

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PERFILAGENS GEOFÍSICAS DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS,
REGIÃO DO CANAL JURUBATUBA, SÃO PAULO (SP)

Lucas Andreatta Franchin Salvo Ribeiro

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Antônio Bertolo
Co-orientadora: Dra. Amélia João Fernandes

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2012 / 27)

SÃO PAULO
2012

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Monografia de Trabalho de Formatura

(TF-12/27)

**Perfilagens geofísicas de poços tubulares profundos,
região do canal Jurubatuba, São Paulo (SP)**

Relatório Final

Aluno: Lucas Andreatta Franchin Salvo Ribeiro
Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Antônio Bertolo
Co-orientadora: Dra. Amélia João Fernandes

São Paulo
Novembro 2012

AGRADECIMENTOS

A execução e conclusão deste trabalho não seriam possíveis sem a colaboração de diversas pessoas. A todos eles, segue os meus sinceros agradecimentos:

Aos meus pais, Sergio e Ide, pelo carinho, compreensão, apoio e referência de vida.

Ao professor Reginaldo A. Bertolo, pela orientação, confiança e franca amizade desenvolvidas durante os cinco anos da graduação. A Amélia J. Fernandes, pela eterna paciência e valiosas contribuições que sustentam a maioria das discussões presentes neste trabalho, e Carlos A. Birelli, cujo apoio técnico viabilizou a aquisição dos dados aqui apresentados. A FAPESP, pela concessão de bolsa de iniciação científica vigente durante os meses iniciais de execução deste estudo.

Aos colegas do LAMO, atuais e antigos, pelo auxílio no campo, sugestões e contribuições. Não poderia deixar de citar Bruna Fiume, Ingo Wahnfried (Lalas), Paulo Lima (Vermelho), Prof. Ricardo Hirata, Prof.^a Veridiana Martins, Rafael Terada, Paulo Galvão, Tatiana Tavares (Bambina), Claudia Varnier, Bruno Pirilo, Ana Maciel, Ricardo Saito, Marcus Ucci, Alessandra, entre outros.

Aos colegas do G360 da Universidade de Guelph, Carlos Maldaner (Assado), Paulo Casado, Juliana Camilo, Nikie Unonius, Paul Trudell, Robert Stuetzle, Amanda Malenica, Celia Kennedy, Jon Munn, Tom Coleman, Colby Steelman, Andrey Fomenko, Jessyca Meyer, Pat Quinn, Suzanne O'Hara, Anna Best, Maria Gorecka, Maria Fillippini, Ash, Amy, Cory, Andrea, Ryan, e da Universidade de Waterloo, Felipe Marques, Massimo Marchesi, Mahsa, Bob e Paul pela receptividade e oportunidade de participar de diversas atividades de campo.

A todos os colegas da Geo, a começar por Clítoris, Tá solto, Craca, Cuprólito, Nany, Sheila, Bucetauro, Sífilis, Piriguete, Mocinha, Vaselina, Simone, Perva, Horácio, Planária, Kidao, Inútil, Gorgonzola, Chavaska, Cotoco, Cazé, Chokito, pelos momentos vividos em campo, relatórios escritos, botecos e bandecos desfrutados. A todos os funcionários e principalmente aos motoristas da Geo, por tornarem possível cruzar centenas de quilômetros de estrada em segurança tendo 50 marmanjos dentro de um ônibus.

Aos meus amigos não-geólogos de todos os dias, que por pelo menos um minuto de paciência riram de alguma piada de geólogo, ouviram pacientemente algum caso ou estória ocorrida em campo, ou mesmo se interessaram por explicações banais sobre geologia geral.

“(...) não teremos a coragem de afirmar que os apetites relativos ao interesse ou às disputas que seguem o conhecimento e a razão e sob sua direção alcançam os prazeres que a sabedoria lhes indica, participam dos prazeres verdadeiros?”

Platão

A República – livro IX

RESUMO

Perfilagens geofísicas foram realizadas em cinco (05) poços tubulares profundos na região do canal Jurubatuba em São Paulo-SP a fim de caracterizar a atitude das fraturas observáveis e o sentido do fluxo da água subterrânea. A região de estudo foi classificada pela CETESB como uma das áreas contaminadas críticas da cidade, de modo que investigações desse tipo auxiliam na identificação de zonas que possam conter fraturas hidráulicamente ativas e que potencialmente estejam participando do transporte de contaminantes dissolvidos na água subterrânea.

Para a caracterização estrutural das principais descontinuidades existentes, foram realizadas perfilagens ótica e de calibre de poço, e para a identificação do comportamento hidráulico dessas fraturas foram realizadas perfilagens de condutividade elétrica e temperatura da água, além de medições de fluxo vertical ao longo dos poços utilizando a sonda *Heat Pulse Flowmeter*. Em complemento, foi realizada a perfilagem de irradiação gama para confirmar em caráter de detalhe a sucessão estratigráfica onde os poços estão instalados. Os resultados foram organizados num banco de dados e os perfis construídos através do software *WellCAD*.

Os resultados obtidos mostram que a foliação tem direção preferencial NNE-SSW e é afetada por dobras abertas, com plano axial subvertical e flancos que apresentam mergulhos entre 10° e 75° ora para NW ora SE. Grande parte das fraturas tende a seguir a orientação da foliação, porém também foram identificados grupos de fraturas de direção N30-50E com mergulhos superiores a 30° para NW e SE; N0-20W com mergulhos variados para NE e SW; e N80-90W com mergulhos predominantemente superiores a 50° para os quadrantes NE e SW e que interceptam as demais estruturas, gerando rejeitos aparentes de até 10 cm. Zonas onde o calibre de um dado poço indica franca deformação e rugosidade são frequentemente associadas aos trechos onde fraturas de diferentes famílias se interceptam.

Dois dos cinco poços indicam fluxo vertical ascendente. Algumas zonas não indicadas pelo perfil de calibre de poço apresentam fraturas abertas que se associam com valores de vazão significativos, o que dá mais importância à utilização de imagens OTV para a classificação de fraturas conforme a abertura e potencial atividade hidráulica. No poço W255, duas zonas se destacam como prováveis entradas de água, sendo a primeira situada entre 158,0 m e 170,0 m de profundidade (6,39 m³/h) e a segunda localizada entre 78,0 m e 88,6 m (7,14 m³/h). Os perfis de vazão e os dados de temperatura e condutividade elétrica destacam nos poços W255, W256 e W1204 que as fraturas com possível atividade hidráulica têm as seguintes atitudes: paralelas à foliação; N40-60E com mergulhos entre 30° e 70° para NW; N0-10W com mergulhos entre 30° e 70° para NE; e N80-90W com mergulhos superiores a 70° para NE.

O presente trabalho articula-se como um dos primeiros passos do estudo hidrogeológico que está sendo desenvolvido pelo projeto GESOL - Bases técnicas para a gestão de áreas contaminadas por solventes clorados em aquíferos fraturados (processo FINEP 1824/10). Os resultados aqui apresentados serão complementados com futuros ensaios hidráulicos utilizando obturadores pneumáticos e investigações geofísicas complementares.

Palavras-chave: perfilagens geofísicas de poços, aquíferos fraturados, canal Jurubatuba.

ABSTRACT

A borehole-geophysical investigation was conducted in five (05) deep bedrock wells to help characterize the hydrogeology of the fractured-rock aquifer, concerning structural data and groundwater flow. The area is located at the region of Jurubatuba Canal, São Paulo-SP, which is considered by CETESB one of the most important contaminated sites in that city. It is expected that this kind of study may help to identify transmissive zones and pathways that can regulate contaminant transport.

The rock type, foliation, and fractures were located and characterized from optical-televiewer (OTV) imaging of the borehole wall. Geophysical-logging methods applied to structural and hydraulic characterization included caliper, fluid temperature and electrical conductivity, and heat-pulse flowmeter logging. Also, gamma logs were applied to characterize a sedimentary aquifer that lies on the bedrock. A data-base was organized and well profiles were drawn using WellCAD software.

Foliation in the rocks generally strikes to the NNE-SSW and dips 10° - 75° to NW and SE. However, the orientation of foliation and small-scale gneissic layering in the rocks varies locally and with depth in some of the boreholes. Fractures can be divided in four main groups, according to their strike: (i) NNE-SSW, mainly parallel to foliation; (ii) N30-50E with dips $>30^{\circ}$ to NW and SE; (iii) N0-20W with many different dips to NE and SW; and (iv) N80-90W with dips $>50^{\circ}$ to NE and SW, crossing-out fractures from other groups with 10cm apparent offset. Also, caliper logs indicate borehole breakout zones where fractures from different groups cross-out.

Ambient upflow was measured in two boreholes with flowmeter testing. Although it is quite correlated in most depths here described, results show that some zones presenting relatively high flow measurements are not related to important borehole breakout zones. Hence, OTV images were submitted to structural classification concerning fracture opening so that possible transmissive zones could be highlighted. Borehole W255 shows two different zones associated to high vertical flow: (a) 158.0-170.0m deep (28.14 gal/min) and (b) 78.0-88.6m deep (31.44 gal/min). Boreholes W255, W256 and W1204 show possible transmissive fractures with strikes: parallel to foliation; N40-60E with dips ranging from 30° to 70° to NW; N0-10W with dips ranging from 30° to 70° to NE; and N80-90W with dips $>70^{\circ}$ to NE.

This work interacts with a bigger project named GESOL which looks forward to apply high resolution borehole profiling methods to characterize the crystalline bedrock aquifer in Jurubatuba region, São Paulo-SP. All the results here presented will be complemented with further investigations using packer tests, acoustic-televiewer logs and high resolution temperature logs.

Keywords: borehole geophysical logging, fractured rock aquifer, Jurubatuba Canal.

SUMÁRIO

RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	3
4. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL	6
5. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO	10
6. APLICAÇÃO DE PERFILAGENS GEOFÍSICAS EM HIDROGEOLOGIA.....	13
6.1. Perfilagem de irradiação gama natural	14
6.2. Perfilagem de calibre de poço	15
6.3. Imageamentos acústico e ótico	15
6.4. Levantamento de dados de fluxo de água subterrânea	18
6.5. Perfilagem de temperatura e condutividade da água	20
7. MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
7.1. Perfilagens de irradiação gama natural e de calibre de poço	21
7.2. Imageamento ótico	25
7.3. Perfilagens de fluxo de água	26
7.4. Perfilagens de temperatura e condutividade elétrica	26
7.5. Tratamento de dados	26
8. PERFIS GEOFÍSICOS.....	30
8.1. Poço W255	32
8.2. Poço W256	33
8.3. Poço W1204	34
8.4. Poço W1346	36
8.5. Poço W1401	37
9. INTEGRAÇÃO DOS DADOS ESTRUTURAIS.....	37
10. CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E ESTUDOS FUTUROS	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ANEXOS	
I. Perfis construtivos dos poços	47
II. Perfis geofísicos 1:1000	53
III. Imagens OTV	64
IV. Dados estruturais	101
V. Desvio dos poços	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo.....	2
Figura 2. Distribuição das grandes unidades litoestratigráficas na RMSP.....	4
Figura 3. Relações entre a litoestratigrafia e a tectônica na Bacia de São Paulo.....	5
Figura 4. Mapas de lineamentos.....	7
Figura 5. Mapa geológico do entorno da área de estudo.....	8
Figura 6. Geologia da área de estudo.....	9
Figura 7. Modelo hidrogeológico conceitual.....	12
Figura 8. Passo a passo da metodologia <i>Discrete Fracture Network</i> – DFN.....	13
Figura 9. Demonstração da projeção plana da intersecção de um plano com um poço.....	16
Figura 10. Mecanismo de funcionamento da sonda OTV.....	17
Figura 11. Gráfico apresentado pelo software de aquisição de dados de fluxo d’água...	19
Figura 12. Gráfico de conversão do tempo de leitura em fluxo.....	19
Figura 13. Modelo de interpretação de dados de T e CE.....	20
Figura 14. Localização dos poços DAEE na área de estudo.....	22
Figura 15. Registro fotográfico das sondas e equipamentos utilizados em campo.....	23
Figura 16. Arranjo dos equipamentos utilizados para a execução das perfilagens.....	25
Figura 17. Histograma para identificação de grupos de fraturas.....	29
Figura 18. Exemplos de imagens OTV obtidas nos poços W256 e W1204.....	30
Figura 19. Dados estruturais obtidos a partir de perfis OTV nos poços W255, W256, W1204 e W1346.....	39
Figura 20. Distribuição das fraturas observadas nos poços W255, W256, W1204 e W1346 conforme o mergulho (<i>dip</i>) e a profundidade relativa à cota topográfica.....	40
Figura 21. Mapa das estruturas observadas nos poços W255, W256, W1204 e W1346.....	41
Figura 22. Principais zonas de interesse para realização de ensaios hidráulicos com obturadores pneumáticos.....	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Conteúdos isotópicos de minerais e rochas.....	15
Tabela 2. Sumário descritivo dos poços perfilados.....	24
Tabela 3. Classificação de fraturas observadas em imagens OTV.....	28

Fatores de conversão:

Multiplicar	Por	Para obter
Polegada (pol; “), <i>inch</i> (in)	25,4	Milímetro (mm)
Pés ('), <i>feet</i> (ft)	0,3048	Metro (m)
Galão (gal), <i>gallon</i>	0,003785	Metro cúbico (m ³)

Abreviações:

°, grau

C, celsius

CE, condutividade elétrica da água

CPS, *counts per second*, contagens por segundo

m, metro

min, minuto

s, segundo

T, temperatura da água

μS/cm, microsiemen por centímetro

1. INTRODUÇÃO

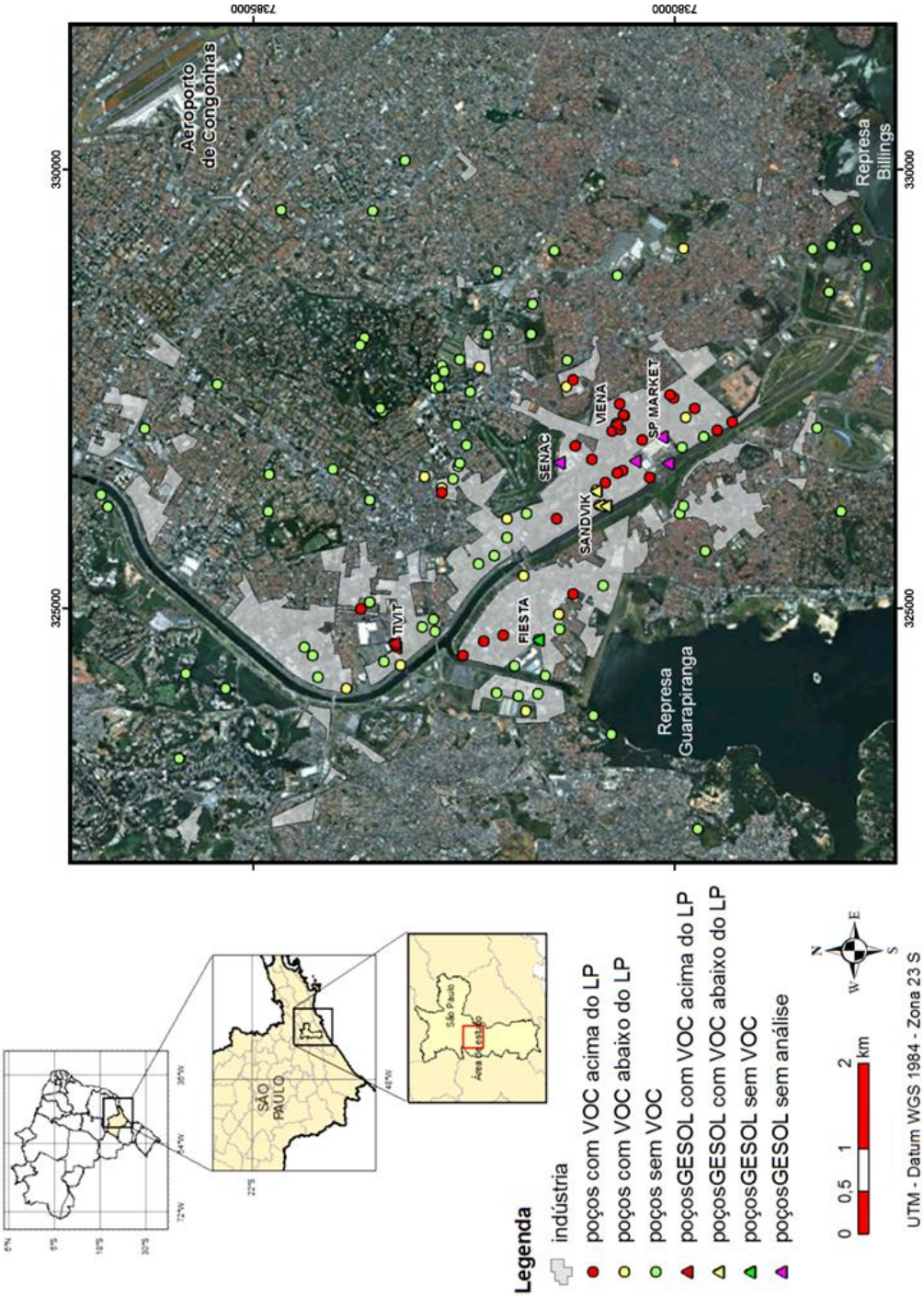
Recentemente, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, o Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE e a Coordenação de Vigilância em Saúde – COVISA intensificaram as investigações ambientais na região do canal Jurubatuba. A área é notavelmente populosa e industrializada, e devido ao seu crescimento urbano dezenas de poços tubulares profundos abastecem a região com as águas do Aquífero Cristalino. A preocupação das referidas agências em relação à área se deve à detecção de elevadas concentrações de compostos etenoclorados nas amostras de água coletadas nos poços tubulares profundos, o que representa um risco à saúde da população local abastecida por água subterrânea. Estudos desenvolvidos na região identificaram a presença desses contaminantes em 28 poços profundos em concentrações acima dos Valores Orientadores de Intervenção da CETESB (L'Apicciarella 2009). A área foi classificada como uma das áreas contaminadas críticas pela CETESB e a contaminação foi atribuída principalmente às atividades das indústrias que se instalaram na região há aproximadamente três décadas (DAEE & IG 2009) (**Fig. 1**).

Apesar do aumento das ocorrências de casos de contaminação em São Paulo-SP, poucos estudos caracterizam áreas contaminadas em meios heterogêneos como os aquíferos fraturados. Nesses aquíferos, o principal desafio é compreender o fluxo da água e de contaminantes associado a fraturas e a outras descontinuidades litológicas. Destaca-se o trabalho de Fernandes *et al.* (2011) que realizaram investigações de detalhe no Sistema Aquífero Serra Geral, e os trabalhos de Pehme *et al.* (2010) e Wahnfried (2010) que correlacionam dados de fluxo de água subterrânea com perfilações geofísicas para a identificação de fraturas hidráulicamente ativas.

A caracterização da hidrogeologia de aquíferos fraturados é realizada através de uma ampla diversidade de métodos como: geofísica de superfície, geofísica de poço, sondagens e investigações diretas, instalação de poços de monitoramento, amostragem de água e solo, ensaios hidráulicos com obturadores pneumáticos e instalação de *liners* flexíveis (Shapiro *et al.* 1999). Os métodos empregados no presente estudo incluíram perfilações: ótica, irradiação gama natural, calibre de poço, condutividade elétrica (CE) e temperatura (T) da água, além de medições de fluxo d'água utilizando a sonda *Heatpulse Flowmeter*.

A grande complexidade na previsão de fluxos em meios fraturados e a grande toxicidade e mobilidade dos contaminantes em questão caracterizam um dos grandes desafios ao estudo hidrogeológico que está sendo desenvolvido pelo projeto GESOL - Bases técnicas para a gestão de áreas contaminadas por solventes clorados em aquíferos fraturados (processo FINEP 1824/10), no qual este trabalho está inserido.

Figura 1 – Localização da área de estudo. Situada na região centro-sul do município de São Paulo, o acesso principal é realizado pela Av. das Nações Unidas (Marginal Pinheiros) com ligações a diversas rodovias estaduais. Destaque para os poços da região cujas análises químicas de água identificaram a presença de compostos orgânicos voláteis (VOC) em concentrações acima e abaixo do limite permitido (LP) pela CETESB (extraído de Fiume, em preparação).



2. OBJETIVOS

O presente projeto visa à identificação e caracterização das fraturas existentes em cinco poços tubulares profundos instalados na região do canal do Jurubatuba, que potencialmente estejam participando do transporte de contaminantes dissolvidos na água subterrânea. Para tanto, duas etapas foram realizadas:

- Caracterização da atitude das estruturas observáveis em quatro dos cinco poços;
- Identificação do fluxo da água subterrânea próximo às fraturas identificadas em dois dos cinco poços selecionados, quantificando a vazão e o sentido do fluxo (ascendente ou descendente).

3. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A região do canal Jurubatuba se insere no contexto da Bacia de São Paulo, de idade Cenozóica, e de seu embasamento Pré-Cambriano (**Fig. 2**). A área situa-se no contexto geotectônico do Cinturão Ribeira definido por Almeida *et al.* (1973), onde predomina uma rede de faixas móveis de direção preferencial NE-SW.

O embasamento Pré-Cambriano na região de estudo apresenta uma porção de idade Paleoproterozóica de grau metamórfico alto, representada pelos ortognaisses e migmatitos do Complexo Paraíba do Sul, denominado como Complexo Rio Capivari por Fernandes (1991) na porção a sudeste da Bacia de Taubaté; e uma porção Meso a Neoproterozóica de grau metamórfico médio a baixo representada por unidades metassedimentares correspondentes ao Complexo Embu, interpretadas como coberturas terrígenas plataformais metamorfisadas (Juliani 1992).

O termo Complexo Embu foi originalmente proposto por Hasui (1975) na porção sudeste do Estado de São Paulo e utilizado na subdivisão do Grupo Açungui (Hasui & Sadowski 1976). Fernandes (1991) compartimentou o Complexo Embu em três unidades de rochas supracrustais: Redenção da Serra, onde predominam gnaisses peraluminosos e (\pm granada)-biotita-plagioclásio gnaisses; Rio Paraíba, com quartzitos e rochas calciossilicáticas; e Rio Una, constituída por xistos, quartzo-xistos e quartzitos intercalados.

Rochas granitóides discordantes ao Complexo Embu foram caracterizadas por Hasui *et al.* (1978) em duas suítes principais: intrusões magmáticas sin-tectônicas e pós-tectônicas. No estado de São Paulo predomina uma suíte granítica sintectônica que possui foliação concordante ao *trend* regional e ocorre como grandes batólitos ou *stocks* (Hasui *et al.* 1978).

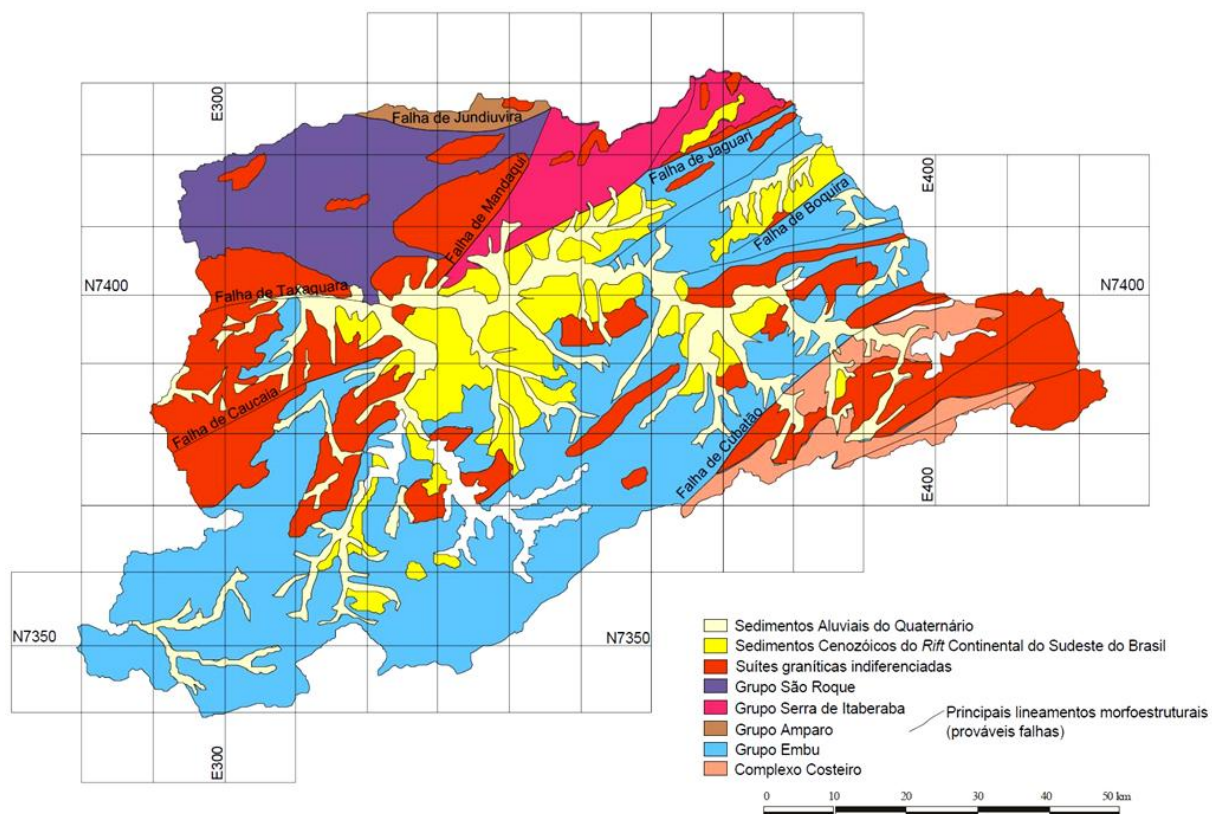


Figura 2. Distribuição das grandes unidades litoestratigráficas na Região Metropolitana de São Paulo (adaptado de Rodrigues 1997).

Zonas de cisalhamento de direção NE-SW se estendem por dezenas de quilômetros desde o Vale do Ribeira até a região de Resende-RJ e caracterizam-se por serem transcorrentes com componente transpressivo dextral, subverticais e profundas, configurando o *trend* estrutural da região (Hasui *et al.* 1981, Trouw *et al.* 2000). Tais zonas apresentam faixas miloníticas nas porções de maior deformação que podem gradar para protomilonitos ou para ultramilonitos (Hasui *et al.* 1981). Perrotta *et al.* (2005) delimitam o domínio tectônico do Terreno Embu pelas zonas de cisalhamento Caucaia, a norte, e Cubatão, a sul.

Pelo menos dois processos de reativação com caráter predominantemente distensivos afetaram as zonas de cisalhamento, possibilitando a formação de bacias sedimentares. O primeiro datado pelo magmatismo básico e alcalino do Jurássico Superior (Almeida 1967), que evoluíram sucessivamente para a ruptura continental e abertura do Atlântico Sul, e o segundo durante o Cenozóico, associado à evolução da Bacia de São Paulo (Riccomini 1989).

Segundo Riccomini & Coimbra (1992), a Bacia de São Paulo corresponde a um semi-graben basculado para NNW, limitado a noroeste pelas zonas de cisalhamento de Taxaquara e Rio Jaguari que se estendem na direção NE-SW. É constituída, da base para o topo, por: arenitos e arenitos conglomeráticos de leques aluviais da Formação Resende; folhelhos

escuras lacustres da Formação Tremembé e arenitos fluviais da Formação São Paulo, pertencentes ao Grupo Taubaté, do Paleógeno. Tais unidades são recobertas pelos sedimentos fluviais da Formação Itaquaquecetuba, do Neógeno (Riccomini 1989). Essas quatro formações estão em parte encobertas por sedimentos colúvio-aluvionares do Quaternário (Riccomini & Coimbra 1992) (**Fig. 3**).

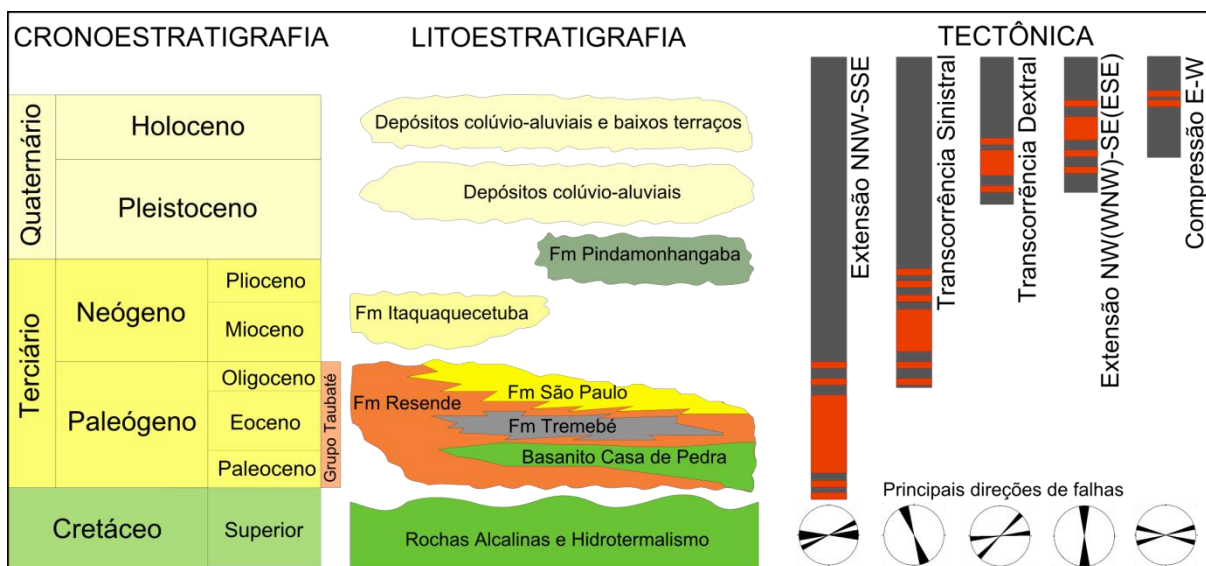


Figura 3. Relações entre a litoestratigrafia e a tectônica na Bacia de São Paulo. Destaque para a as principais falhas presentes na Bacia de São Paulo associadas à evolução do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (modificado de Riccomini & Coimbra 1992).

Conforme proposto por Riccomini (1989), a origem do graben estaria associada a esforços extensionais de direção NNW-SSE ocorridos entre o Eoceno e o Oligoceno, correspondendo às fases iniciais da evolução do denominado *Rift* Continental do Sudeste do Brasil – RCSB, correspondente ao Sistema de *Rifts* Continentais da Serra do Mar proposto por Almeida (1976). Mais recentemente, Zalán & Oliveira (2005) propuseram que os grabens do sudeste do Brasil estariam relacionados a uma série de colapsos gravitacionais iniciados ainda no Paleoceno, com clímax no Mesoceno e extensão até o Eomioceno. De acordo com Riccomini (1989), a Bacia de São Paulo teria sofrido uma série de eventos rúpteis posteriores, datados do Plioceno ao Holoceno. Como produtos de todos esses eventos, Riccomini (1989) caracteriza uma série de famílias de fraturas:

- Falhas ENE a E-W: são condicionadas pela direção das zonas de cisalhamento pré-cambrianas e constituem o limite da borda norte da Bacia de São Paulo. Sincrônicas ao início da deposição dos sedimentos representados pelas unidades

do Grupo Taubaté entre o Eoceno-Oligoceno, as falhas apresentam deslocamentos normais e reativações com deslocamentos reversos e transcorrentes dextrais e sinistrais. São truncadas por falhas de outros sistemas.

- Falhas NNE: são raras na Bacia de São Paulo e apresentam movimentos normais e reversos.
- Falhas NNW: apresentam predomínio de movimentação normal ou transcorrência sinistral, com importante controle associado ao alto estrutural entre a Bacia de São Paulo e a Bacia de Taubaté (Soleira de Arujá), evento datado do Neógeno, possivelmente ocorrido durante o Mioceno.
- Falhas WNW: com ocorrência limitada na Bacia de São Paulo, normalmente apresentam caráter normal.

A análise morfoestrutural realizada por Salvador & Riccomini (1995) na região do Alto Estrutural de Queluz permitiu o reconhecimento de três fases de movimentações neotectônicas. As estruturas relacionadas à fase pleistocênica são evidenciadas por falhas de direções preferenciais NE a ENE. Posteriormente, durante o Holoceno, os esforços passaram a ser extensionais, gerando feições marcantes no relevo como grabens de direção N-S. Os autores sugerem que a última das três fases, do Holoceno, gerou juntas conjugadas de direções ENE e WNW, afetando depósitos coluviais, colúvio-aluviais e aluviais, produzidas por esforços compressivos de direção E-W.

Um mapa de lineamentos recentemente elaborado por Fiume (em preparação) limitado ao *trend* estrutural do Terreno Embu mostra que as direções NW-SE, N-S e E-W são as mais frequentes na região (**Fig. 4**).

4. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

Segundo o mapa de Coutinho (1980), o embasamento da Bacia de São Paulo é constituído por rochas granitóides foliadas, xistos, quartzitos, anfibolitos e granitos sin e pós-tectônicos, que quando adjacentes às zonas de movimentação tectônica intensa, encontram-se cisalhados até gnaisses miloníticos e blastomiloníticos (**Fig. 5 e 6**). A foliação apresenta direção predominante NNE e encontra-se dobrada próximo à Represa Billings, conforme indicado por Coutinho (1980) e averiguado em campo por Fiume e Fernandes (informação verbal). Na região entre o canal e a represa Guarapiranga predominam micaxistos e/ou quartzitos de médio grau metamórfico localmente milonitizados, com ocorrência local de *stocks* de granitos e granodioritos equigranulares ou porfíricos.

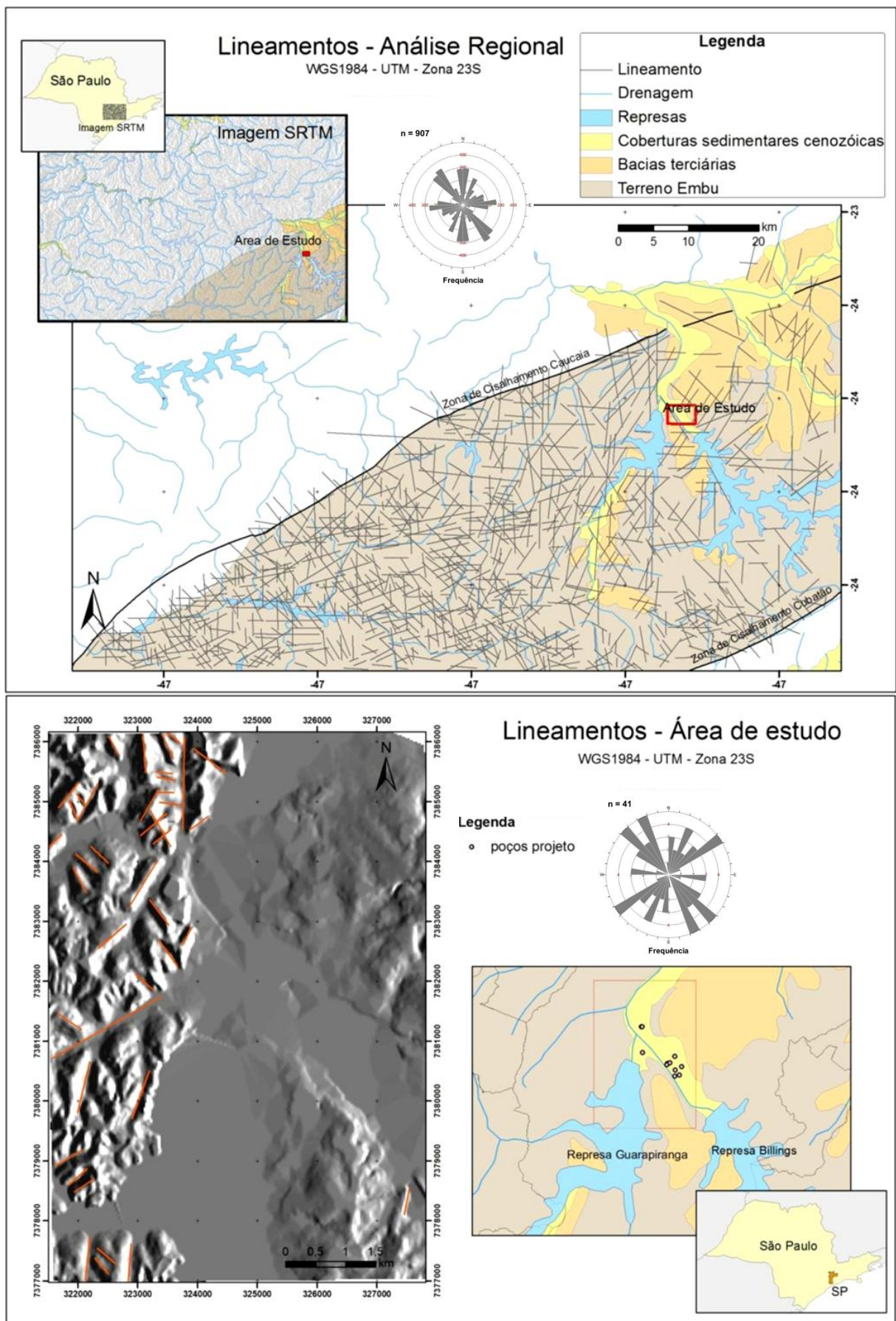
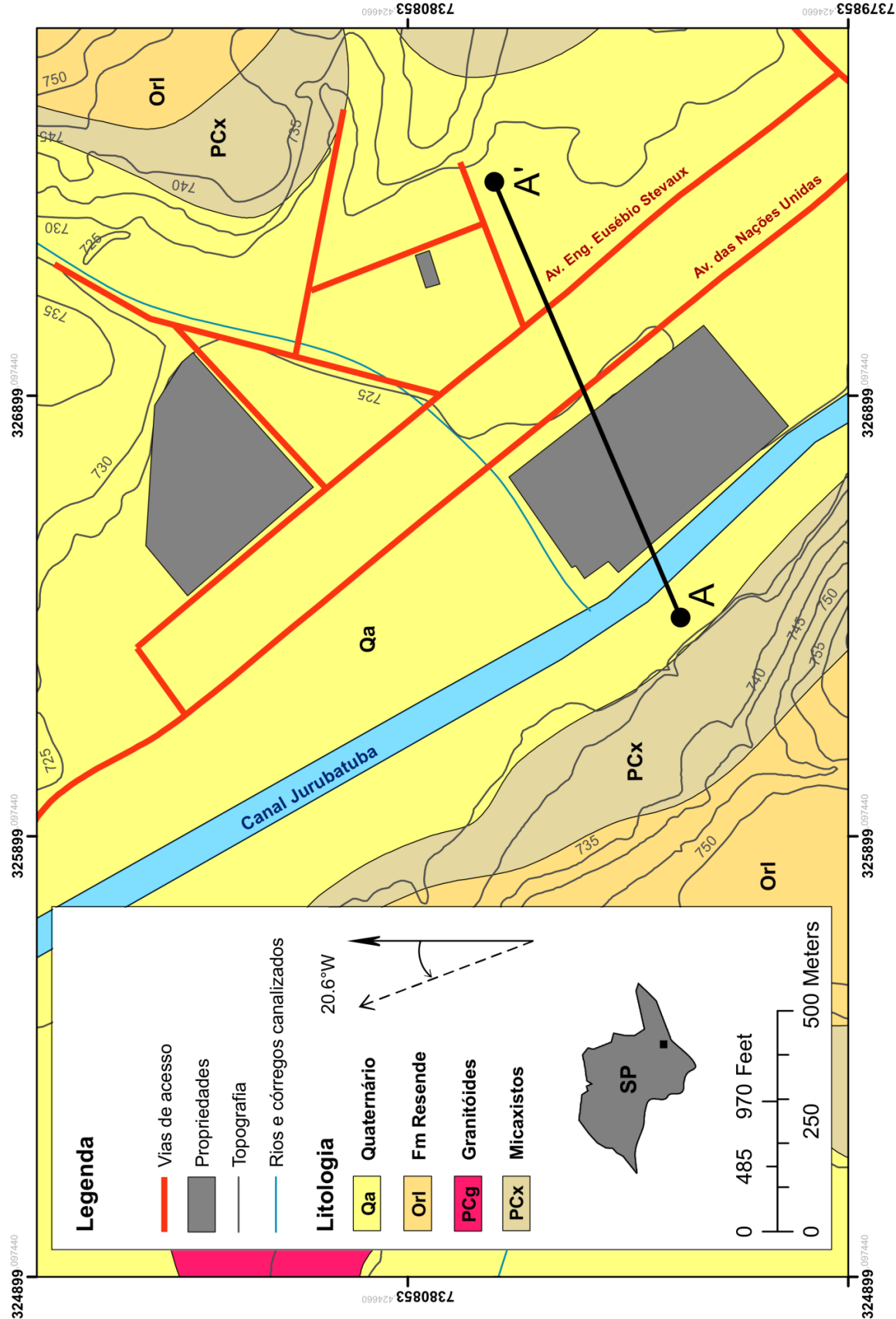


Figura 4. Mapas de lineamentos. Mapas em escala regional e em escala local para o estudo do aquífero fraturado na região do canal Jurubatuba (extraído de Fiume, em preparação).

Figura 6 – Geologia da área de estudo. Traçado aproximado da localização do perfil correspondente ao modelo hidrogeológico conceitual adotado no presente trabalho.



