEdicao.do>

Nery G.G. 1995. *Perspectivas da Perfilagem Geofísica de Poços na Hidrogeologia*. In: ABAS, IX Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, Curitiba, p. 101-109.

Nery G.G. & Schino J.P. 2013. *Perfilagem geofísica*. In: Giampá C.E. & Gonçalves V.G. (ed.) *Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos*. Oficina de Textos, São Paulo. 496 p.

Paillet F.L. & Crowder RE. 1996. *A Generalized Approach for the Interpretation of Geophysical Well Logs in Ground-Water Studies - Theory and Application*. Ground Water, v. 34, p. 883-898. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1745-6584.1996.tb02083.x/pdf>

Prefeitura Municipal de Valparaíso-SP. 2014. História Disponível em: <http://www.valparaiso.sp.gov.br/site/valparaiso/historia/> Acesso em: 12/05/2014.

Redígolo N.C.N. 2013. *Para além dos muros e das grades: Atitudes e valores em relação às Instituições carcerárias do Município de Valparaíso/SP*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Filosofia e Ciências da Universidade Estadual Paulista, Marília, 123 p.

Rocha G. (coord.). 2005. *Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo : escala 1:1.000.000: Nota explicativa*. Câmara Brasileira do Livro, São Paulo, 119 p. Disponível em: http://www.daee.sp.gov.br/acervoepesquisa/mapasub/MAPA_AS.pdf

SÃO PAULO. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Lei nº 233. São Paulo. 1948. *Fixa o Quadro Territorial, Administrativo e Judiciário do Estado*. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1948/lei-233-24.12.1948.html>

Silva F.P., Kiang C.H., Caetano-Chang M.R. 2005. *Hidroestratigrafia do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. Águas Subterrâneas*, v.19, n.2, p. 19-36.

Soares P.C., Landim P.M.B., Fúlfaro V.J., Sobreiro A.F. 1980 *Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru*. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.10, n.3, p. 177-185

Souza Filho M.N., Mariano I.B., Redigolo A. 2011. *Utilização do Aquífero Guarani em Valparaíso*. In: Hirata R., Rocha G., Sindico F. (coord.) 2011. *A gestão do Sistema Aquífero Guarani: um exemplo de cooperação*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: http://cepas.net.br/images/eventos/cisag2011/livro_cepas_com_capa.pdf

Wonik T. & Hinsby K. 2007. *Borehole logging in Hydrogeology*. 107-122 p. In: 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Istanbul, Turquia. Disponível em : http://www.liag-hannover.de/fileadmin/user_upload/dokumente/Grundwassersysteme/BURVAL/buch/107-122.pdf

Zimmer D. & Renault D. 2003. *Virtual Water in Food Production and Global Trade – review of methodological issues and preliminary results*. In: Hoekstra A.Y. (ed.) *Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*, Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE, 25-47. Disponível em: http://www.fao.org/nr/water/docs/virtualwater_article_dzdr.pdf

Softwares

GEOSOFT. 2013. Oasis Montaj, version 8.1: mapping and processing software. Toronto, On, Geosoft Inc. Conjunto de programas 1 CD-ROM

GOLDEN SOFTWARE. 2011. Surfer, version 10.2: surface mapping system software. Golden, Co, Golden Software Inc. Conjunto de programas 1 CD-ROM

GOOGLE INC. 2013. Google Earth, version 7.1.2.2041: virtual globe, map and geographical information software. Menlo Park, Ca, Google Inc. Disponível em: <http://www.google.com/earth/>

MICROSOFT 2010. Microsoft Office Professional Plus 2010, version 14.0.4734.1000 . Redmond, Wa, Microsoft Corporation. Conjunto de programas 1 CD-ROM

9. Anexos

Tabela 4 - Descrição das amostras de calha, com base em sua granulometria, cor, seleção, arredondamento e outras características marcantes, conforme profundidade