Nas porções oeste e noroeste, predominam os micaxistos e granitóides foliados, os quais ocorrem intercalados e com direção NE-SW. A leste e a nordeste do canal ocorrem extensamente as rochas sedimentares da Formação Resende, representada por argilas, areias, cascalhos e depósitos elúvio-colúviais correlatos. Uma unidade quaternária encerra a estratigrafia da área com aluviões compostos por argila, areia e cascalho.

Seções geológicas de detalhe elaboradas por L'Apicciarella (2009) informam que alguns poços tubulares da região atravessam dezenas de metros das unidades sedimentares, enquanto que outros inserem-se apenas entre os litotipos pertencentes ao embasamento.

O mapa elaborado por Fiume (em preparação) para a área de estudo mostra 41 lineamentos que indicam predominantemente as direções NW-SE, NE-SW e NNE-SSW (**Fig. 4**).

5. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

A área de estudo situa-se na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, constituída por dois sistemas aquíferos: Sedimentar, de porosidade primária; e Cristalino, de porosidade secundária.

O Sistema Aquífero Sedimentar – SAS é constituído pelas rochas sedimentares da Bacia de São Paulo, pelos sedimentos quaternários provenientes das planícies do Rio Tietê e de seus afluentes (L'Apicciarella 2009). Sua espessura é bastante variável, com média de 100 m de profundidade, passando de 250 m em algumas regiões. É um aquífero livre, o que, por um lado, possibilita sua recarga através da água de chuvas e, por outro, a infiltração de contaminantes provenientes das atividades da Região Metropolitana de São Paulo. Sua produtividade é considerada média a baixa quando comparada aos outros aquíferos sedimentares do Estado, com valores de vazões entre 10 e 40 m³/h (Campos & Albuquerque Filho 2005).

A Bacia de São Paulo apresenta unidades sedimentares representadas por lamitos e sedimentos arenosos finos a grossos intercalados em camadas de diferentes espessuras que são descontínuas horizontal e verticalmente. Nesse sentido, o SAS é predominantemente semiconfinado, heterogêneo e anisotrópico, favorecendo a ocorrência de aquíferos locais (arenitos) com variados graus de conexão hidráulica entre si, onde a água subterrânea se encontra sob diferentes cargas hidráulicas (Bertolo 1996).

O Sistema Aquífero Cristalino – SAC é composto basicamente pelas rochas ígneas e metamórficas que constituem o embasamento da Bacia de São Paulo. A matriz dessas rochas apresentam porosidade primária muito baixa e porosidade secundária significativamente alta. Conforme Fernandes *et al.* (2005), a área apresenta predomínio de vazões exploráveis entre 1,0 e 12,0 m³/h. Segundo os dados estruturais obtidos por

L'Apicciarella (2009) nos trechos mais superficiais de cada poço há um predomínio de fraturas de baixo ângulo de mergulho e paralelas à xistosidade. No trecho inferior, também ocorrem fraturas com mergulhos intermediários (45° a 65°) a elevados (60° a 90°). A porção alterada do SAC, além de sua porosidade granular, preserva, em maior ou menor grau, a estrutura da rocha, podendo aumentar a sua permeabilidade e também favorecer sua recarga.

Conforme a descrição local de L'Apicciarella (2009), a estratigrafia da área de interesse pode ser segmentada em quatro meios com diferentes características hidráulicas (do topo a base): o meio sedimentar, representado pelas unidades pertencentes à Formação Resende e pelos sedimentos quaternários nas proximidades do canal Jurubatuba, que juntos apresentam condutividade hidráulica na ordem de $K = 10^{-4}$ cm/s; a rocha alterada, em contato erosivo com a unidade sobreposta e apresentando condutividade hidráulica na ordem de $K = 10^{-3}$ cm/s; a rocha cristalina fraturada, imediatamente abaixo; e a rocha cristalina sã e pouco fraturada, na base, que ocorreria a partir da cota 400 m. Sobre o último segmento, considera-se aqui que não há informações suficientes para estabelecer um limite (400 m) entre rocha sã mais e menos fraturada e, por este motivo, o modelo geológico conceitual do presente trabalho é composto apenas pelo três primeiros segmentos (**Fig. 7**).

Conceitualmente, a maior parte da área exibe condições de recarga do aquífero superficial, por infiltração de águas pluviais e perdas da rede pública. Estima-se que a descarga dos fluxos de água dos vários níveis aquíferos siga em direção às drenagens principais: rio Pinheiros e canal Jurubatuba (L'Apicciarella 2009).

Considerando a existência de dezenas de poços na região, dois cenários podem caracterizar o regime de fluxo da água subterrânea. Antes da interdição dos poços em 2005, o bombeamento intensivo possivelmente interferiu significativamente nos processos de difusão e dispersão dos contaminantes, criando rotas preferenciais de fluxo que podem ter conduzido os contaminantes para profundidades mais elevadas. Depois da interdição dos poços, admite-se que a notável recuperação do nível d'água nos poços tubulares desde 2005 indique fluxos no sentido do canal Jurubatuba, no entanto, os próprios poços podem ter passado a servir de conexão entre fraturas que, do contrário, não estariam conectadas.

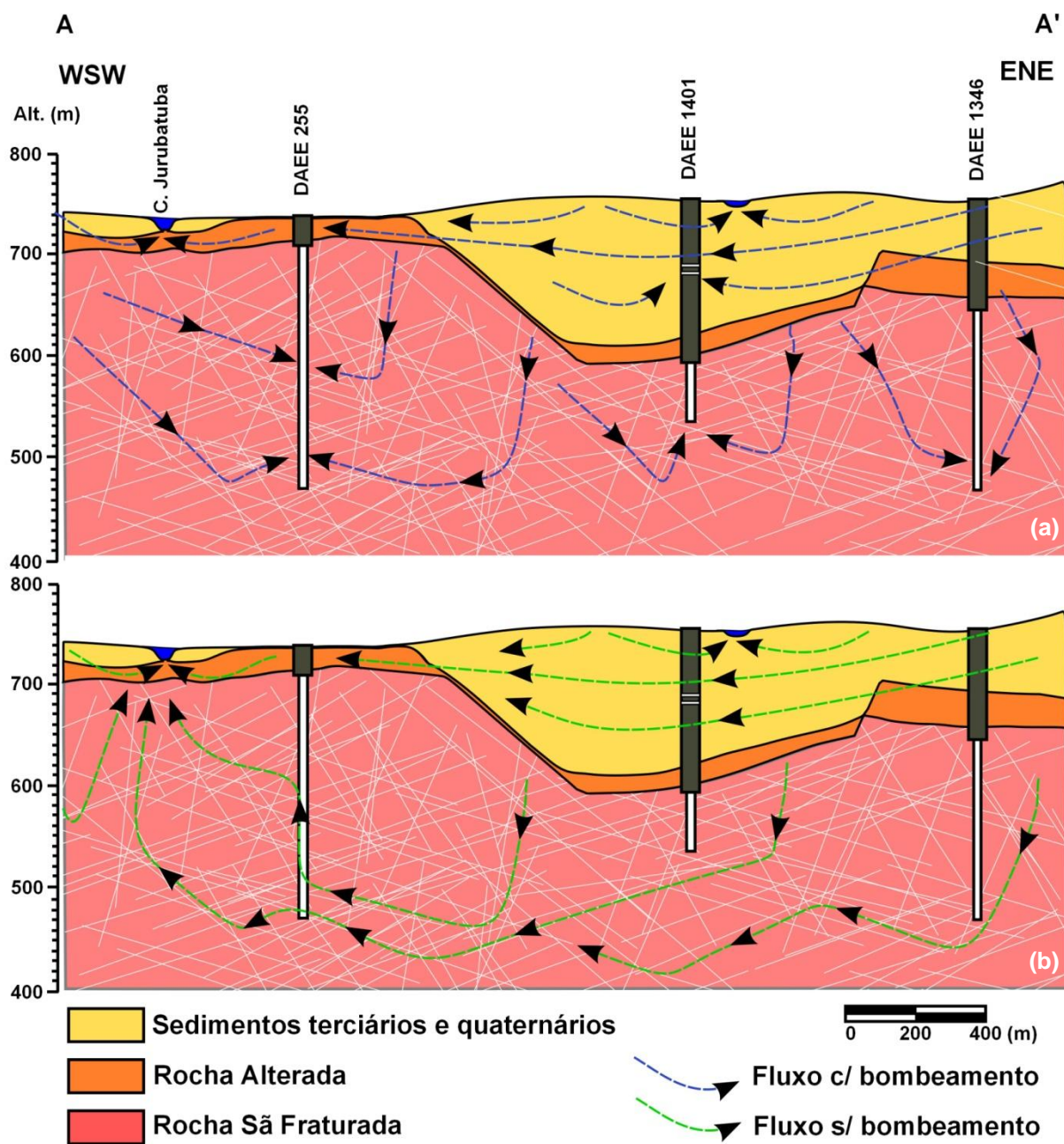


Figura 7. Modelo hidrogeológico conceitual. Duas condições de bombeamento geram redes de fluxos diferentes e complexas. (a) A grande quantidade de poços tubulares profundos na região pode ser responsável pela criação de rotas preferenciais de fluxo que podem ter levado os contaminantes para profundidades mais elevadas. (b) Sem a atividade de bombeamento, após a interdição dos poços, os aquíferos sedimentar e cristalino tendem a recuperar suas condições naturais, entretanto a existência dos poços pode gerar a conexão de sistemas de fraturas (através dos próprios poços) que naturalmente não estariam conectados.

6. APLICAÇÃO DE PERFILAGENS GEOFÍSICAS EM HIDROGEOLOGIA

O emprego conjunto de diferentes técnicas de perfilagem de poço permite a identificação das fraturas hidráulicamente mais condutivas, conforme tem sido demonstrado em diversos estudos, p.ex: Paillet & Ollila, 1994; Barton *et al.*, 1995; Paillet, 1995; Morin *et al.* 1997, 2000; Johnson *et al.*, 2002 e Wanhfried, 2010. Johnson *et al.* (2002) utilizaram uma ampla diversidade de métodos para a caracterização hidrogeológica de um aquífero fraturado em Connecticut, destacando desde métodos convencionais, tais como perfis de calibre do poço, irradiação gama natural da formação, perfis de indução eletromagnética, temperatura e condutividade da água, até métodos mais sofisticados como o perfil de desvio do poço em relação à vertical, imageamentos ótico e acústico, perfilagem de reflexão de radar direcionado, além de perfilagem de velocidade de fluxo vertical da água ao longo do poço tanto em condições naturais como sob condições de bombeamento de baixa vazão.

Em 1996, um programa de pesquisa focado na compreensão do comportamento de contaminantes em rochas sedimentares fraturadas teve início na Universidade de Waterloo e na Universidade de Guelph (Parker 2011). Desde então, diversas técnicas de investigação tem sido empregadas de modo que sua aplicação em conjunto é hoje conhecida como *Discrete Fracture Network Approach* – DFN (**Fig. 8**).

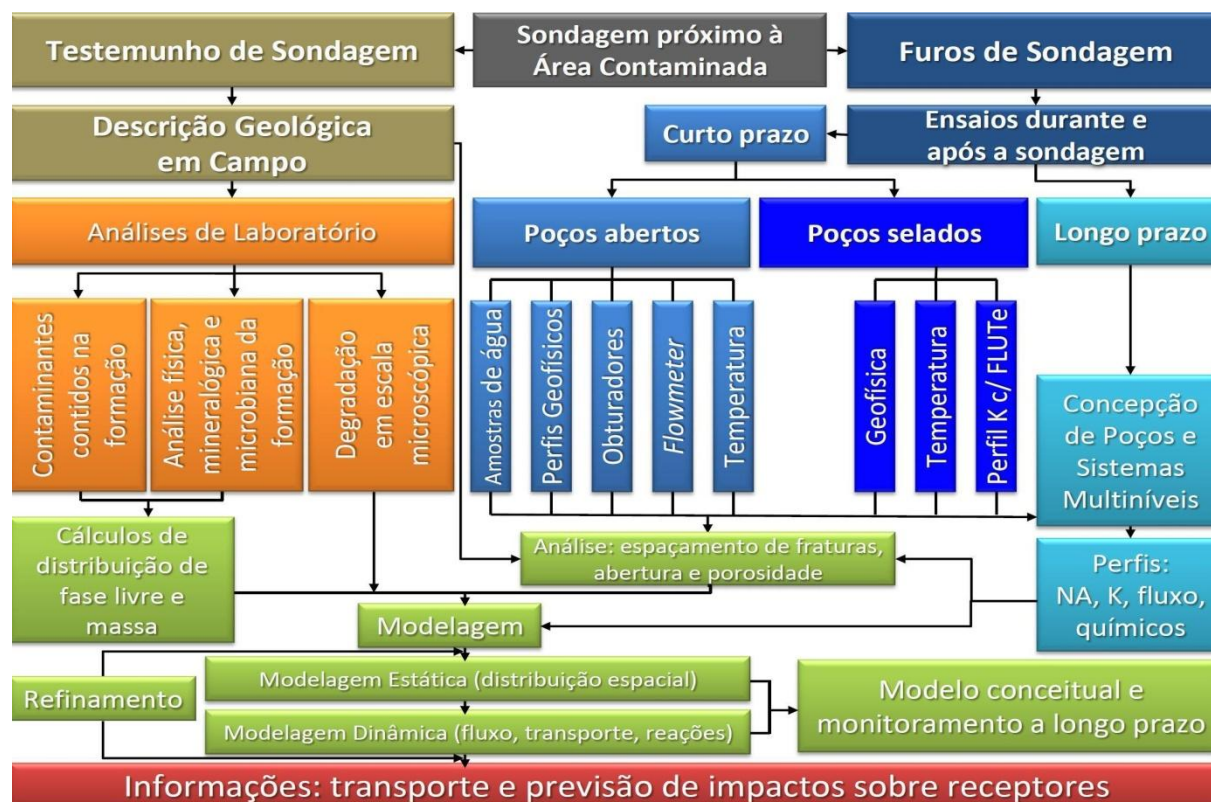


Figura 8. Passo a passo da metodologia *Discrete Fracture Network* – DFN. As perfilagens geofísicas em poços abertos contextualizam-se como apenas um dentre vários métodos disponíveis para identificar o fluxo da água subterrânea no meio fraturado (adaptado de Parker 2011).

Os modelos conceituais construídos a partir do DFN são frutos da combinação de dados de campo, laboratório e modelagem numérica. Em aquíferos fraturados, principalmente relacionados a processos de contaminação associados à DNAPLs (*Dense Non-Aqueous Phase Liquid* – fase líquida mais densa do que a água), o DFN adota modelos de transporte de contaminantes que consideram, além do processo de advecção associado ao fluxo através de fraturas, que a influência do fenômeno da difusão dos contaminantes na matriz rochosa controla significativamente a concentração dos contaminantes no aquífero.

Em estudos convencionais, as perfilagens com *flowmeters* são utilizadas para identificar profundidades no poço onde há fraturas hidráulicamente ativas e ignoram o processo de difusão. De maneira diferenciada, o DFN emprega as perfilagens geofísicas objetivando fundamentalmente a identificação de descontinuidades na rocha para a elaboração de um modelo tridimensional da porosidade secundária, dando mais importância aos imageamentos ótico e acústico e menos importância às informações de fluxo vertical de água no poço. Adicionalmente, estudos como o de Coleman *et al.* (2011) mostram que perfis de temperatura de alta resolução em poços selados com *liners* podem gerar dados sobre a atividade hidráulica das fraturas com maior precisão do que os obtidos com *flowmeters*.

Os futuros trabalhos relacionados ao projeto GESOL serão complementados com o emprego da metodologia DFN, de modo que o presente trabalho articula-se como parte dos passos iniciais dessa metodologia.

6.1. Perfilagem de irradiação gama natural

A perfilagem de irradiação gama é realizada à medida que um detector Geiger-Mueller (cintilômetros) percorre toda a extensão do poço, identificando a energia liberada pelo núcleo de um átomo para sua estabilização após a emissão de uma partícula α ou β . A irradiação gama naturalmente emitida pelas formações seccionadas pelo poço é convertida em pulsos elétricos de modo que o sistema mede o número de decaimentos por unidade de tempo (contagem por segundo – CPS). A resolução das leituras é tal que possibilita a diferenciação composicional das unidades estratigráficas bem como os materiais que eventualmente preenchem fraturas e descontinuidades em maciços cristalinos.

Os isótopos radioativos mais comuns são: ^{40}K , ^{235}U , ^{238}U e ^{232}Th (Guerra 2010, Johnson *et al.* 2002) e estão presentes tipicamente em micas, feldspatos e argilominerais (**Tab. 1**). A perfilagem de raios gama é amplamente utilizada na identificação de litologias e principalmente na distinção de pelitos (>gama) e psamitos (<gama). Em poços revestidos, a intensidade da irradiação diminui cerca de 30%, mas ainda é possível a identificação das variações litológicas.

Tabela 1. Conteúdos isotópicos de minerais e rochas (adaptado de Telford *et al.* 1990).

Isótopo	Mineral	Ocorrência
^{40}K	Ortoclásio e feldspatos	Rochas ígneas e metamórficas félsicas e pegmatitos
	Muscovita	Rochas ígneas e metamórficas félsicas e pegmatitos
	Alunita	Alteração de rochas ígneas e metamórficas félsicas
	Silvita, Carnalita	Sedimentos em depósitos salinos
^{232}Th	Monazita	Granitos, pegmatitos e gnaisses
	Torianita	Granitos, pegmatitos e depósitos tipo <i>placers</i>
	Torita, Uranotorita	Granitos, pegmatitos e depósitos tipo <i>placers</i>
$^{235/238}\text{U}$	Uraninita	Granitos, pegmatitos e depósitos venulares
	Carnotita	Arenitos
	Gumita	Alteração da uraninita

6.2. Perfilagem de calibre de poço

O perfilador de calibre, ou *caliper*, consiste num conjunto dotado de três hastes que pressionam radialmente a parede do poço conforme o equipamento ascende à superfície. As variações da morfologia e rugosidade do poço são registradas à medida que esses braços se movimentam. As variações no diâmetro do poço podem ocorrer em função de diversos motivos, como: presença de litologias com resistências mecânicas distintas; presença de fratura ou zona de fraturas; ou ainda má execução técnica da perfuração, gerando rugosidades e deformações artificiais.

Perfis de calibre de poço também podem ser obtidos a partir de métodos acústicos. Os dados de tempo de trânsito da onda acústica refletida podem ser utilizados para desenhar um perfil de rugosidade do poço em qualquer direção desejada (*caliper* acústico). Os perfis obtidos permitem ainda inferir sobre o ovalamento do poço causado pelo campo de esforços atuais (o raio menor da elipse é paralelo ao SH_{max}).

6.3. Imageamentos acústico e ótico

Perfis acústicos (*Acoustic Televiewer* - ATV) e óticos (*Optical Televiewer* – OTV) possibilitam a obtenção de imagens contínuas, orientadas e planas da superfície interna do poço perfilado (Williams & Johnson 2004). As sondas contêm um sistema de orientação constituído por um acelerômetro e um magnetômetro triaxiais, de modo que as imagens geradas permitem medir a direção e mergulho verdadeiros das estruturas observáveis (**Fig. 9**). A correção de azimuth devido à declinação magnética pode ser feita nos softwares dedicados à sonda (*RGLDip*, da Robertson Geollogging Limited, ou *WellCAD*, da Advanced Logic Technology).

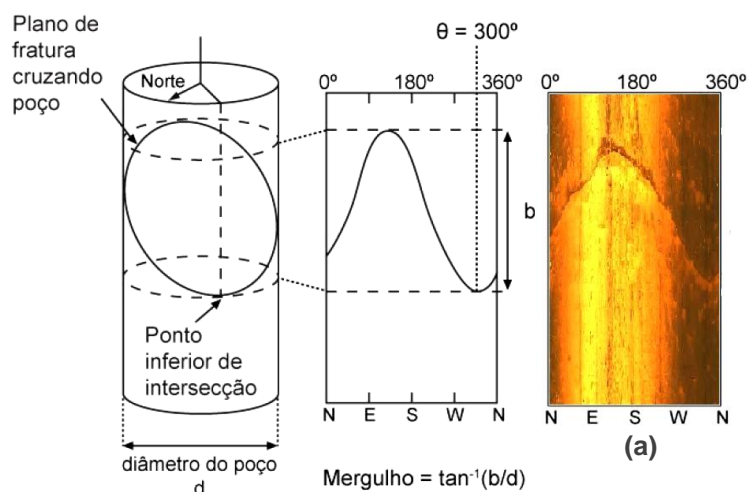


Figura 9. Demonstração da projeção plana da intersecção de um plano (estrutura, fratura, foliação, etc.) com um poço. Descontinuidades aparecem como curvas (senóides) na imagem plana gerada. A geometria da imagem é usada para determinar a direção do mergulho (θ = dip direction), e seu ângulo (dip) baseado na extensão de b . (a) exemplo de trecho de poço perfilado com um OTV durante a realização do presente estudo, apresentando uma fratura (adaptado de Paillet 1994).

Um dos primeiros equipamentos utilizados para tal fim consiste num método acústico e recebeu o nome de *Borehole Televiewer* – BHTV. As sondas acústicas registram duas saídas de dados: (1) variações de amplitude da onda refletida, permitindo comparar os contrastes de densidade dos materiais que constituem a parede do poço, e (2) tempo de trânsito da onda refletida, permitindo inferir sobre a rugosidade da parede do poço (*caliper* acústico) e ovalamento da seção horizontal do poço.

Nos últimos anos, equipamentos mais sofisticados foram desenvolvidos. Perfis OTV gerados com a sonda *Borehole Optical Televiewer* – OPTV auxiliam na identificação da litologia e feições de oxidação e preenchimento das fraturas. Paillet (1994) salienta que a abertura das fraturas observadas nas imagens geradas pelo OTV pode não ser contínua dentro do meio, não havendo uma boa correlação dessa aparente abertura com a abertura hidráulica e a transmissividade da formação tipicamente identificadas em ensaios com obturadores pneumáticos.

A sonda utilizada para o imageamento ótico é constituída por um leitor dotado de um conjunto de prismas, capaz de capturar até 60 quadros por segundo e gerar uma imagem de 360° do interior do poço, contínua, plana, magneticamente orientada e colorida. A resolução da imagem depende da velocidade com que a sonda se move no interior do poço. Um adaptador de metal flexível não magnético com diâmetro poucos milímetros maior do que o diâmetro do poço é usualmente acoplado à sonda para que o leitor permaneça centralizado em relação às paredes do poço. As imagens obtidas são semelhantes a fotos panorâmicas e, por isso, possibilitam a identificação da litologia e feições estruturais, tais como fraturas,

foliações, contatos litológicos, e demais discontinuidades. Entretanto, paredes sujas e oxidadas diminuem a qualidade da imagem (Johnson *et al.* 2005) e, em condições de turbidez (água não límpida) o OTV é inadequado, sendo substituído pelo ATV (Williams & Johnson 2004).

Palmén *et al.* (2004) descrevem uma série de métodos de processamento das imagens OTV para a identificação automática das estruturas presentes, argumentando que a identificação manual das estruturas pode gerar enviesamento significativo dos dados.

As imagens OTV consistem de *bitmaps* arranjados verticalmente conforme a profundidade de amostragem e horizontalmente conforme a orientação magnética. As imagens são adquiridas à medida que a sonda se move na direção vertical dentro do poço, a velocidades da ordem de poucos metros por minuto; a sonda é dotada de um anel de LEDs que emitem luz a partir do momento que é acionada, de modo que a luz refletida pela parede do poço é direcionada a uma câmera digital por um espelho convexo (**Fig. 10**). Cada linha de dados é constituída de 720 pixels em RGB (milhões de cores, 255 unidades de vermelho, verde e azul), de modo que cada pixel representa 0,5° da parede do poço. Os dados são arranjados em círculos conforme uma malha de posições X-Y-Z (Palmén *et al.* 2004).

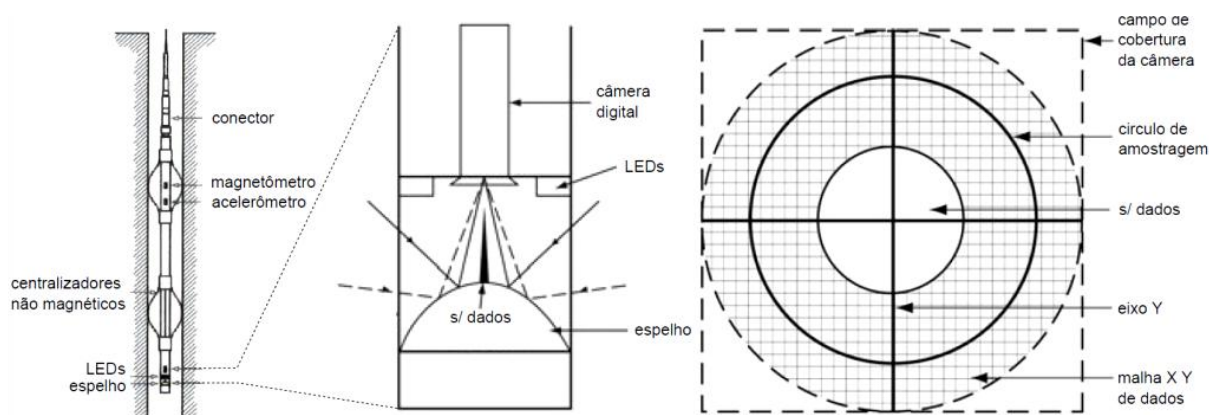


Figura 10. Mecanismo de funcionamento da sonda OTV. Os LEDs compõem um anel ao redor da câmera, de modo que os raios refletidos pela parede do poço são redirecionados por um espelho. A imagem refletida é organizada conforme as coordenadas X-Y-Z (X no eixo horizontal, Y no eixo vertical e Z perpendicular ao plano XY) obtidas a partir do magnetômetro e acelerômetro triaxiais (adaptado de Hubbard *et al.* 2008 e Palmén *et al.* 2004).

Durante a realização da perfilagem, um arquivo na extensão .HED é registrado. Um arquivo .HED contém os dados lidos a partir do momento que a sonda é ligada. Em caso de execução da perfilagem do poço em diferentes segmentos, diferentes arquivos .HED serão gerados podendo haver superposição de dados durante o processamento das imagens. Cada arquivo .HED pode ser acessado em softwares como o *OPTV Aquisition* e nele ser

exportado em arquivos de dados na extensão .LAS ou em arquivos de imagens (.JPG, .TIFF, .BMP). Os arquivos .LAS informam todos os dados de orientação tridimensional obtidos pelo acelerômetro e magnetômetro relacionados a cada intervalo de profundidades de imagens gravadas. Os arquivos de imagens podem ser exportados pelo *OPTV Aquisition* na forma como foram obtidos durante a leitura, ou seja, sem orientação, como também podem ser exportados já orientados conforme o norte magnético apontado pelo magnetômetro. Devido ao tamanho consideravelmente grande das imagens exportadas, cada arquivo .HED divide as informações em imagens de 720 x 25600 pixels, representando segmentos de aproximadamente dezoito metros do poço.

6.4. Levantamento de dados de fluxo de água subterrânea

A medição do sentido e velocidade do fluxo vertical de água dentro de poços é realizada por um medidor de fluxo (*flowmeter*). Dentre os diferentes tipos disponíveis, existe o modelo mecânico, de menor precisão; o *laser Doppler* e o de pulso de calor (*Heat Pulse Flowmeter*), ambos de maior precisão (Williams & Peck 2007). O uso de *flowmeters* permite detectar possíveis entradas e saídas de água no poço e quantificar as vazões nos trechos perfilados, que são possíveis zonas de interesse para ensaios com obturadores. Para tanto, os dados de diâmetro do poço nas profundidades de leitura com o *flowmeter* são essenciais.

Depois de identificada determinada fratura ou zona de fraturas de interesse, Johnson *et al.* (2002) recomendam realizar uma leitura acima e uma segunda leitura abaixo da profundidade de interesse. Tal procedimento visa confirmar se a direção de fluxo detectada realmente se deve à profundidade de interesse. Os autores destacam ainda que em condições onde o poço está aberto, duas zonas hidráulicamente ativas podem estar em equilíbrio hidráulico pois o poço atua como conduto de conexão entre as zonas. Portanto, é recomendável realizar ensaios em duas condições: (I) fluxo natural, sem bombeamento; (II) fluxo forçado, com bombeamento em taxas de vazão baixa, entre 0,1 L/min a 3,8 L/min.

O *Heat Pulse Flowmeter* é dotado de uma resistência térmica cujos pulsos de calor atuam como traçadores artificiais. Dois sensores localizados acima e abaixo da resistência captam possíveis variações na temperatura da água que flui ao longo do poço, de modo que o acompanhamento das leituras é registrado ao longo do tempo num gráfico (**Fig. 11**). Curvas com inflexão positiva indicam fluxo ascendente e curvas com inflexão negativa indicam fluxo descendente. O tempo decorrido entre a emissão do pulso de calor e a leitura registrada por um dos sensores será inversamente proporcional à velocidade do fluxo vertical ao longo do poço. Logo, quanto maior o tempo decorrido, menor será o fluxo. Para tanto, o software utiliza a **Equação I** para converter o tempo de leitura em velocidade de fluxo. O equipamento permite uma leitura segura e com resolução de 0,001 m/min em até 30

segundos decorridos da emissão do pulso de calor. Acima desse valor é recomendável considerar que o fluxo seja nulo (**Fig. 12**).

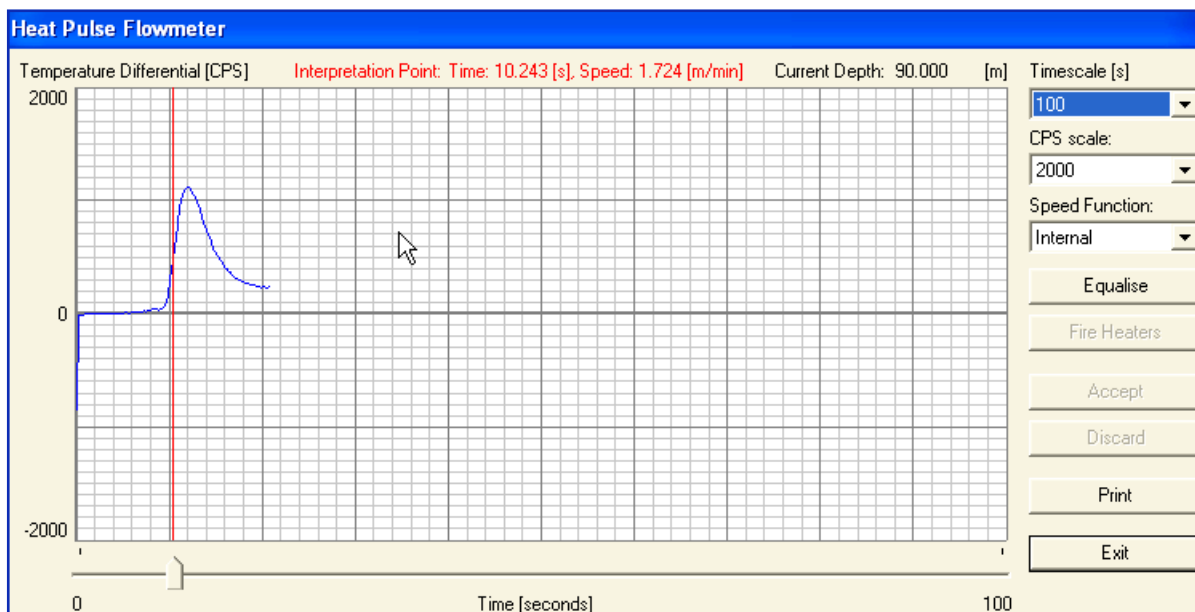


Figura 11. Gráfico apresentado pelo software de aquisição de dados de fluxo d'água. O sensor térmico superior do *Heat Pulse Flowmeter* registra as variações térmicas em valores positivos (*Temperature Differential* ou Gradiente Térmico. Unidade de leitura: CPS – *counts per second* ou contagens por segundo), enquanto que o sensor inferior registra valores negativos. O exemplo acima foi obtido no poço 255, indicando fluxo ascendente ($\Delta T^{\circ} > 0$). A linha vermelha representa um cursor que pode ser deslocado no eixo horizontal (tempo). O ajuste da linha vermelha é manual e interpretativo, indicando o ponto em que o tempo decorrido será convertido em velocidade de fluxo.

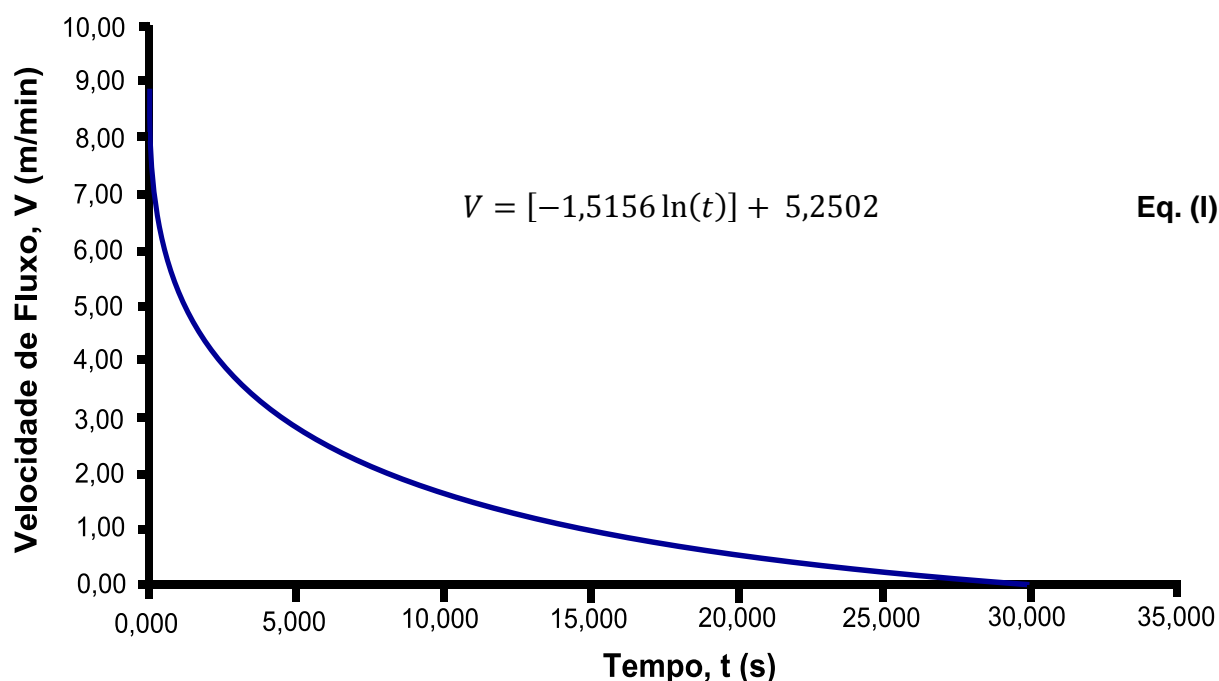
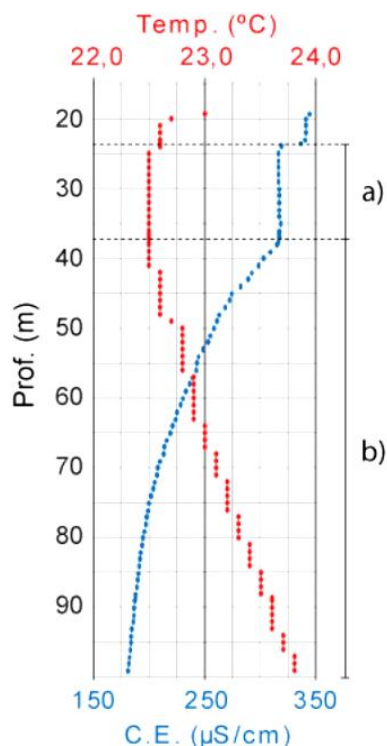


Figura 12. Gráfico de conversão do tempo de leitura em fluxo, conforme a Eq. I. A partir de 30 segundos, a velocidade deve ser considerada como nula.

6.5. Perfilagem de temperatura e condutividade da água



Como forma complementar, utilizam-se as perfilagens de temperatura (T) e condutividade elétrica (CE) da água. Feições hidráulicamente ativas são notadas quando há mudanças súbitas nesses dois parâmetros, indicando entrada ou saída de água (Wahnfried 2010). Zonas situadas entre uma entrada e uma saída de água terão estabilidade de ambos os parâmetros, pois ocorre passagem constante de água provinda de uma dada fratura, impedindo a manifestação do grau geotérmico (Fig. 13). Keys (1990) salienta que, na ausência de fluxo, a temperatura aumenta gradativamente com o gradiente geotérmico, variando cerca de 0,016°C a 0,02°C por metro de profundidade conforme as condições locais, e, no topo do poço, a temperatura da água sofre influência da temperatura do ar, com o qual está em contato.

Figura 13 – Modelo de interpretação de dados de T e CE: (a) presença de fluxo, com entrada e saída situadas em 24m e 37m de profundidade, respectivamente; (b) ausência de fluxo (extraído de Wahnfried, 2010).

7. MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas de execução do presente estudo distribuíram-se entre revisão bibliográfica, realização de atividades de campo para execução das perfilagens geofísicas e interpretação dos resultados através de softwares dedicados a perfilagens de poços e dados estruturais. Priorizando a aquisição de dados sem o comprometimento dos resultados, a ordem de realização das perfilagens foi: temperatura e condutividade elétrica da água; irradiação gama natural da formação, calibre de poço e imageamento ótico. Realizou-se a perfilagem de fluxo d'água vertical ao longo do poço com o perfilador *Heat Pulse Flowmeter* depois de aproximadamente duas horas do imageamento ótico, para proporcionar a estabilização do fluxo dentro do poço.

Realizou-se um levantamento dos dados disponíveis sobre os poços tubulares profundos registrados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE na região de estudo, consultando principalmente os estudos de L'Apicciarella (2009) e DAEE & IG (2009). No início do projeto, dezenas de poços foram apontados como possíveis locais para a realização das perfilagens uma vez que apresentam considerável proximidade com a área fonte da contaminação. Os dados disponibilizados pelo DAEE e as informações levantadas por

Barbosa (em preparação) mostram que muitos dos poços apresentam revestimento de cimento ou tubo metálico até grandes profundidades (**Anexo I**), além de alguns poços terem sido definitivamente selados com calda de cimento. Em função disto, cinco poços foram selecionados para a realização das perfilagens geofísicas (**Fig. 14**).

As perfilagens foram realizadas durante duas campanhas de campo (13 a 15/12/2011 e 13 a 14/06/2012). As atividades foram conduzidas pelo Geólogo Carlos Birelli (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT) e tiveram o apoio da equipe do GESOL: Bruna Fiume, Paulo L. Lima, Marcos B. Barbosa, Amélia J. Fernandes e Reginaldo A. Bertolo).

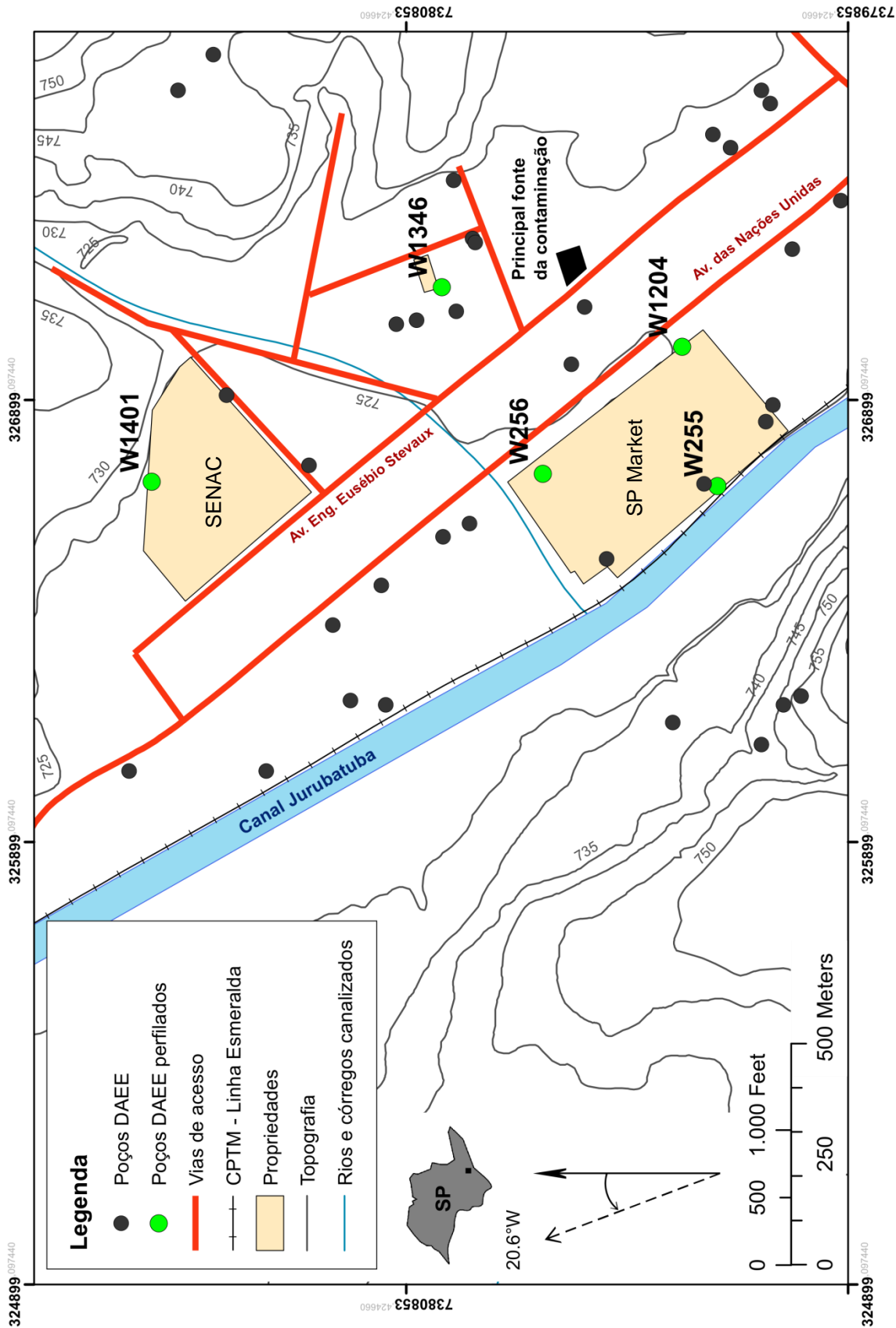
As sondas de calibre de poço (*caliper*), de irradiação gama natural (gama), imageamento ótico (OTV) e *Heat Pulse Flowmeter* são da marca Robertson Geologging Limited pertencentes e disponibilizadas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (**Fig. 15**). As perfilagens de temperatura e condutividade elétrica da água foram realizadas com equipamentos disponíveis no Laboratório de Modelos Físicos – LAMO IGc-USP. Todas as leituras utilizaram como datum de referência a extremidade superior do tubo metálico de revestimento dos poços, de modo que a altura em relação ao piso foi medida em cada poço (**Tab. 2**).