30,00	36,00	Arenito amarelo-esbranquiçado, fino a médio, moderado a bem selecionado, grãos bem arredondados, presença de pequena quantidade de argila, raros fragmentos líticos da mesma rocha matriz.
36,00	42,00	Arenito amarelo-esbranquiçado, médio, moderado a bem selecionado, grãos arredondados, presença de pequena quantidade de agregados de argila, raros fragmentos líticos da mesma rocha matriz.
42,00	48,00	Arenito amarelo-esbranquiçado, médio, bem selecionado, arredondado, presença de pequena quantidade de argila, raros fragmentos líticos da mesma rocha matriz.
48,00	54,00	Arenito amarelo-esbranquiçado, médio, bem selecionado, arredondado, presença de pequena quantidade de argila, raros fragmentos líticos da mesma rocha matriz.
54,00	60,00	Arenito amarelo-esbranquiçado, médio, bem selecionado, arredondado, presença de pequena quantidade de argila, raros fragmentos líticos da mesma rocha matriz.
60,00	66,00	Siltito amarelo-esbranquiçado, médio, seleção moderada, subarredondado a arredondado, presença de pequena quantidade de argila, raros fragmentos líticos da mesma rocha matriz.
66,00	72,00	Siltito amarelo-esbranquiçado, médio, seleção moderada, subarredondado a arredondado, presença de pequena quantidade de argila, raros fragmentos líticos da mesma rocha matriz.
72,00	78,00	Arenito/arenito conglomerático, amarelo-esbranquiçado, composto por areia grossa/grânulos, mal selecionado, grãos bem arredondados, elevada quantidade de fragmentos líticos da mesma rocha matriz.
78,00	84,00	Arenito/arenito conglomerático, amarelo-avermelhado, composto por areia grossa/grânulos, moderada seleção, grãos bem arredondados, elevada quantidade de fragmentos líticos da mesma rocha matriz.
84,00	90,00	Siltito arenoso, vermelho, composto por silte e areia média, seleção moderada, grãos bem arredondados.
90,00	96,00	Siltito arenoso, vermelho, composto por silte e areia média, boa seleção, grãos bem arredondados.
96,00	102,00	Siltito arenoso, marrom-avermelhado, composto por silte e areia média, boa seleção, grãos bem arredondados.
102,00	108,00	Siltito arenoso, marrom-avermelhado, composto por silte e areia média, boa seleção, grãos bem arredondados.
108,00	114,00	Folhelho siltoso, marrom-avermelhado, mais vermelha que a anterior, composto por silte e areia média, boa seleção, grãos bem arredondados.

114,00	120,00	Folhelho siltoso, marrom-avermelhado, mais vermelha que a anterior, composto por silte e areia média, boa seleção, grãos bem arredondados.
126,00	132,00	Arenito marrom-escuro, médio, bem selecionado, arredondado, elevada quantidade de argila, raros fragmentos líticos da mesma rocha matriz.
132,00	138,00	Arenito marrom-escuro, médio, bem selecionado, arredondado, elevada quantidade de argila, raros fragmentos líticos da mesma rocha matriz.
138,00	144,00	Arenito marrom-avermelhado, médio, bem selecionado, arredondado, elevada quantidade de argila, raros fragmentos líticos da mesma rocha matriz. Possível influência dos basaltos.