As sondas foram sustentadas por um guindaste de aproximadamente uma tonelada fixo numa plataforma horizontal, estável e adaptada a uma van. Um único cabo de 500 metros dotado de um conector adaptável a cada uma das sondas foi utilizado, de modo que possíveis erros associados à elasticidade do cabo devem afetar igualmente cada perfilagem. As leituras de profundidade foram realizadas por um medidor de profundidade acoplado a uma roldana sincronizado com as leituras da sonda. Todos os dados foram codificados por um equipamento de interface denominado *micrologger* e traduzidos por um software (*e-mind logger*) para um computador (**Fig. 16**).

7.1. Perfilagens de irradiação gama natural e de calibre de poço

As perfilagens de irradiação gama e de calibre foram efetuadas simultaneamente. As leituras de raios gama podem ser realizadas entre 100 keV e 3 MeV com resolução de leitura de 3 keV. O *caliper* foi acoplado à extremidade inferior do equipamento e a sonda foi rebaixada até a profundidade máxima dos poços, com as hastes do *caliper* mantidas fechadas. Ao atingir o fundo, o equipamento foi erguido lentamente numa velocidade de aproximadamente 5,0 m/min, com o mecanismo de hastes aberto de forma a tocar continuamente a superfície interna do poço. Todas as leituras *caliper* foram realizadas em polegadas (pol; *inches*; ”), e representam o diâmetro do poço.

Figura 14. Localização dos poços DAEE na área de estudo com destaque para os poços perfilados.





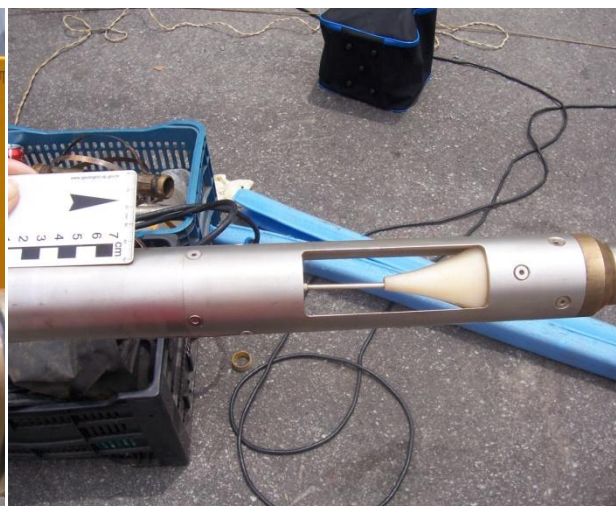
a) Hastes do perfilador de calibre acoplado ao perfilador de irradiação gama.



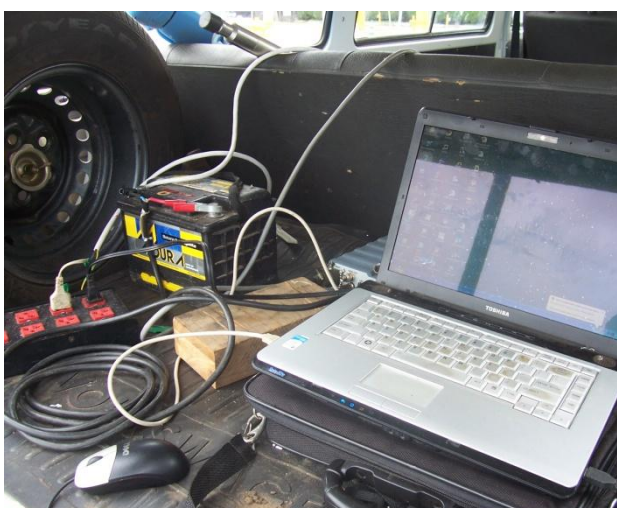
b) Perfilador ótico e centralizadores de sonda.



c) Câmera 360° do perfilador ótico e LEDs de iluminação.



d) Heat Pulse Flowmeter. Detalhe para o receptor de calor inferior.



e) Computador conectado às sondas e perfiladores.



f) Cabo das sondas de condutividade elétrica e temperatura acoplada a um medidor de NA.

Figura 15. Registro fotográfico das sondas e equipamentos utilizados em campo.

Tabela 2 – Sumário descritivo dos poços perfilados. Comparação entre os dados fornecidos pelo DAEE e os dados obtidos com o perfilador de calibre de poço (*caliper*). A boca do tubo metálico dos poços foi utilizada como datum de referência (profundidade zero). A utilização conjunta dos dados obtidos em diferentes poços deve considerar a altura entre a boca do poço e o piso.

Poço	Coordenadas Zona UTM 23 K		Dados DAEE							Dados <i>caliper</i>		OTV	Altura	Declinação magnética
	Latitude (S)	Longitude (E)	Cota	Data da sondagem	Vazão (m ³ /h)	Cap. Esp. (m ³ /h/m)	Prof. total	Prof. tubo de boca	Prof. revest.	Prof. total	Prof. "tubo liso"	Data de execução	Poço- Piso	
W255	7380150	326705	724	--	4,1	--	300	15,0	8,0	240,8	27,7	14/12/2011	0,14	20°34'W
W256	7380545	326733	723	03/06/1987	11,7	--	300	8,0	64,0	238,1	66,7	15/12/2011	0,70	20°34'W
W1204	7380230	327020	724	23/09/2002	14,4	0,149	261	6,0	51,0	261,1	50,6	13/06/2012	0,30	20°39'W
W1346	7380773	327155	726	01/01/1992	3,1	0,065	184	--	34,0	182,9	61,3	14/06/2012	0,35	20°38'W
W1401	7381430	326715	724	01/11/2003	22,0	0,796	142	18,0	20,0	127,3	102,2	13/12/2011	0,33	20°34'W

*Todas as profundidades e distâncias são fornecidas em metros (m).

--, sem informação.

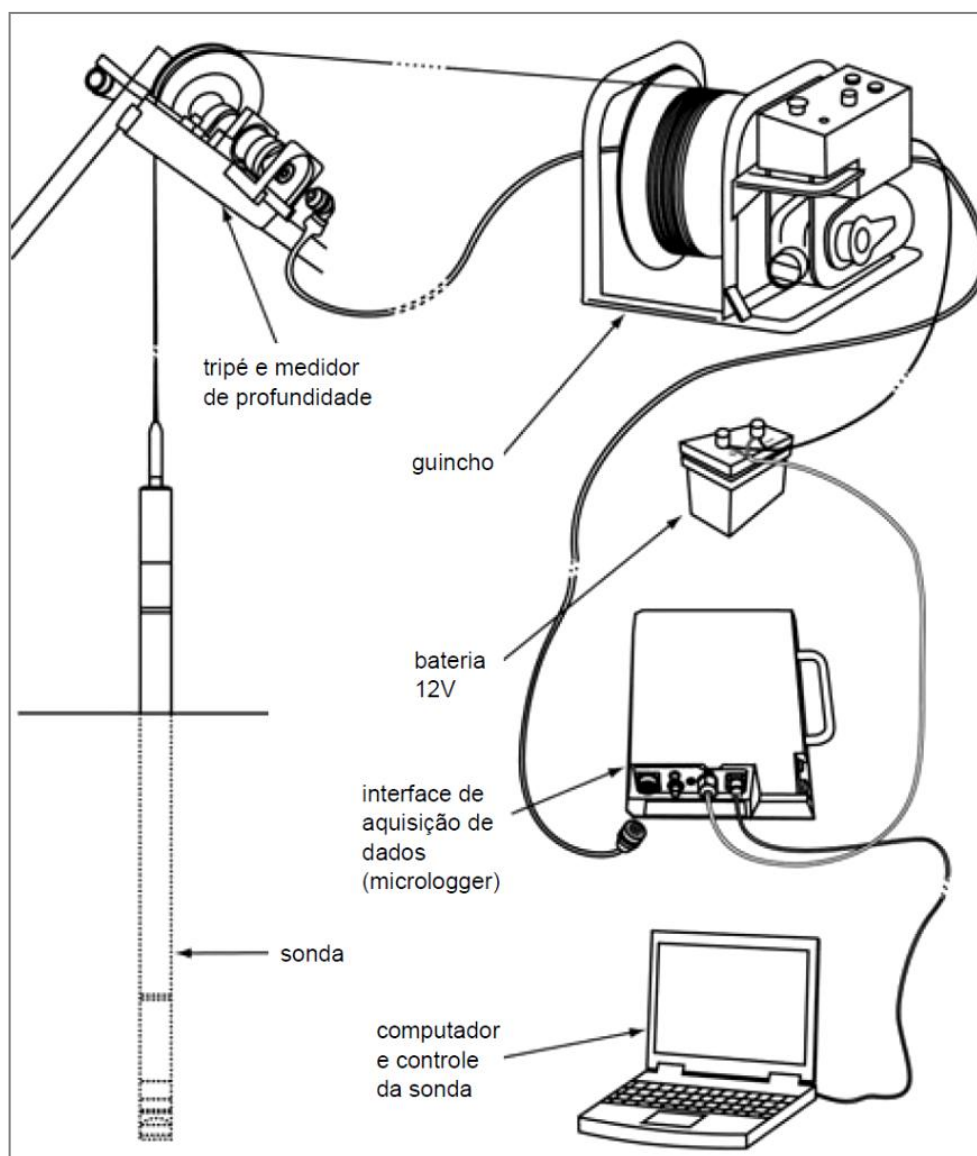


Figura 16. Arranjo dos equipamentos utilizados para a execução das perfilagens (adaptado de Hubbard *et al.* 2008).

7.2. Imageamento ótico

As perfilagens OTV obtidas permitem determinar a atitude das discontinuidades com erro de $1,0^\circ$ para o azimute e $0,5^\circ$ para o mergulho, quando interpretadas no software *WellCAD*. Foram realizadas após a perfilagem gama-caliper, em velocidades entre 1,35 e 1,5 m/min. As imagens obtidas estão orientadas com relação ao norte magnético do dia e local de realização da perfilagem, de modo que a correção com relação ao norte geográfico foi realizada conforme as informações da **Tabela 2**.

7.3. Perfilagens de fluxo de água subterrânea

A perfilagem com o *Heat Pulse Flowmeter* foi a última a ser realizada. A escolha das profundidades para executar as leituras baseou-se na observação dos dados construtivos do poço e na avaliação preliminar das fraturas (p.ex., presença de oxidação, zonas de fraturas mais espessas ou mais densas) observadas nas imagens OTV. Em condições onde a distribuição das fraturas é homogênea ao longo do poço, foi fixada a realização de uma leitura a cada 10,0 metros de profundidade.

7.4. Perfilagens de temperatura e condutividade elétrica

Utilizou-se o eletrodo da marca WTW modelo LF197 para obter os perfis de temperatura e condutividade elétrica da água. A resolução do eletrodo é de 0,1°C para a temperatura e 0,001 mS/s para a condutividade elétrica. O eletrodo, fixo na extremidade de um cabo de extensão limitada a 100 metros de extensão, foi inserido manualmente numa velocidade média estimada em 12 m/min e acoplado a um medidor de nível com o mesmo comprimento. Considerando que a introdução das demais sondas pode influenciar significativamente nos resultados de deslocamento da água no interior do poço, as leituras de T e CE foram as primeiras perfilagens a serem realizadas a cada poço perfilado.

7.5. Tratamento de dados

Todas as informações e dados de campo foram arquivados na extensão .XLS de modo que cada planilha fornece dados para um perfil específico construído: perfil construtivo do poço; perfil litológico; gama; *caliper*; estruturas; T; CE; fluxo d'água; comentários; marcas; etc.. O software *WellCAD* da Advanced Logic Technology foi utilizado para a apresentação dos perfis lado a lado, pois permite importar e criar arquivos em diversas extensões (.TXT; XLS; .LAS; JPG; .BMP).

As leituras de irradiação gama e de calibre foram exportadas pelo módulo de interface *microllogger* na extensão .LAS e podem ser acessados pelo software *Win Logger 1.5 Logging and Data-Acquisition Program*, bem como pelo *WellCAD*. As imagens obtidas pelo OTV são acessadas pelo software *OPTV Aquisition* e nele foram transformadas em arquivos.BMP.

Os dados obtidos com o *Heat Pulse Flowmeter* foram normalizados em unidades de vazão conforme o diâmetro do poço na profundidade de realização da leitura. Para tanto, adotou-se o seguinte procedimento:

$$Q = 1000 \ V \ \pi r^2 \quad \text{Eq. (II)}$$

Onde:

$Q \rightarrow$ vazão (L/min)

$V \rightarrow$ fluxo (m/min)

$r \rightarrow$ raio médio do poço (m) indicado pelo *caliper* na profundidade aonde a leitura V foi realizada.









Os dados de atitude de foliação e fraturas foram tratados nos softwares *Stereo 32* e *OpenStereo* para confecção de estereogramas e rosetas de fraturas (classes de 10°). Utilizou-se um critério de classificação das descontinuidades observadas em seis diferentes categorias, em função do seu potencial hidráulico: (0) fratura preenchida, (1) fratura parcialmente aberta, (2) fratura aberta, (3) fratura francamente aberta, (4) fraturas interconectadas, (5) zona de fraturamento principal, (F) grupo genérico de fraturas que não se enquadram em nenhuma das seis classes anteriores e (S) correspondente à foliação marcada pelo paralelismo de minerais e/ou bandas de diferentes composições mineralógicas (**Tab. 3**).

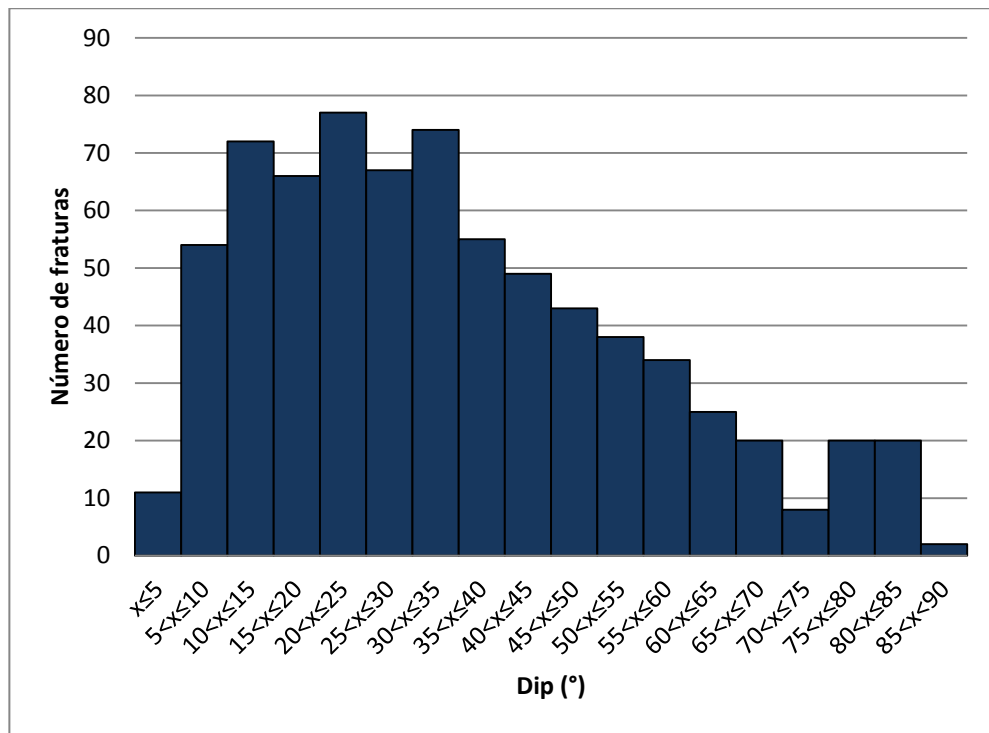
Em cada poço, os dados de foliação e fraturas foram tratados em estereogramas separados. Os planos de foliação constituem planos de fraqueza preferenciais para a instalação de uma fratura numa área onde a tectônica é ativa, de modo que a divisão dos dados estruturais em estereogramas diferentes permite observar a relação geométrica entre a foliação e as fraturas. Em caso de existência de paralelismo entre as fraturas e a foliação, todo dado de foliação precisa ser avaliado como possível plano de fratura, e por consequência influencia na elaboração de um modelo hidrogeológico.

Em cada poço, um único estereograma foi dedicado aos dados de foliação, de modo que os contornos com linhas de isovalores destacam a atitude dominante observada. As fraturas descritas em cada poço foram reunidas num único estereograma e posteriormente distribuídas em três grupos, conforme o mergulho (dip) observado: “baixo”, referindo-se a mergulhos inferiores ou iguais a 30°; “médio” ou “moderado”, para mergulhos superiores a 30° e menores ou iguais a 70°; e “alto”, referindo-se a mergulhos superiores a 70°. A divisão baseou-se em histogramas de frequência das fraturas descritas em quatro dos cinco poços perfilados (**Fig. 17**). A divisão das fraturas em diferentes grupos de mergulho permite distinguir fraturas de direções semelhantes e mergulhos diferentes que potencialmente estejam conectadas e configurem uma rota de fluxo de água. Adicionalmente, a divisão em classes de mergulho permite tratar os dados de fraturas com mais cuidado, uma vez que os erros de leitura de direção (*strike*) para fraturas de mergulho baixo tendem a serem maiores do que para fraturas de mergulho moderado a alto.

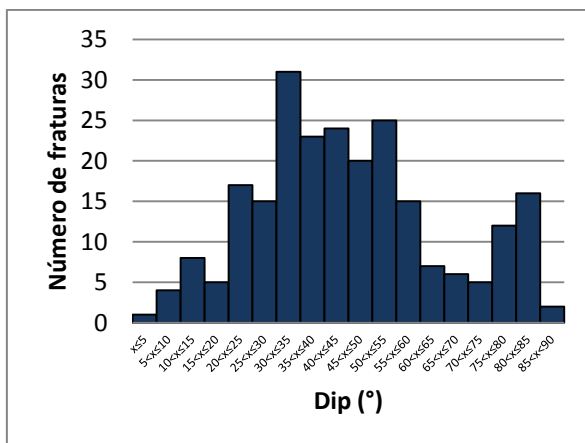
Para os poços W255, W256 e W1204, estereogramas adicionais dedicam-se exclusivamente às atitudes e classes das fraturas situadas nas profundidades onde os valores de vazão apontados pelo *Heat Pulse Flowmeter* são significativamente altos ou há contrastes significativos das leituras de CE e T.

Tabela 3. Classificação de fraturas observadas em imagens OTV. Exemplos de algumas imagens obtidas em perfis OTV realizados durante o presente estudo, com exceção do exemplo de fratura preenchida.

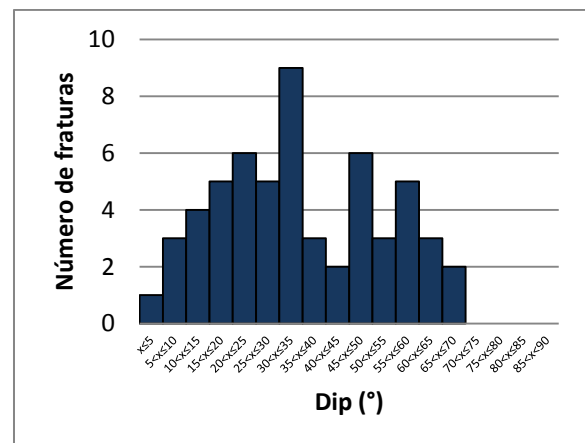
Estrutura					Classe	Descrição
N	E	S	W	N		
					S	Foliação ou bandamento. Identificada pela diferença de composição mineralógica, estiramento mineral e/ou presença de feldspatos sob a forma de <i>augen</i> .
					F	Fratura genérica. Configuram traços que não apresentam verdadeiramente uma linha de coloração escura que a classificaria nas classes 1 ou 2, e que diferem significativamente dos planos de foliação.
					0	Fratura preenchida. Identifica-se a partir do contraste existente entre a textura e coloração da rocha encaixante e do material de preenchimento, tipicamente argilas e sedimentos finos.
					1	Fratura parcialmente aberta. Constitui um plano que não intercepta o poço totalmente, ou que somente uma porção da fratura está aberta.
					2	Fratura aberta. Planos identificados por linhas tênues que cortam toda a imagem OTV. Tipicamente margeada por manchas de coloração ocre alaranjado, possivelmente devido à oxidação.
					3	Fratura francamente aberta. Caracteriza uma linha espessa e contínua de cor predominantemente escura. Para fraturas dessa classe foram realizadas medidas de abertura.
					4	Fraturas interconectadas. Caracterizada por fraturas de classe 1, 2 ou 3 que se interceptam. Em imagens OTV, eventualmente configuram linhas irregulares.
					5	Zona de fraturamento principal. Configura um conjunto de fraturas que se associam a uma deformação na superfície interna do poço indicada pelas leituras <i>cailper</i> .



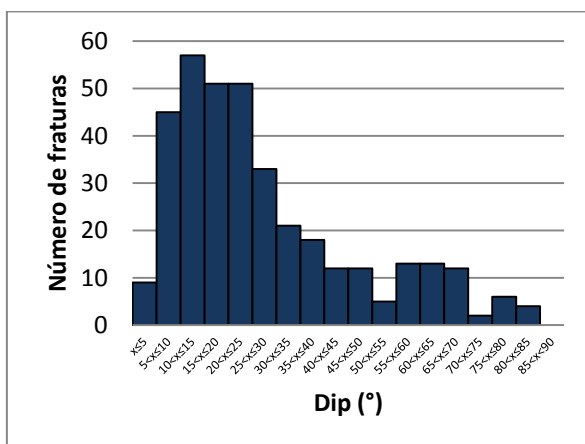
a) Histograma de fraturas (n = 735) observadas nos poços W255, W256, W1204 e W1346.



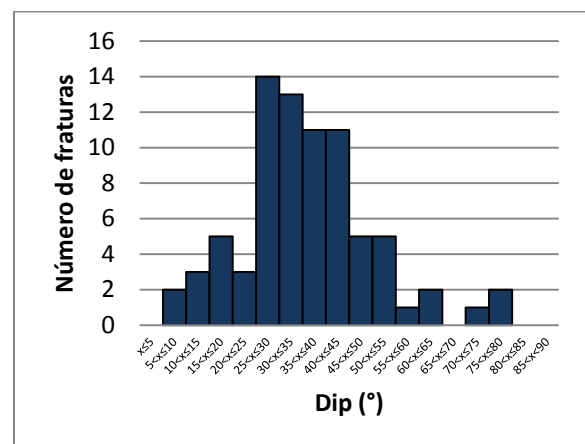
b) Histograma de fraturas (n = 236), poço W255.



c) Histograma de fraturas (n = 57), poço W256.



d) Histograma de fraturas (n = 364), poço W1204.



e) Histograma de fraturas (n = 78), poço W1346.

Figura 17. Histograma para identificação de grupos de fraturas.

8. PERFIS GEOFÍSICOS

Cinco poços foram selecionados para a realização das perfilagens geofísicas. Os perfis obtidos não são contínuos para todos os métodos aplicados, de modo que em alguns poços as informações estruturais ficaram limitadas aos segmentos onde foi possível obter dados com a sonda OTV (**Anexo II**).

As informações de litologia obtidas no banco de dados do DAEE apresentam satisfatória correlação com os perfis de irradiação gama obtidos. Nos poços W256, W1204, W1346 e W1401 nota-se o contraste entre as leituras de irradiação gama realizadas nas porções mais rasas, onde o poço é revestido e as formações consistem de sedimentos e rocha alterada, e as leituras realizadas nas porções mais profundas, onde o poço não é revestido e a formação é basicamente composta por gnaisses, pegmatitos, granitos e xistos. Mesmo nas porções revestidas é possível notar contrastes tênues de raios gama entre as camadas argilosas e as camadas arenosas descritas pelo DAEE para as unidades sedimentares da Bacia de São Paulo. Apesar da baixa qualidade de algumas das imagens OTV devido à turbidez dos poços, as imagens obtidas nos poços W256 e W1204 permitem distinguir mais de um litotipo constituinte do embasamento, sendo frequente a ocorrência de rochas leucocráticas de estrutura maciça e unidades francamente foliadas e bandadas (**Fig. 18**).

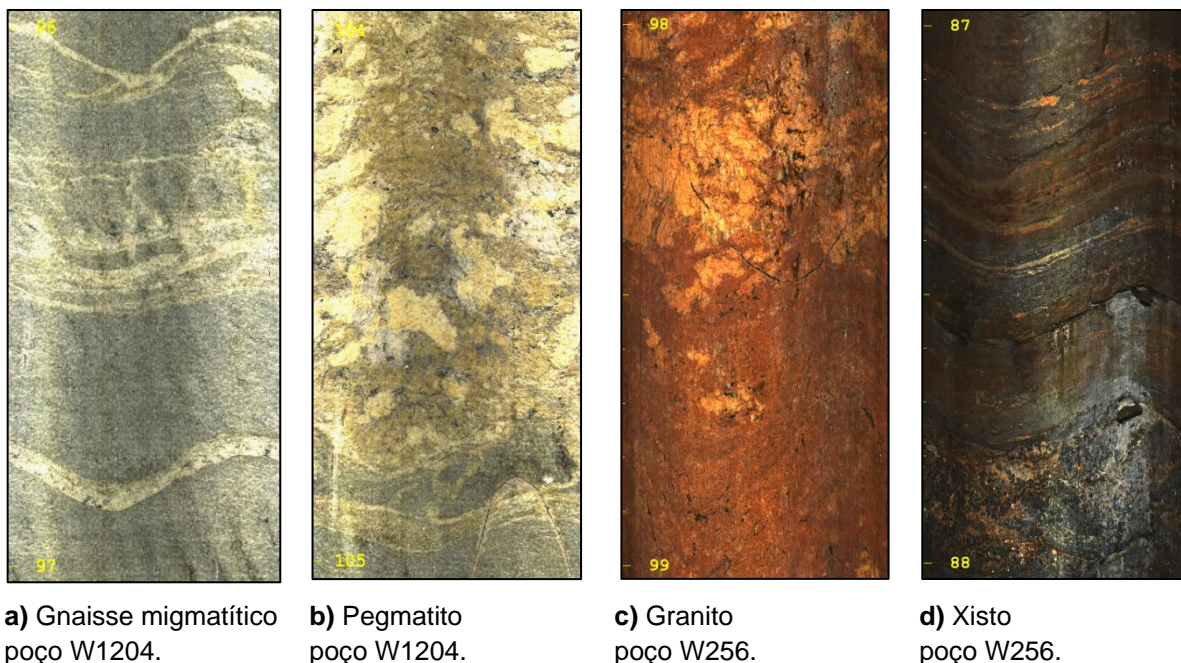


Figura 18. Exemplos de imagens OTV obtidas nos poços W256 e W1204. As imagens permitem observar pelo menos quatro diferentes litotipos que constituem o embasamento na área de estudo. Tons alaranjados pode ser fruto da turbidez da água, oxidação da formação ou mesmo devido à impregnação de material particulado na superfície interna do poço. As profundidades destacadas em amarelo estão apresentadas em metros.

Para as rochas do Embasamento Cristalino, não foi possível identificar uma assinatura gama que auxiliasse na distinção entre gnaisses, pegmatitos, granitos e xistos. As imagens OTV obtidas no poço W1204 indicam que a transição entre gnaisses e pegmatitos é caracterizada por leucossomas de composição aparentemente semelhante aos pegmatitos, de modo que as duas unidades se intercalam inúmeras vezes ao longo desse poço possivelmente indicando uma relação genética dos pegmatitos a partir dos gnaisses. No poço W256, chama à atenção a existência de uma unidade francamente foliada rica em biotita que se intercala com porções graníticas de textura média a muito grossa. Próximas às zonas de intercalação entre granitos e xistos, os granitos apresentam minerais estirados enquanto que os xistos apresentam bandas feldspáticas, o que também poderia caracterizar os xistos como biotita gnaisses.

O diâmetro dos poços varia entre 4 e 10 polegadas, conforme a profundidade e as condições de construção. Os perfis *caliper* mostram com significativa precisão o fundo do poço, a localização das porções onde o poço está revestido e alguns trechos correspondentes às zonas com fraturamento mais proeminente. Nos poços W1346 e W1401 é possível ainda observar as junções entre os tubos metálicos de revestimento.

As imagens obtidas com o OTV apresentam qualidade variável ao longo dos poços perfilados (**Anexos III**). As imagens apresentam trechos com uma coloração que varia entre o ocre e o marrom, provavelmente causada pela turbidez da água, oxidação da formação ou mesmo a impregnação de material particulado na superfície interna do poço. Nos poços W256 e W1204 é notável o contraste existente entre as imagens de alta qualidade obtidas acima de 105,0 m e 125,0 m, respectivamente, que permitem a identificação de minerais e a observação da textura da formação, e abaixo desses níveis onde a coloração marrom alaranjado predomina, dificultando a observação das estruturas. Nesse sentido, a quantidade de feições estruturais observáveis é diretamente influenciada pela qualidade das imagens OTV, portanto a distribuição vertical e o espaçamento das estruturas observadas devem ser encarados como dados incompletos. Os dados estruturais estão apresentados no **Anexo IV**.

Os perfis de desvio de poço constam no **Anexo V**. Importante ressaltar que tais perfis não representam integralmente cada poço, de modo que os dados são limitados aos trechos onde as leituras OTV foram realizadas.

Os dados obtidos com o *Heat Pulse Flowmeter* foram limitados a apenas dois poços. O equipamento não operou de maneira satisfatória na segunda campanha de campo realizada em junho de 2012, de modo que somente os resultados obtidos nos poços W255 e W1401

estão apresentados no presente trabalho. De maneira geral, ambos os poços apresentam fluxo vertical ascendente ao longo do poço.

8.1. Poço W255

Dentre os demais poços perfilados, o poço W255 destaca-se como o mais próximo do canal Jurubatuba. Segundo o DAEE, o poço teria 300,0 m de profundidade e revestimento até 15,0 m de profundidade (**Anexo I**). Entretanto, os dados obtidos com o *caliper* mostram que a profundidade total do poço é de 240,8 m e que um “tubo liso” de 6,0 polegadas de diâmetro está instalado até 27,7 m de profundidade (**Tab. 2**). O perfil *caliper* mostra ainda três diferentes diâmetros médios: 10” entre 27,7 m e 80,5 m, 8,3” entre 80,5 m e 121,6 m, e 6,5” entre 121,6 m e o fundo do poço (**Anexo II Fig. 1**). Essa variação é resultante do processo de perfuração do poço com redução do diâmetro da coroa diamantada conforme o avanço da sondagem. Essas medidas foram utilizados no cálculo da atitude das fraturas observadas em imagens OTV situadas entre os mesmos segmentos do poço.

O desvio do poço observado no trecho perfilado com o OTV mostra que nos primeiros 100,0 m de profundidade o poço desvia não mais do que 1,0 m na horizontal, rumo ao sul, em relação à primeira leitura OTV realizada. Nos metros seguintes, o poço apresenta considerável desvio rumo ao oeste, com pouco mais de 6,0 m de deslocamento horizontal (**Anexo V Fig. 1**).

O nível d’água medido em 14/12/2011 era de 5,79 m em relação à boca do revestimento. Todas as medidas apresentadas no perfil tem como referência a boca do revestimento, o qual se localiza a 0,14 m acima do piso.

Os dados do DAEE informam que a sondagem realizada para instalação do poço W255 não apresentou unidades sedimentares nas porções mais rasas. Segundo o órgão, o poço intercepta o topo da rocha sã já em 8,0 m de profundidade, de modo que o material incoeso superficial foi interpretado como manto de alteração. A baixa qualidade das imagens OTV devido à turbidez da água neste poço impede a distinção de diferentes litotipos (**Anexo III Fig. 1**).

Os dados estruturais obtidos pelas imagens OTV constam entre as profundidades 27,7 m e 220,09 m. De maneira geral, a foliação apresenta direção NE-SW e ENE-WSW com mergulhos baixos ($9,58^\circ$ a $33,83^\circ$) para o quadrante NW (**Anexo IV Fig. 1a**). Grande parte das fraturas apresenta atitude semelhante à moda da foliação e bandamento, embora grupos de fraturas discordantes à foliação também são bastante frequentes (**Anexo IV Fig. 2a e 3a**). Destacam-se os grupos: (i) N40-70E com mergulhos baixos ($\leq 30^\circ$) para NW significativamente paralelas à foliação e bandamento; (ii) N30-60E com mergulhos

moderados ($30^{\circ} < \text{dip} \leq 70^{\circ}$) predominantemente para NW; (iii) N20-30E com mergulhos moderados ($30^{\circ} < \text{dip} \leq 70^{\circ}$) para NW; e (iv) E-W com mergulhos altos ($> 70^{\circ}$) para N (**Anexo IV Fig. 4**). As fraturas genéricas (classe F) tendem a seguir o comportamento das demais fraturas enquanto que algumas fraturas de classe 1, 2 e 3, que potencialmente estejam contribuindo com o fluxo d'água, não se enquadram em nenhuma das direções supracitadas e podem configurar planos de conexão entre as demais fraturas. O perfil apresentado no **Anexo II Figura 1** destaca fraturas de classe 5 associadas às zonas indicadas pelo *caliper*, de forma que a o perfilador de calibre de poço se destaca como um importante indicador de zonas fraturadas com grandes possibilidades de atividade hidráulica.

Altos valores de vazão indicados pelo *Heat Pulse Flowmeter* destacam duas zonas como prováveis entradas de água, sendo a primeira situada entre 78,0 m e 88,6 m indicando vazão de 119,05 L/min (7,14 m³/h) destacada por fraturas de classe 4 e 3 sem respostas muito significativas do *caliper*, e a segunda localizada entre 158,0 m e 170,0 m de profundidade indicando 106,46 L/min (6,39 m³/h), marcada por uma série de fraturas de classe 5, 3 e 2 além de franca indicação de alargamento do poço e alta rugosidade pelo *caliper*. O **Anexo IV Figura 8a** destaca a atitude das fraturas situadas entre essas zonas de provável entrada de água. Chama a atenção o paralelismo existente entre algumas dessas fraturas e a foliação, de modo que é possível que fraturas condutivas estejam associadas às fraturas ENE-WSW relacionadas por Riccomini (1989) com a instalação de bacias sedimentares durante as fases iniciais da evolução do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil.

Os perfis de T e CE não apresentam resultados conclusivos neste poço. Abaixo de 80,0 m é possível notar estabilização dos parâmetros, porém, dado o fluxo ascendente indicado pelo *Heat Pulse Flowmeter* e o limite das leituras de T e CE em 100,0 m, não é possível indicar precisamente a profundidade da possível entrada ou saída de água.

8.2. Poço W256

Situado a aproximadamente 400,0 m a norte do poço W255, o poço W256 apresentou condições indesejáveis para a realização da perfilagem ótica. Excesso de turbidez e franca deterioração do tubo metálico de revestimento prejudicaram também a perfilagem com o *Heat Pulse Flowmeter*.

Conforme o banco de dados do DAEE, o poço teria 300,0 m de profundidade, 8,0 m de tubo de boca e 64 m de cimentação (**Tab. 2**). Porém, os dados apresentados pelo perfil *caliper* mostram o fundo do poço em 238,1 m e um “tubo liso” de 6” até 66,7 m de profundidade (**Anexo II Fig. 2**). Os dados de desvio obtido para este poço estão limitados a praticamente a metade mais rasa do poço, uma vez que a perfilagem OTV foi encerrada em 128,7 m

devido a turbidez da água e a baixa qualidade das imagens obtidas em profundidades superiores a 107,5 m. Os dados obtidos mostram que o poço desvia menos de um metro na horizontal em relação a primeira leitura realizada (**Anexo V Fig. 2**).

O nível d'água medido em 14/12/2011 era de 6,57 m em relação à boca do revestimento. Todas as medidas apresentadas no perfil tem como referência a boca do revestimento, o qual se localiza a 0,7 m acima do piso.

Conforme os dados do DAEE, o poço intercepta pelo menos 26,0 m de unidades pertencentes à Bacia de São Paulo (**Anexo II Fig. 2**). Chama à atenção a ocorrência de uma camada de 16,0 m de espessura de argila plástica acinzentada, possivelmente representando a Formação Tremembé, o que pode representar uma importante influência no modelo de transporte de contaminantes no Sistema Aquífero Sedimentar, principalmente no que tange os processos de retardação e difusão. A partir de 46,0 m de profundidade é possível identificar a rocha sã, composta por gnaisses, granitos em contato com biotita xistos e veios pegmatíticos. As imagens OTV situadas entre 66,7 m e 107,5 m apresentam boa qualidade, sendo possível identificar minerais, distinguir níveis ricos em feldspato bem como definir que as variações entre esses litotipos é gradacional, de modo que nas porções em contato com os xistos, os granitos apresentam o desenvolvimento de foliação (**Anexo III Fig. 2**).

Os dados estruturais obtidos limitam-se ao segmento entre 66,7 m e 128,07 m. A foliação caracteriza planos arranjados em três diferentes modas: NW-SE com mergulho baixo ($\leq 30^\circ$) para NE; NE-SW com mergulho baixo ($\leq 30^\circ$) para SE e NNW-SSE com mergulho moderado ($30^\circ < \text{dip} \leq 70^\circ$) para NE (**Anexo IV Fig. 1b**). As fraturas apresentam atitudes muito variadas, com destaque para os grupos: (i) N70-80W, com mergulhos moderados ($30^\circ < \text{dip} \leq 70^\circ$) para SSW; (ii) E-W com mergulhos variados para N e S; e (iii) N0-20E com mergulhos variados, tanto para SE como para NW (**Anexo IV Fig. 5**).

Duas zonas destacam fraturas de classe 3, 4 ou 5: (a) 82,5 m a 91,5 m, marcada por um contraste nas leituras de CE, possivelmente indicando atividade hidráulica de uma das fraturas, e (b) 103,8 m a 110,4 m, destacada pelo contraste da qualidade das imagens OTV da porção superior e inferior e pela presença de fraturas de classe 5 (**Anexo II Fig. 2**). As fraturas associadas a essas zonas têm direções que variam desde N10W a N85E e mergulhos entre 5° e 65° , predominantemente para NE e NW (**Anexo IV Fig. 8b**).

8.3. Poço W1204

A perfilagem com o *caliper* realizada no poço W1204 apresenta informações muito semelhantes aos dados fornecidos pelo DAEE, tanto para profundidade total do poço como

para a profundidade do revestimento (**Tab. 2**). Os dados de desvio indicam pouco mais de 6,0 m na horizontal rumo SE ao longo dos 208,0 m perfilados com o OTV (**Anexo V Fig. 3**).

De maneira semelhante ao poço W256, o poço W1204 pode ser dividido em dois segmentos: o superior (acima de 125,0 m), com qualidade alta das imagens OTV, e o inferior (abaixo de 125,0 m), onde o poço apresenta imagens de coloração marrom alaranjada, fatalmente devido à turbidez da água (**Anexo II Fig. 3**).

O nível d'água medido em 14/12/2011 era de 7,12 m em relação à boca do revestimento. Todas as medidas apresentadas no perfil tem como referência a boca do revestimento, o qual se localiza a 0,3 m acima do piso.

As informações fornecidas pelo DAEE indicam que o poço intercepta 44,0 m de sedimentos pertencentes à Bacia de São Paulo (**Anexo II Fig. 3**). É marcante o contraste apresentado pelo perfil gama entre os cascalhos mal selecionados da base da sucessão sedimentar e o nível saprolítico sotoposto. Para o embasamento cristalino, o perfil OTV permite observar claramente a existência de dois litotipos dominantes, sendo o primeiro representado por um gnaiss acinzentado com bandas leucocráticas de granulação grossa, que ora variam para venulações de até 5,0 cm de espessura e culminam em pegmatíticos de até 3,0 m de espessura, como pode ser observado entre 85,0 m e 105,0 m, e o segundo caracterizado por um xisto rico em biotita que ocorre intercalado com a outra unidade em camadas de até 10 cm, provavelmente correlacionado com os xistos observados no poço W256 (**Anexo III Fig. 3**).