Figura 25 - Amostras de calha do P28

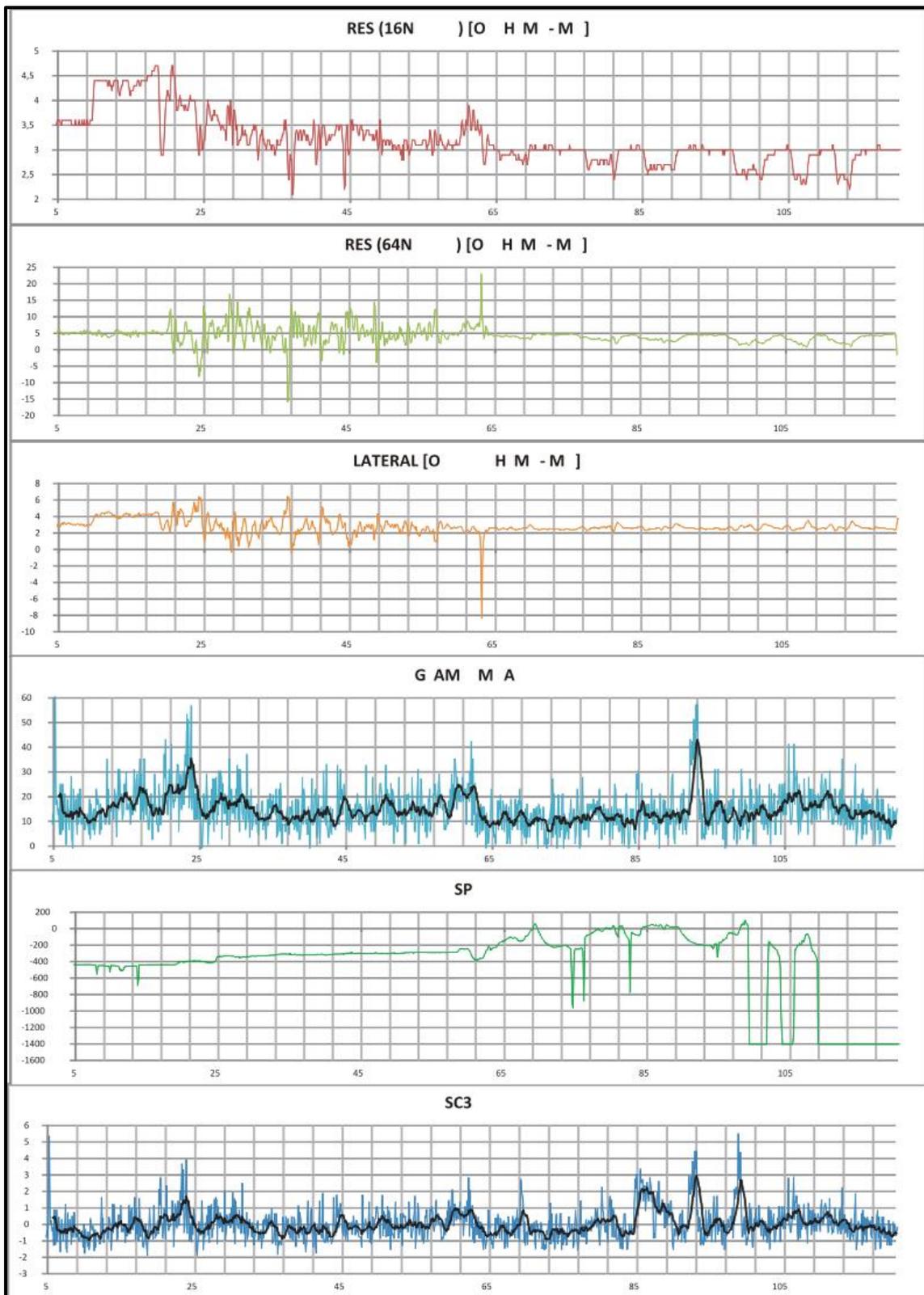


Figura 26 - Parâmetros cruzados na PCA e primeiro canal de score selecionado para o poço P25

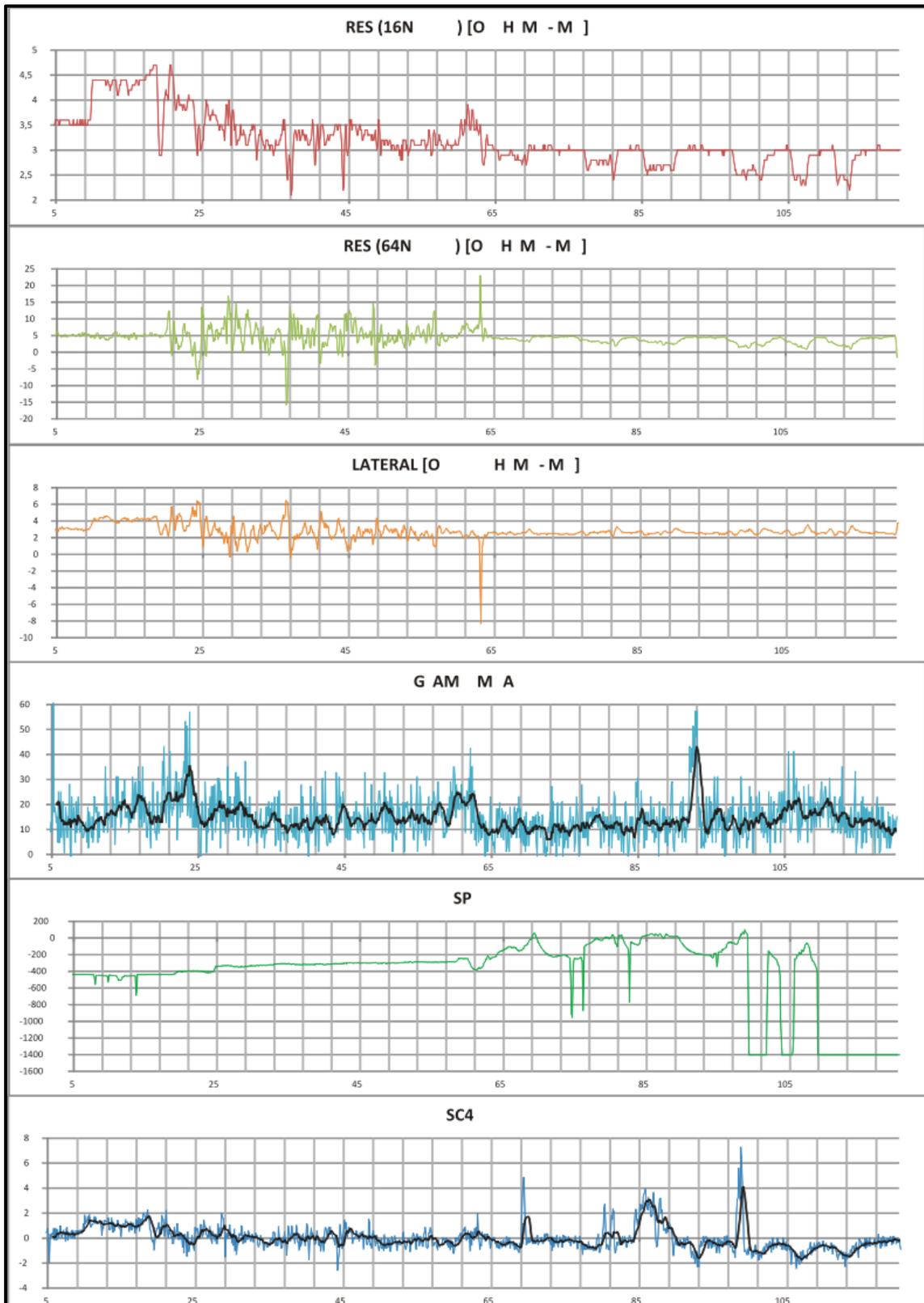


Figura 27 - Parâmetros cruzados na PCA e segundo canal de score selecionado para o poço P25

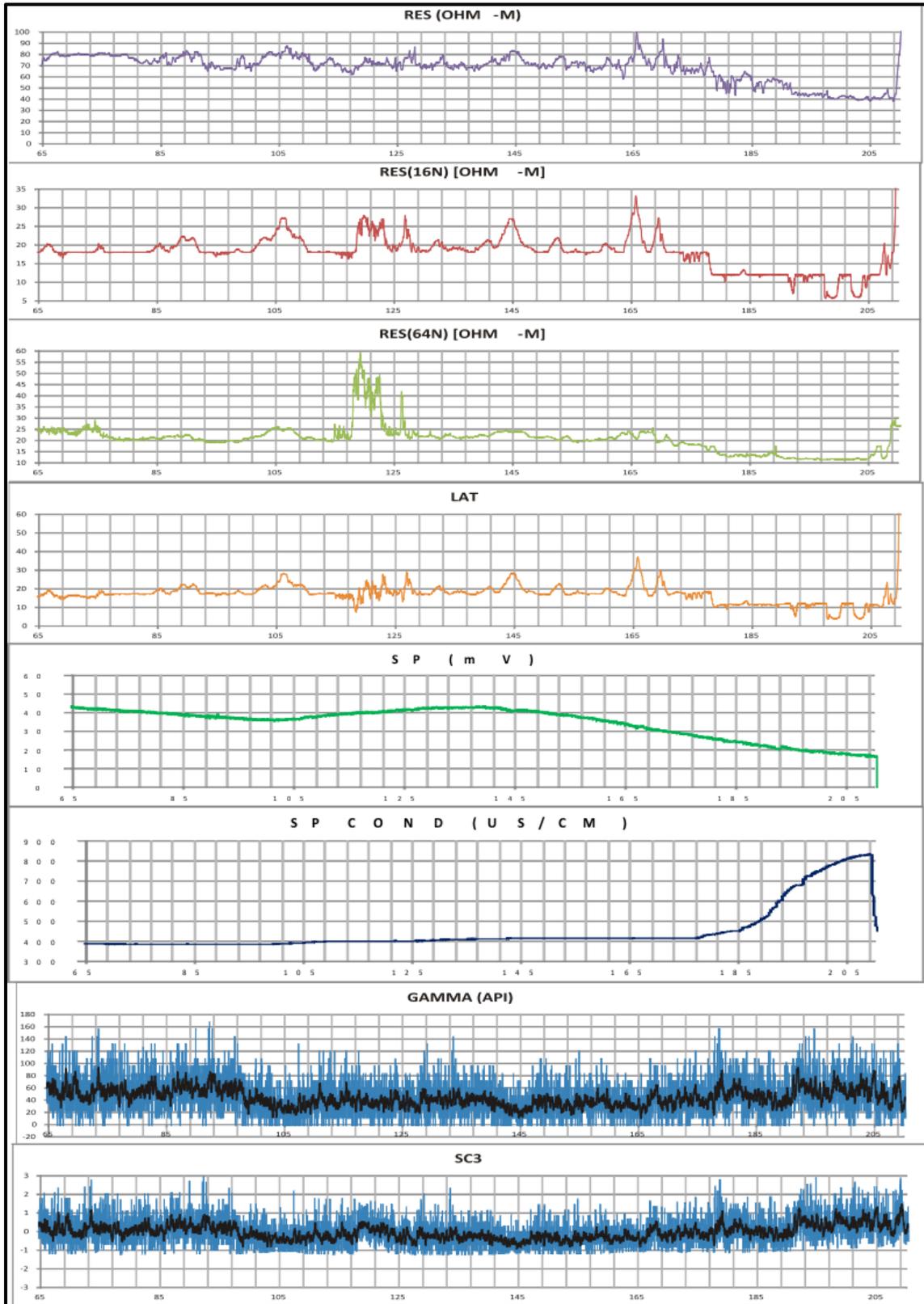


Figura 28 - Parâmetros cruzados na PCA e primeiro canal de score selecionado para o poço P26