As imagens OTV permitem observar com clareza as estruturas, principalmente na porção superior do poço localizada entre 50,0 e 125,0 m onde as imagens tem excelente qualidade. A foliação e o bandamento observados tem direção predominante NNE-SSW, com mergulhos baixos, moderados e altos tanto para o quadrante SE como para NW (**Anexo IV Fig. 1c**). Ainda que não pertencentes à mesma profundidade, os dados de foliação obtidos sugerem que a foliação no entorno do poço W1204 está dobrada com plano axial subvertical, conforme mostra a guirlanda de círculo máximo no **Anexo IV Figura 1e**.

Uma grande quantidade de fraturas pôde ser observada nesse poço, de modo que quatro grupos predominam: (i) N10-30E com mergulhos baixos a moderados ($\leq 70^\circ$) tanto para o quadrante NW como para SE, frequentemente paralela a alguns planos de foliação e bandamento observados; (ii) N0-10W com mergulhos moderados ($30^\circ < \text{dip} \leq 70^\circ$) para os quadrantes NE e SW; (iii) N80-90W com mergulhos moderados ($30^\circ < \text{dip} \leq 70^\circ$) para SW e altos ($> 30^\circ$) para NE e (iv) N0-20W com mergulhos altos ($> 70^\circ$) para NE (**Anexo IV Fig. 6**).

Pelo menos três diferentes zonas, indicadas pelo *caliper* e correspondentes às fraturas de classe 5 existem nesse poço. Entretanto, a interpretação estrutural realizada permite observar zonas compostas por conjuntos de fraturas de classe 3, 4 ou 5 em até nove zonas diferentes (a) 50,0 m e 57,0 m; (b) 60,0 m a 85,0 m, destacada por uma variação da T e CE, com fraturas subparalelas a foliação e fraturas de direção N60-70W com mergulhos variados para NE (**Anexo IV Fig. 8c**); (c) 105,0 m a 115,0 m; (d) 120,0 m e 127,0 m; (e) 150,0 a 153,0 m; (f) 162,0 m a 165,0 m (g) 180,0 m a 187,0 m; (h) 202,0 m a 212,0m; (i) 248,0 m a 252,0 m.

8.4. Poço W1346

Localizado na porção leste da área de estudo, o poço W1346 destaca-se por apresentar quase doze metros de desvio na horizontal na direção SW em apenas 115,0 m perfilados com o OTV (**Anexo V Fig. 4**). A perfilagem com o *caliper* confirma a profundidade total do poço informada pelo DAEE (**Tab. 2**), e indica um “tubo liso” de apenas 4” de diâmetro que sem estende até 61,3 m de profundidade (**Anexo II Fig. 4**).

O nível d’água medido em 14/06/2012 era de 4,13 m em relação à boca do revestimento. Todas as medidas apresentadas no perfil tem como referência a boca do revestimento, o qual se localiza a 0,35 m acima do piso.

Os dados do DAEE descrevem pelo menos 18,0 m de um material argiloarenoso micáceo sobrepondo um nível saprolítico de 12,0 m de espessura. O contato com a rocha sã se dá em 30,0 m de profundidade, representada por uma intercalação de níveis xistosos de coloração acinzentada, com conteúdos variáveis de biotita, muscovita, quartzo e granada, e níveis pegmatíticos leucocráticos. Apesar das imagens OTV obtidas nesse poço não serem de alta qualidade, é possível identificar porções de granulação grossa a muito grossa de coloração esbranquiçada, e porções foliadas de coloração cinza, distinguindo pelos menos dois litotipos (**Anexo III Fig. 4**).

As imagens OTV permitem observar que o bandamento e a foliação tem direção NNE-SSW mantendo mergulhos baixos a moderados, para NW e SE (**Anexo IV Fig. 1d e f**). Três grupos de fraturas podem ser destacadas: (i) onde predominam aquelas com direção N40-60E, com mergulhos altos e moderados ($>30^\circ$) para NW e SE; (ii) N10-30E, com mergulhos moderados a altos ($>30^\circ$) para os quadrantes NW e SE; (iii) N70-90E, com poucos dados coletados indicando mergulho tanto para NW (**Anexo IV Fig. 7**).

Duas zonas tem destaque quanto à existência de fraturas, principalmente porque nelas também há uma marcante resposta das leituras do *caliper*. (a) é definida entre 69,0 m e 71,0 m, com a ocorrência de pelo menos três fraturas de classe 5 e (b), situada entre 80,0 m e

90,0 m é marcada pela existência de fraturas de classe 1 a 5, ora interconectadas (**Anexo II Fig. 4**). Os dados de T e CE obtidos nesse poço não são suficientemente conclusivos para inferir sobre a atividade hidráulica das fraturas.

8.5. Poço W1401

O poço W1401 apresenta características muito distintas dos demais poços perfilados. Segundo os dados do DAEE, o poço apresenta 65,0 m de sedimentos que recobrem uma espessa camada de rocha alterada, de modo que ao topo da rocha sã encontra-se em 102,0 m de profundidade. Duas seções filtrantes estão instaladas nesse poço, entre 60,0 m e 62,0 m e entre 82,0 m e 84,0 m. As imagens OTV, apesar da baixa qualidade, não evidenciam a existência de fraturas.

Os resultados obtidos com o *Heat Pulse Flowmeter* e com as perfilagens de T e CE sugerem que há uma importante contribuição das águas provenientes do Aquífero Sedimentar para o abastecimento do poço W1401, tendo como entrada de água principal a seção filtrante mais rasa. Os dados de vazão indicam ainda valores significativamente altos nas porções profundas não revestidas do poço. Nesse sentido, é provável que haja mistura das águas provenientes do Aquífero Cristalino com as águas do Aquífero Sedimentar (**Anexo II Fig. 5**).

As emendas dos tubos de revestimento podem ser observadas no perfil *caliper* e imagens OTV (**Anexo III Fig. 5**) e foram ressaltadas como fraturas genéricas no perfil estrutural e *Tadpole*, pois, dadas as más condições de manutenção do poço, é possível que tais emendas atuem como caminhos preferenciais de fluxo.

9. INTEGRAÇÃO DOS DADOS ESTRUTURAIS

Considerando as limitações impostas pela qualidade das imagens OTV para a amostragem de dados estruturais, é importante explicitar que a densidade de estruturas observadas nos perfis apresentados neste trabalho não reflete necessariamente o espaçamento real das fraturas. Outro aspecto importante sobre a coleta de dados estruturais refere-se à inclinação dos poços. A amostragem de dados estruturais em poços verticais tende a gerar resultados enviesados, mascarando dados de possíveis fraturas verticais e ressaltando fraturas ortogonais ao poço. Idealmente, perfis de poços inclinados tendem a gerar resultados mais consistentes sobre as fraturas existentes, amostrando tanto as fraturas horizontais como as verticais.

Os dados de foliação coletados diferem de um poço para outro. Nos poços W255, W1204 e W1346 é notável a predominância das direções NNE-SSW e NE-SW controlando os planos

de foliação, com mergulhos baixos a moderados ($\leq 70^\circ$) tanto para NW como para SE. Os estereogramas dos poços W1204 e W1346 sugerem que a foliação e o bandamento dos xistos e gnaisses são afetados por dobras cujo plano axial é subvertical e tem direção N10-20E, ora com mergulho para SE, ora NW (**Anexo IV Fig. 1e e f**). A foliação presente no poço W256 (**Anexo IV Fig. 1b**) localmente apresenta a direção NW-SE e NNW-SSE com mergulhos de até 50° para NE, e pode estar indicando as superfícies de foliação próxima à zona de charneira de dobras locais. Nesse sentido, as dobras que afetam a foliação da área de estudo poderiam ser classificadas como horizontais em pé, com ocorrências locais de dobras em pé com caimento de eixo, conforme a classificação de Ragan (1985).

A análise conjunta dos dados estruturais coletados nos poços W255, W256, W1204 e W1346 apresentam grupos de fraturas que ocorrem em mais de um poço (**Fig. 19**). Grande parte das fraturas pode ser reunida num único grupo que se distribui na direção NE-SW com mergulhos baixos a moderados ($\leq 70^\circ$), apresentando certo paralelismo com a foliação e o bandamento. Tal relação é principalmente observável nos estereogramas produzidos para os poços W255 e W1204, onde fraturas de classe F, 1 e 2 são abundantes (**Anexo IV Fig. 2 e 3**). Tais fraturas devem corresponder às falhas NE-SW delineadas por Fiume (em preparação) (**Fig. 4**), e possivelmente estão relacionadas às fases iniciais da evolução do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil de Riccomini (1989), durante o Paleógeno. As estruturas associadas a altos valores de vazão no poço W255 parecem pertencer a este grupo (**Anexo IV Fig. 8a**), de modo que os planos de foliação podem ser considerados como uma importante estrutura no condicionamento do arcabouço geométrico configurado pela porosidade secundária do aquífero fraturado na área de estudo.

Outros importantes grupos de fraturas merecem destaque. O primeiro apresenta direção N30-50E com mergulhos moderados a altos ($>30^\circ$) para NW e SE com exemplos em todos os poços perfilados (**Anexo IV Fig. 2 e 3**) e destacado pelo mapa de lineamentos elaborado por Fiume (em preparação) na área de estudo (**Fig. 4**). O segundo apresenta direção N0-20W com mergulhos variados para NE e SW e é principalmente presente no mapa de lineamentos elaborado por Fiume (em preparação) para a região de estudo (**Fig. 4**). Fraturas de classe 1 e 3 associadas às zonas de variação nas leituras de T e CE nos poços W255, W256 e W1204 pertencem a esses dois grupos. A relação entre as fraturas desses grupos não é muito clara nas imagens OTV, de modo que não foi possível identificar uma estrutura pertencente a um grupo interceptando outra do outro grupo. Entretanto, considera-se que as estruturas pertencentes ao primeiro grupo estejam relacionadas às transcorrências sinistral e dextral ocorrida desde o Neógeno ao Pleistoceno, e que as fraturas do segundo grupo correspondam à extensão E-W ocorrida durante o Holoceno (Riccomini 1989). Por fim, um grupo de fraturas de direção N80-90W com mergulhos predominantemente superiores a 50° para os quadrantes NE e SW são frequentes nos

poços W255, W256 e W1204 (**Anexo IV Fig. 2 e 3**). Tais estruturas também estão associadas aos altos valores de vazão indicados pelo *Heat Pulse Flowmeter* no poço W255 e às variações significativas das leituras de T e CE no poço W1204 (**Anexo IV Fig. 8a e c**). As fraturas pertencentes a esse grupo interceptam as demais estruturas e geram rejeitos aparentes de até 10 cm (**Anexo III Fig. 1e e 3a**), de modo que podem estar relacionadas aos lineamentos ESE-WNW observados por Fiume (em preparação) em escala regional e possivelmente associadas à compressão E-W descrita por Salvador & Riccomini (1995), correspondente aos eventos tectônicos mais recentes do Holoceno.

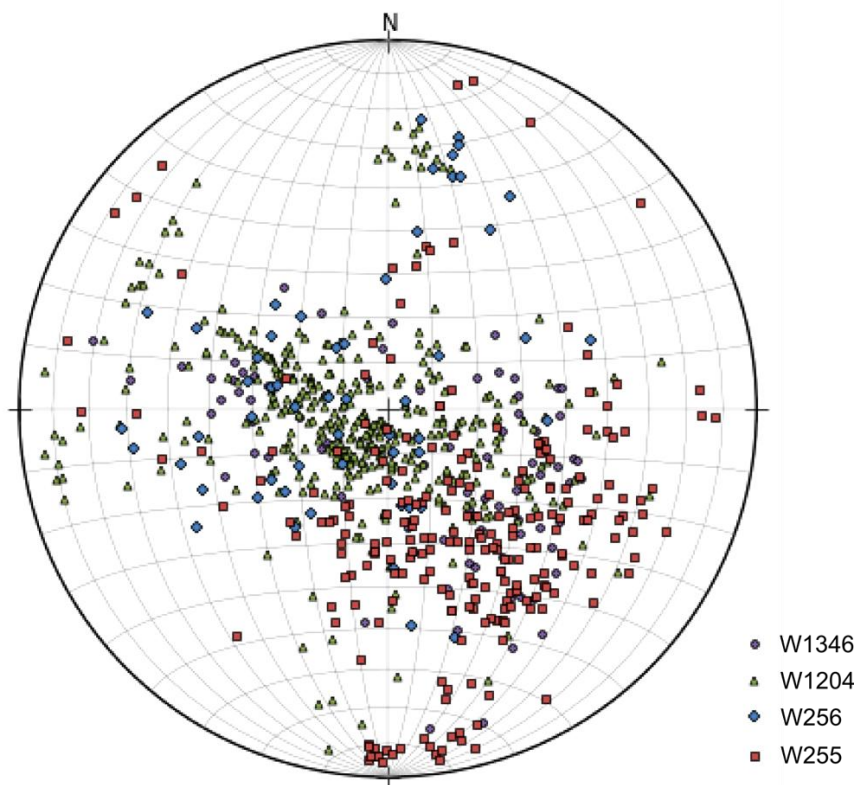


Figura 19. Dados estruturais obtidos a partir de perfis OTV nos poços W255, W256, W1204 e W1346. O estereograma mostra que alguns grupos de fraturas são recorrentes em diferentes poços (p.ex.: grupo de fraturas ESE-WNW com mergulho entre 70° e 60° SW observadas nos poços W256 e W1204). Estereogramas tipo Schmidt com projeções polares no hemisfério inferior.

A distribuição vertical dos dados estruturais mostra que fraturas de alto ângulo (>70°) podem ser observadas a partir da cota 670,0 m (**Fig. 20**). Tal informação complementa o modelo conceitual de L'Apicciarella (2009) que sugeriu um padrão onde fraturas de alto ângulo predominam nas porções mais profundas dos poços.

Um sumário das principais estruturas observadas nos poços investigados neste estudo está apresentado nas **Figuras 21 e 22**, destacando as atitudes das fraturas associadas às informações de fluxo ou associadas às variações significativas nas leituras de T e CE, e apontando nos poços os principais segmentos de interesse para a realização de ensaios hidráulicos utilizando obturadores pneumáticos.

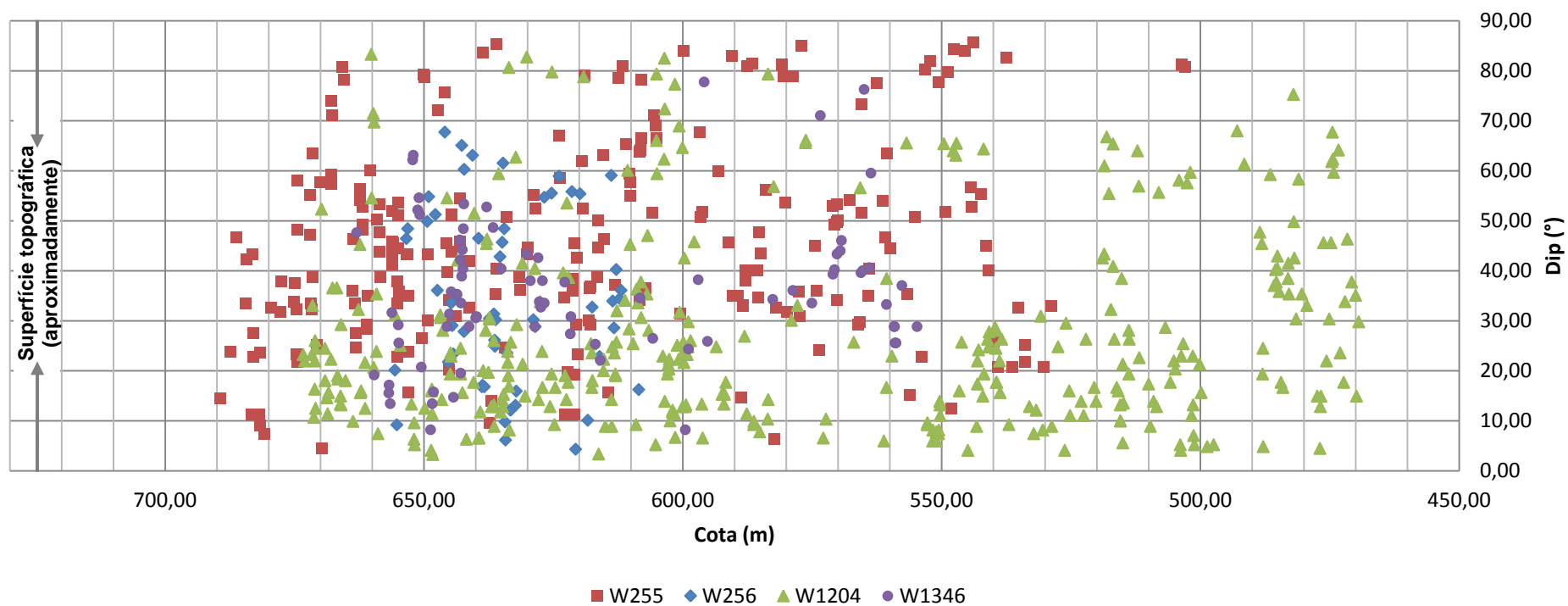
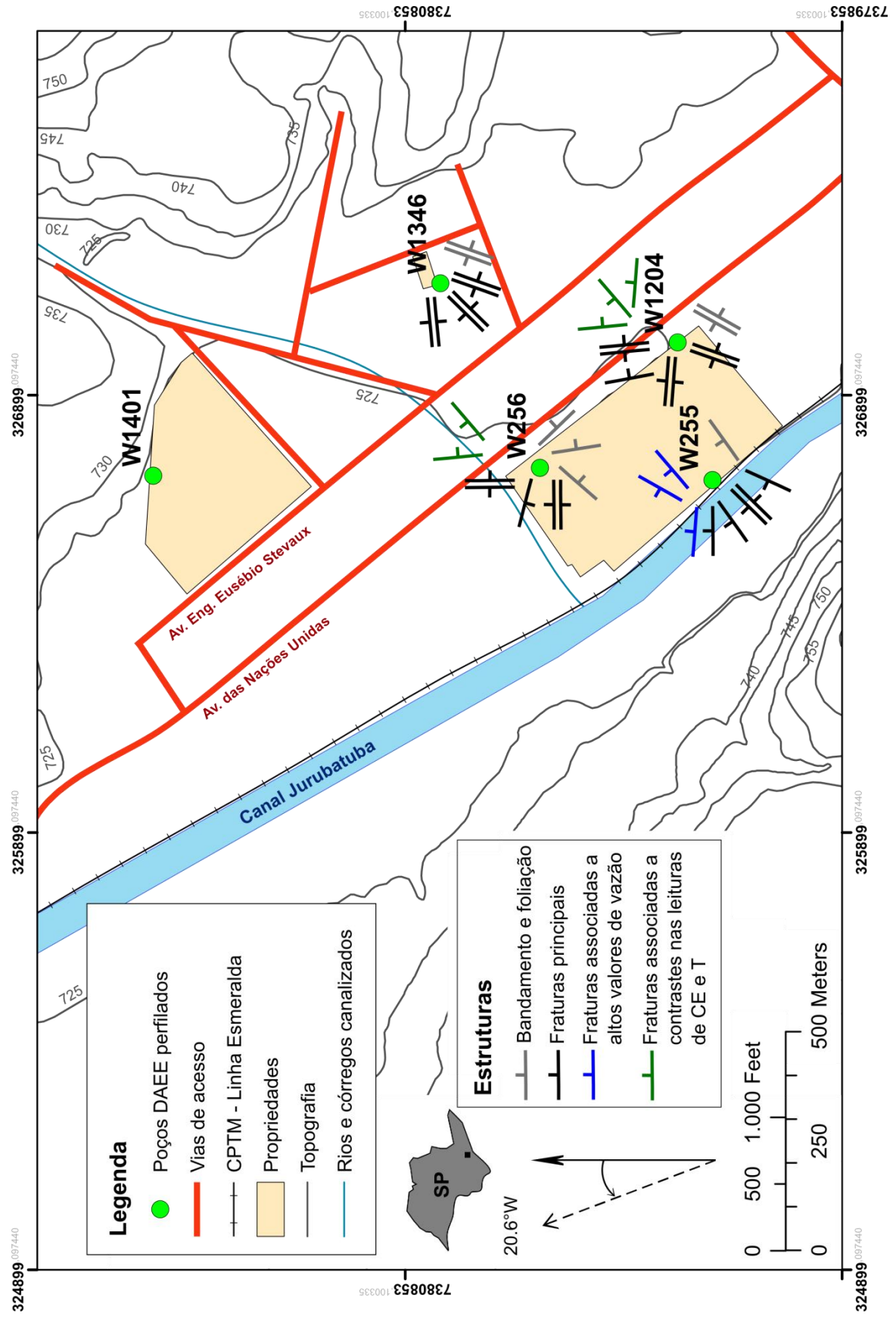


Figura 20. Distribuição das fraturas observadas nos poços W255, W256, W1204e W1346 conforme o mergulho (*dip*) e a profundidade relativa à cota topográfica. O gráfico auxilia na utilização dos dados obtidos em cada poço com relação a sua representatividade do aquífero (p.ex.: os dados do poço W256 limitam-se a um trecho entre as cotas 655,63 m e 608,52 m, enquanto que os dados do poço W1204 estão distribuídos desde a cota 673,34 m até 469,42 m. Além disso, os dados apresentam certa tendência das fraturas com mergulhos altos aparecerem a medida que a profundidade da perfilagem é maior, de modo que fraturas com mergulho superior a 70° ocorrem somente abaixo da cota 670,00 m.