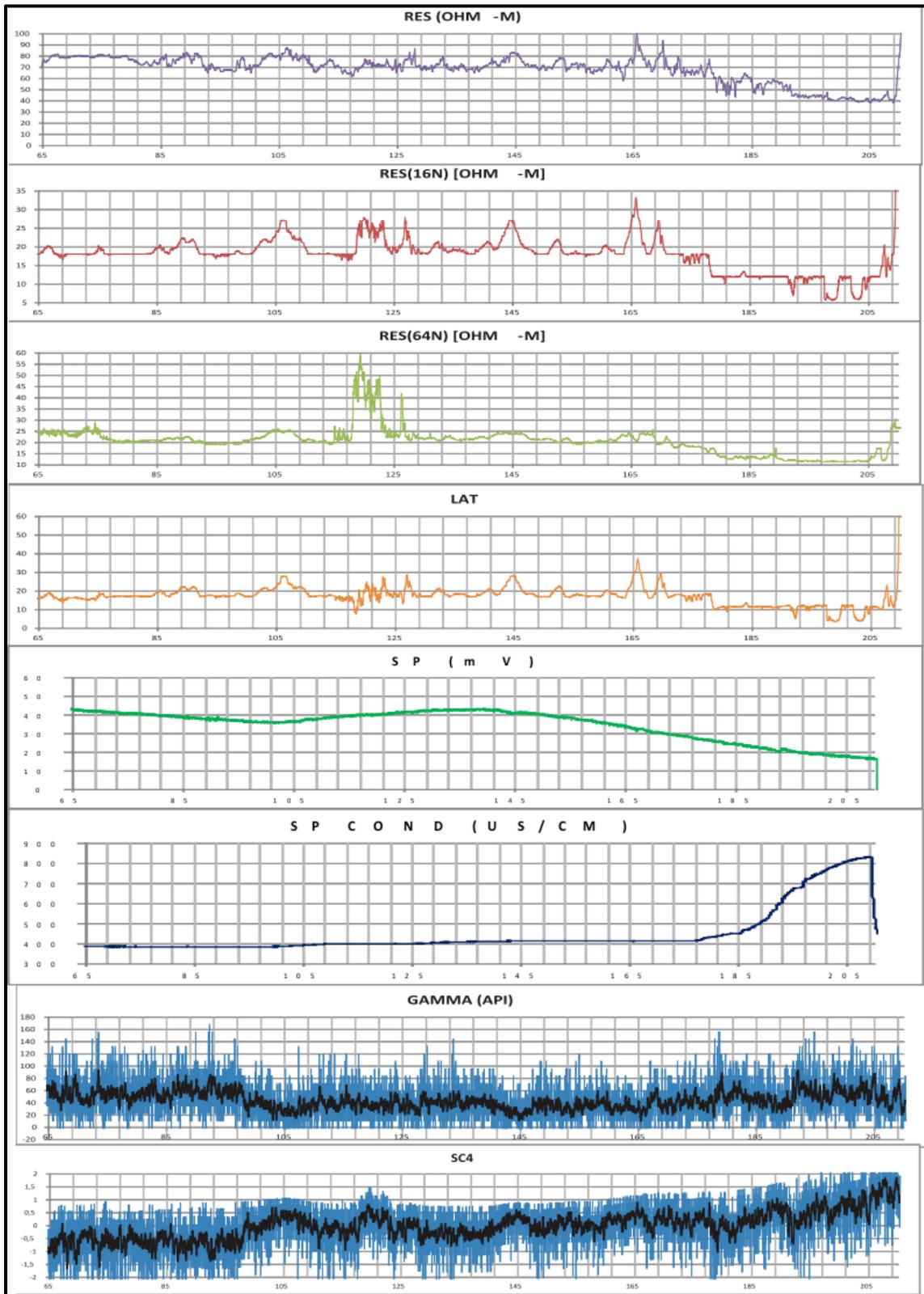


Figura 29 - Parâmetros cruzados na PCA e segundo canal de score selecionado para o poço P26

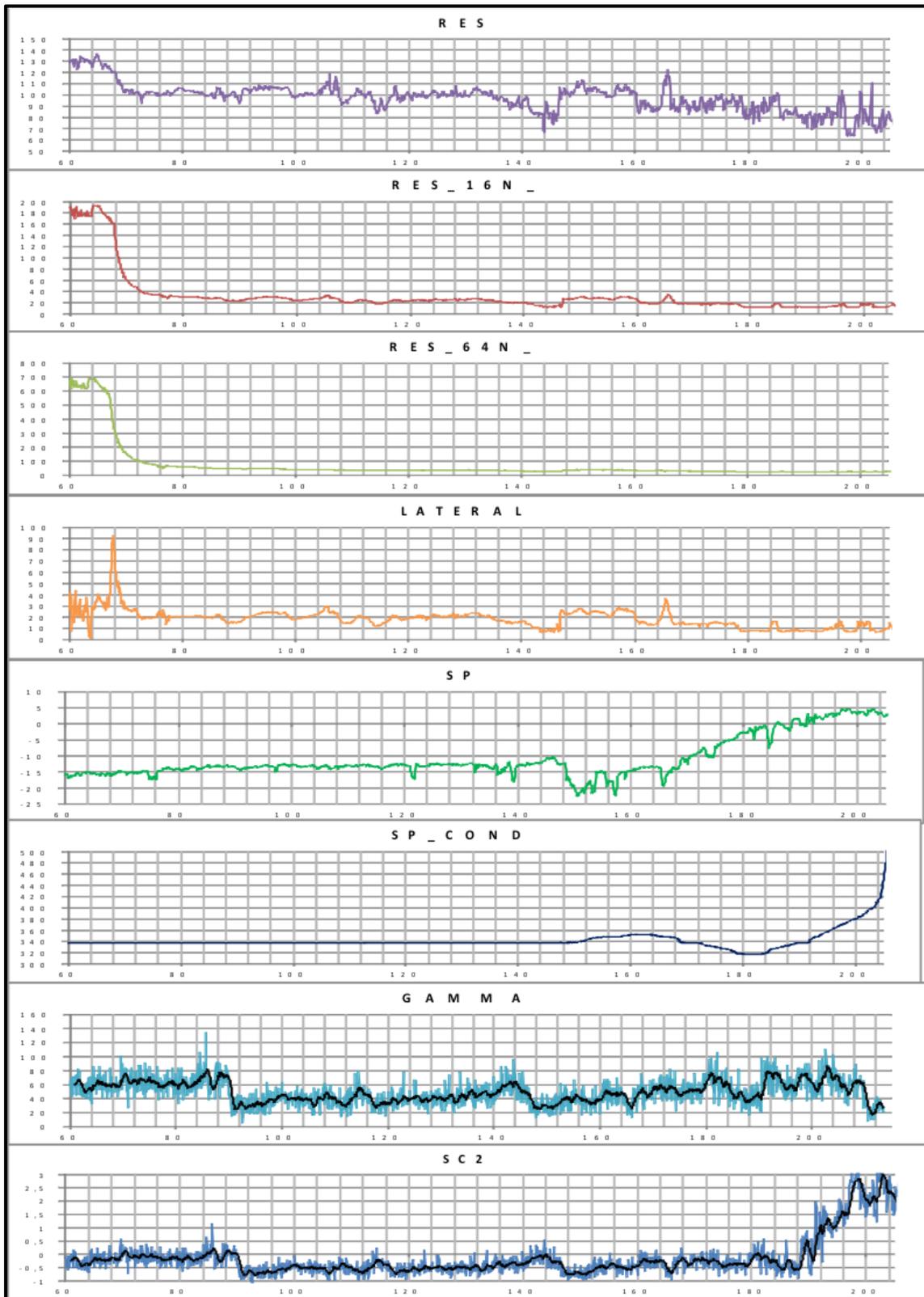


Figura 30 - Parâmetros cruzados na PCA e primeiro canal de score selecionado para o poço P27

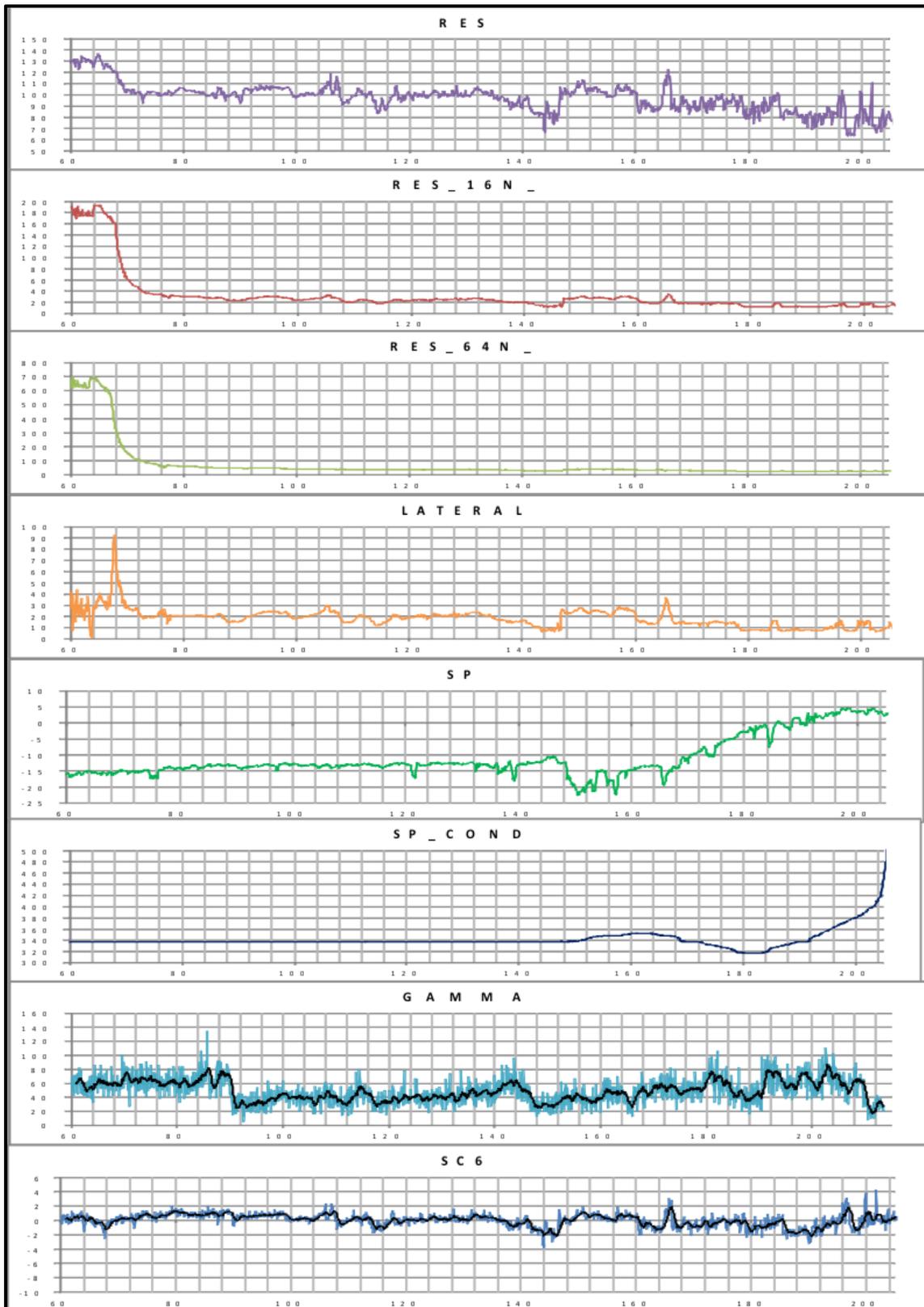


Figura 31 - Parâmetros cruzados na PCA e segundo canal de score selecionado para o poço P27

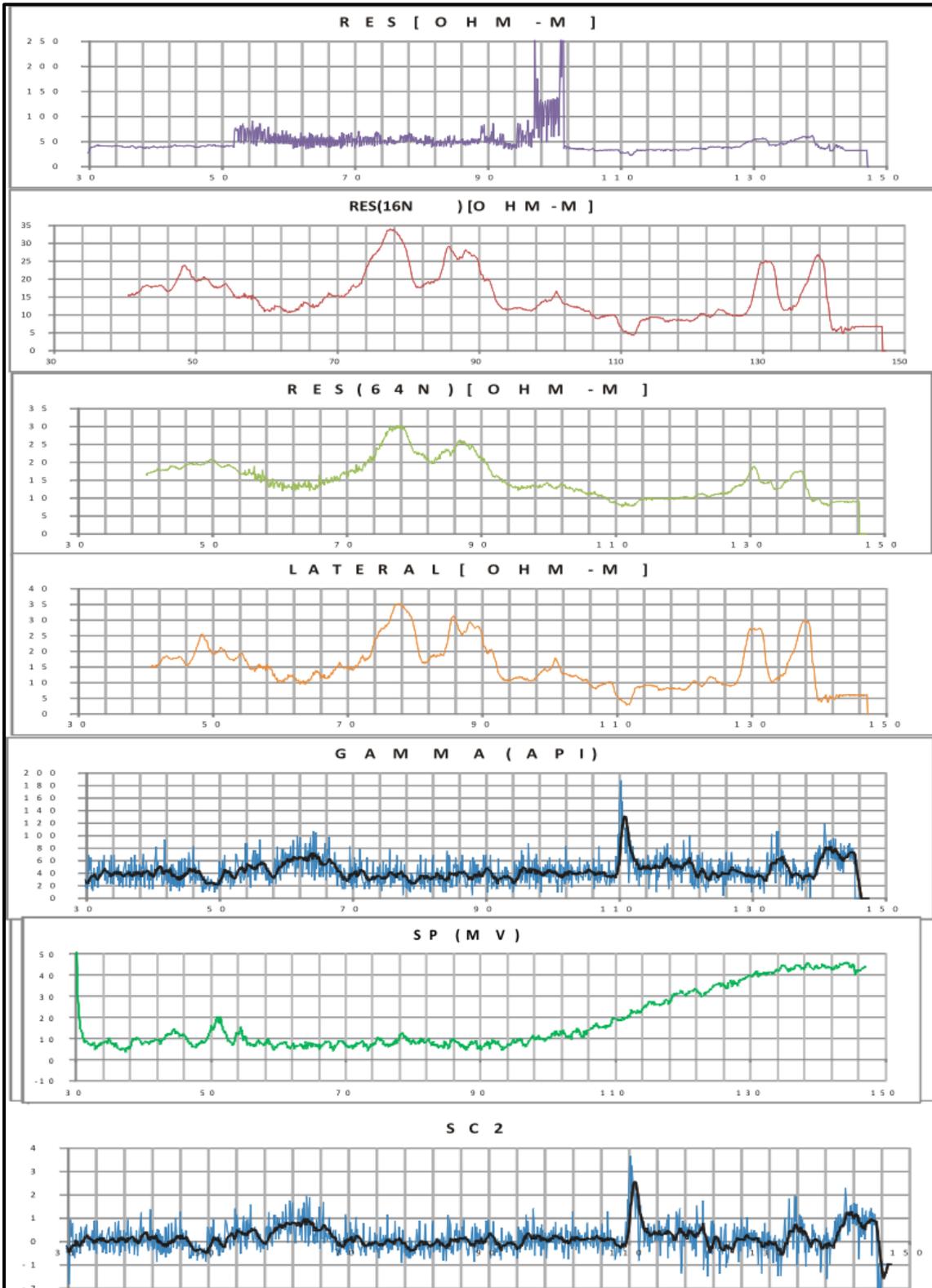


Figura 32 - Parâmetros cruzados na PCA e primeiro canal de score selecionado para o poço P28

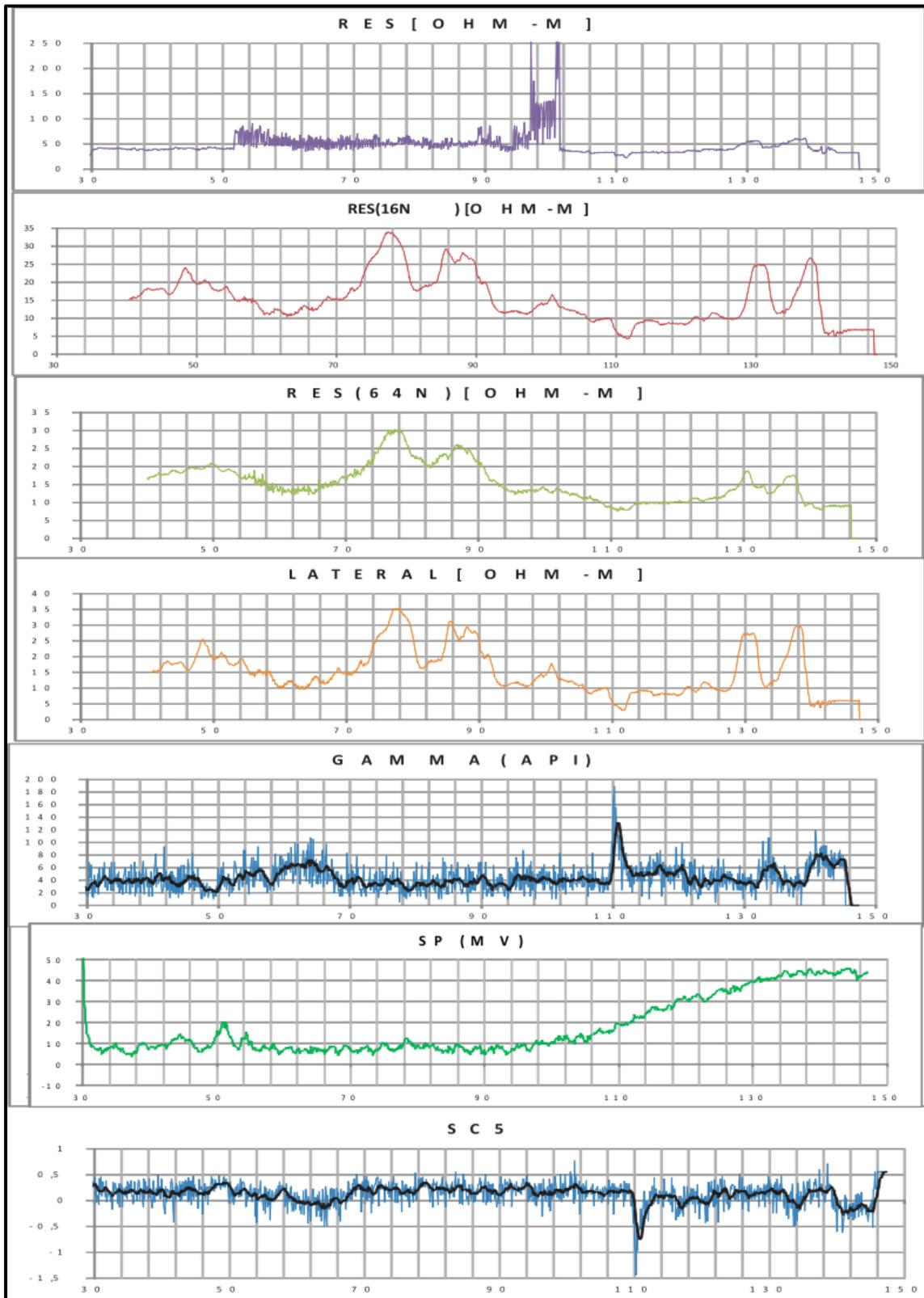


Figura 33 - Parâmetros cruzados na PCA e segundo canal de score selecionado para o poço P28