Figura 21. Mapa da estruturas observadas nos poços W255, W256, W1204 e W1346. Dados de fluxo só puderam ser obtidos no poço W255.



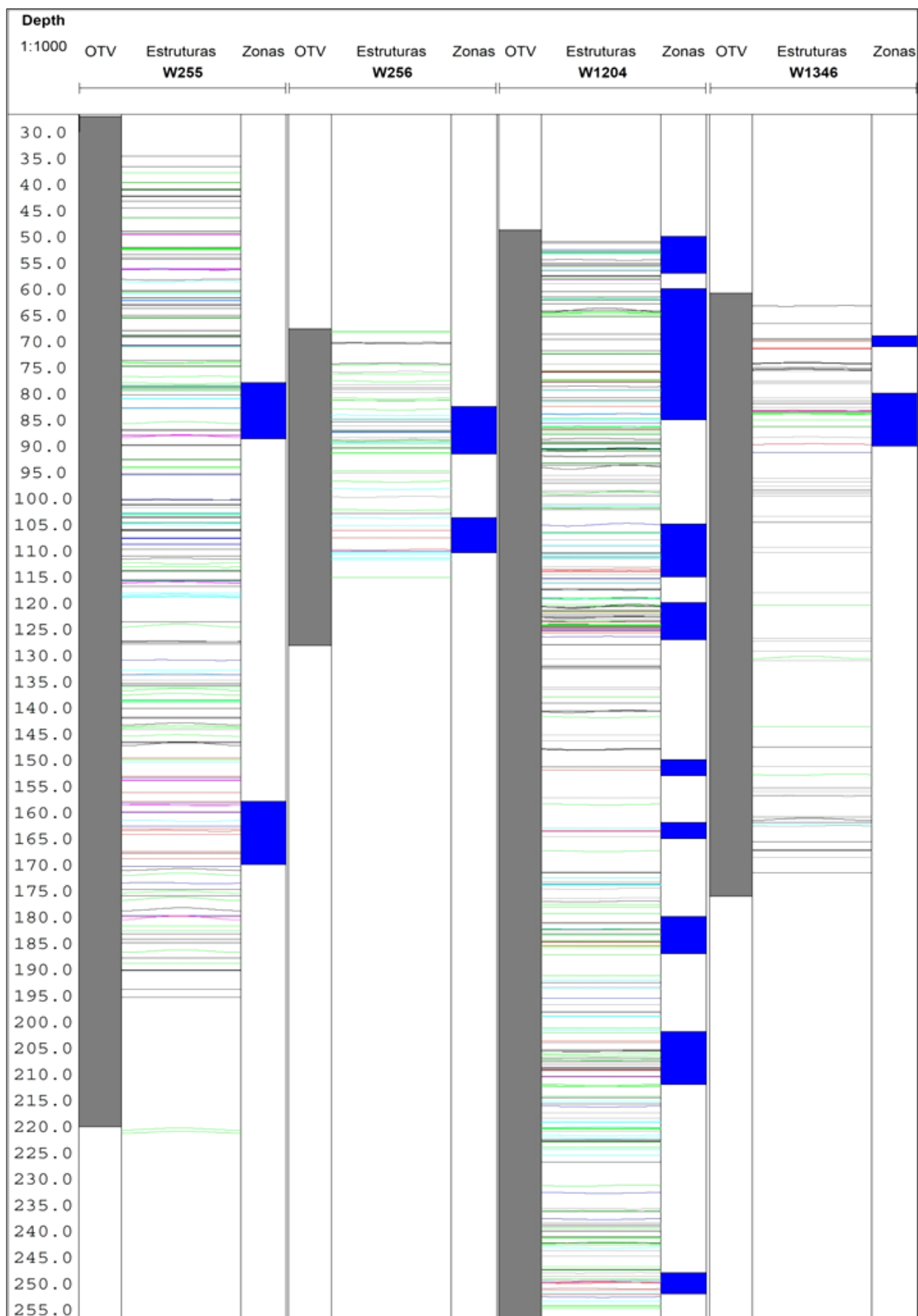


Figura 22. Principais zonas de interesse (em azul) para realização de ensaios hidráulicos com obturadores pneumáticos. A indicação do segmento onde a perfilagem OTV foi realizada possibilita ponderar sobre as profundidades onde os dados estruturais foram obtidos. Os poços não estão alinhados conforme suas cotas topográficas.

10. CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E ESTUDOS FUTUROS

- A caracterização das estruturas identificadas nos poços W255, W256, W1204 e W1346 destaca os seguintes grupos de fraturas: direção NNE-SSW com mergulhos $\leq 30^\circ$ NW e SE, paralelas à foliação; N30-50E com mergulhos $> 30^\circ$ NW e SE; N0-20W com mergulhos variados para NE e SW; e N80-90W com mergulhos $> 70^\circ$ para NE e SW.
- Os perfis de fluxo d'água e as leituras de temperatura e condutividade elétrica da água destacam diferentes zonas com provável existência de fraturas hidráulicamente ativas, conforme apresentado na **Figura 22**. Para futuros ensaios hidráulicos utilizando obturadores pneumáticos a serem realizados nos poços W255, W256, W1204, W1346 e W1401, recomenda-se que as profundidades destacadas por essa figura e pelas fraturas de classe 3, 4 e 5 sejam priorizadas.
- Perfis geofísicos de poços geram resultados em um nível de detalhe que varia na ordem de metros a centímetros. Sua utilização preenche a lacuna existente entre os estudos de campo e mapeamento estruturais em escalas de centenas a dezenas de metros, e os ensaios hidráulicos e geofísicos na escala de centímetros a milímetros. A aplicação de perfilagens geofísicas como fonte isolada de informações em estudos de caracterização hidrogeológica fatalmente será incompleta.
- Perfis OTV destacam-se como uma poderosa ferramenta para análise de fraturas em poços, no entanto, são necessárias água límpida e paredes de poço sem incrustações.
- A sonda *Heat Pulse Flowmeter* mostrou-se uma importante fonte de informações sobre o comportamento hidráulico das fraturas. Entretanto, os resultados apresentados pela ferramenta neste estudo não permitem distinguir quais das fraturas situadas numa zona de decímetros a metros de comprimento são hidráulicamente ativas. Para estudos futuros que utilizem tal ferramenta, recomenda-se que duas condições diferenciadas sejam consideradas para a obtenção de dados: (I) fluxo natural, sem bombeamento; (II) fluxo forçado, com bombeamento em taxas de vazão baixa, entre 0,1 L/min a 3,8 L/min, conforme sugerido por Johnson *et al.* (2002). Adicionalmente, aconselha-se realizar duas leituras em cada zona destacada no presente trabalho: uma acima e outra abaixo da zona investigada.
- Os planos de foliação observados em perfis OTV controlam a instalação de fraturas que apresentam significativo comportamento hidráulico. Tais planos devem ser considerados como uma importante estrutura no condicionamento do arcabouço geométrico configurado pelas fraturas do Sistema Aquífero Cristalino na área de estudo.
- Considerando os perfis obtidos nos poços W255 e W1204 que mostram fraturas em profundidades de até 200 m, considera-se recomendável que a perfilagem OTV no poço W256 seja realizada novamente uma vez que o poço localiza-se num ponto central da área e as informações nele adquiridas podem ser utilizadas na interpolação de dados e construção de perfis geológicos e modelos estruturais entre os poços.
- A realização de perfilagens ATV em todos os cinco poços é altamente recomendável uma vez que poderá confirmar os dados estruturais dos perfis OTV apresentados neste trabalho e permitirão que as informações de desvio de poço sejam novamente coletadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

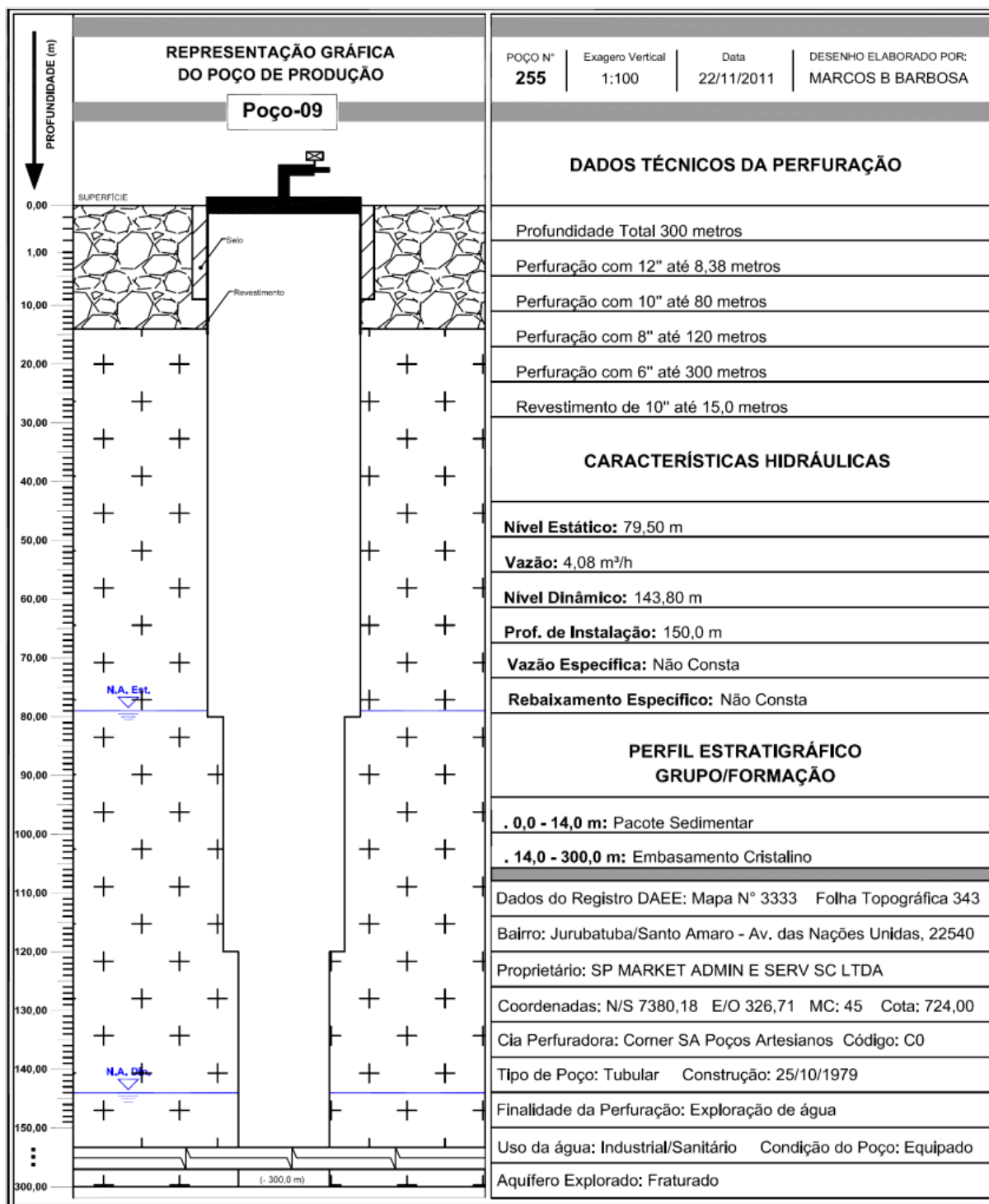
- Almeida, F.F.M. 1967. Origem e evolução da plataforma brasileira. Bol. Div. Geol. Min., 241.1-36.
- Almeida, F.F.M. 1976. The system of continental rift bordering the Santos Basin, Brazil. *In*: Anais da Academia Brasileira de Ciências, (48), suplemento: 15-26.
- Almeida, F.F.M de, Amaral, G., Cordani, U.G., Kawashita, K. 1973. The pre-cambrian of the South American cratonic margin South of the Amazon River. *In*: Nairn, E.M. & Stehli, F.G. (Eds.) The ocean basins and margins. Plenum, p.: 411-446.
- Barbosa, M.B. (em preparação). Modelo conceitual da contaminação por solventes organoclorados no aquífero raso da região do canal do Jurubatuba em São Paulo. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Barton, C.A., Zoback, M.D., Moos, D. 1995. Fluid flow along potentially active faults in crystalline rock. *Geology*, 23(8): 683-686.
- Bertolo, R.A. 1996. Relações entre rios e o aquífero sedimentar da Bacia de São Paulo em área de exploração intensiva de água subterrânea. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 108 p.
- Campos J.E. & Albuquerque Filho J.L. 2005. Aquífero São Paulo. *In*: Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, p.52-56.
- Coleman, T.I., Parker, B.L., Cherry, J.A., Pehme, P.E. 2011. A Method for Borehole Profiling: Fiber-optic Distributed Temperature Sensing within Flexible Underground Liners.
- Coutinho, J.M.V. 1980. Mapa geológico da Região Metropolitana da Grande São Paulo. EMPLASA – Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo S/A. São Paulo. Escala 1:100.000.
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica, IG – Instituto Geológico. 2009. Projeto Jurubatuba: restrição e controle de uso de água subterrânea / Departamento de Águas e Energia Elétrica, Instituto Geológico, Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Secretaria de Estado de Saneamento e Energia. – São Paulo : DAEE/IG, 2009. 109 p. :il. – Cadernos do Projeto Estratégico Aquíferos, n 01.
- Fernandes, A.J. 1991. O Complexo Embu no leste do Estado de São Paulo: contribuição ao conhecimento da litoestratigrafia e da evolução estrutural e metamórfica. São Paulo, 120p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Fernandes A.J., Perrota M.M., Salvador E.D., Gimenez Filho A., Stefani F.L., Paulo N. 2005. Aquíferos Fraturados. *In*: Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, p. 66-84
- Fernandes, A.J., Maldaner, C., Rouleau, A. 2011. Análise das fraturas nos basaltos de Ribeirão Preto, SP: aplicação à elaboração de modelo hidrogeológico conceitual. *Geol. USP, Sér. cient.*, Dez/11, vol.11, no.3, p.43-64.
- Fiume, B. (em preparação). Geologia de detalhe para elaboração de modelo conceitual de circulação de água subterrânea: estudo de caso em Jurubatuba, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- Guerra, K.J. 2010. Aplicação de Método Geofísico em Estudo Hidrogeológico, no município de Nova Lima – MG. Caracterização de Aquíferos em Área Urbana. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 143 p.
- Hasui, Y. 1975. Geologia da Folha São Roque, São Paulo. *Boletim IG – USP*. 6: 95-108.
- Hasui, Y. & Sadowsky, G.R. 1976. Evolução geológica do Pré-Cambriano na região sudeste do estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 6. 157-183.
- Hasui, Y., Almeida, F.F.M. de, Neves, B.B.B. 1978. As estruturas brasileiras. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 30. v.6, Atas, p. 2579-2593.
- Hasui, Y., Dantas, A.S.L., Carneiro, C.D.R., Bistrichi, C.A. 1981. O embasamento pré-cambriano e eopaleozoico em São Paulo. *In: PRÓ MINÉRIO e PROMOCET (Eds.) Mapa Geológico do estado de São Paulo*. IPT, p.: 4-11.
- Hubbard, B., Roberson, S., Samyn, D., Merton-Lyn, D. 2008. Instruments and Methods Digital optical televising of ice boreholes. *Journal of Glaciology*, Vol. 54, No. 188.
- Johnson, C.D., Haeni, F.P., Lane Jr., J. W., and White, E.A. 2002. Borehole-Geophysical Investigation of the University of Connecticut Landfill, Storrs, Connecticut, United States Geological Survey Water-Resources Investigation Report 01-4033, 187 p.
- Johnson C.A., Joesten P.K., Modazzi R.A. 2005. Borehole-Geophysical and Hydraulic Investigation of the Fractured-Rock Aquifer Near the University of Connecticut Landfill, Storrs, Connecticut, 2000 to 2001, United States Geological Survey Water Resources Investigation Report 03-4125, 133 p.
- Juliani, C. 1992. O embasamento Pré-Cambriano da Bacia de São Paulo. *In: Seminário: Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)*. ABAS/ ABGE /SBG/ SP, p. 3-20.
- Keys S. 1990. Borehole Geophysics applied to ground-water investigations, in *Techniques of water-resources investigations of the United States Geological Survey*, Chapter E2, United States Geological Survey, Denver, Colorado, 150 p.
- L'Apicciarella E.S.P. 2009. Contaminação e áreas de restrição de uso de água subterrânea no entorno do canal Jurubatuba em São Paulo-SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 125 p.
- Morin, R.H., Carleton, G.B., Poirier, S. 1997. Fractured-aquifer hydrogeology from geophysical logs, The Passaic Formation, New Jersey. *Ground Water*, 35(2):328-338.
- Morin, R.H., Senior, L.A., Decker, E.R. 2000. Fractured-Aquifer Hydrogeology from geophysical logs: Brunswick Group and Lockatong Formation, Pennsylvania. *Ground Water*, 38(2):182-192.
- Paillet F.L. & Olilla A, P. 1994. Identification, characterization and analysis of hydraulic conductive fractures in granitic basement rocks, Millville, Massachusetts, U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 94-4185, 38 p.
- Paillet F.L. 1994. Application of borehole geophysics in the characterization of flow in fractured rocks, U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 93-4214, 36 p.

- Paillet F.L. 1995. Using borehole flow logging to optimize hydraulic-test procedures in heterogeneous fractured aquifers, *Hydrogeology Journal*, v. 3, p. 4-20.
- Palmén, J., Heikkinen, E., Varsta, M., Heikkinen, J. 2004. Pattern Recognition Approach for Measurement of foliation Orientation and Determination of Rock Type from Borehole Images. JP-Fintact Oy.
- Parker B.L. 2011. The discrete fracture network approach for investigating contaminated sites on fractured sedimentary rock. School of Engineering, University of Guelph, Guelph-Ontario. Geohydro/2011.
- Pehme, P.E., Parker, B.L., Cherry, J.A., Greenhouse, J.P. 2010. Improved Resolution of Ambient Flow through Fractured Rock with Temperature Logs. In: NGWA, *Ground Water* 48, n°2: 191-205.
- Perrotta, E.D.S., coord. 2005. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo. São Paulo, CPRM.
- Ragan, D.M. 1985. *Structural Geology: An Introduction to the Geometrical Techniques* (3rd edition). New York: McGraw-Hill, 393 p.
- Riccomini, C. 1989. *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. São Paulo. Tese de Doutorado, IGc-USP, 256 p.
- Riccomini, C. & Coimbra, A.M. 1992. Geologia da Bacia Sedimentar. In: Negro Junior, A., Ferreira, A.A., Alonso, U.R., Luz, P.A.C. (eds.). *Solos da cidade de São Paulo*. ABMS/ABEF. P. 37-94.
- Rodrigues, S. K. 1997. Geologia Urbana da Região Metropolitana de São Paulo. Tese de doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 60 p.
- Salvador, E.D & Riccomini, C. 1995. Neotectônica da região do Alto Estrutural de Queluz, SP-RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 15, p. 151-164.
- Shapiro, A.M, Hsieh, P.A., Haeni, F.P. 1999. Integrating multidisciplinary investigations in the characterization of fractured rock. In: Morganwalp, D.W. e Buxton, H.T., eds., *U.S. Geological Survey Toxic Substances Hydrology Program-Proceedings of the Technical Meeting*, Charleston, South Carolina, March 8-12, 1999: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigation Report 99-4018c, V. 3, P. 669-680.
- Telford, W.M., L. P. Geldart, L.P., Sheriff, R. E. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, 770p.
- Trouw R.A.J., Heilbron M., Ribeiro A., Paciullo F.V.P., Valeriano C.M., Almeida J.C.H., Tupinambá M. , Andreis R.R. 2000. The central segment of the Ribeira Belt. In: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho (eds.) *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, p. 287-310.
- Wahnfried I. 2010. Modelo conceitual de fluxo do aquífero de Serra Geral e do Sistema Aquífero Guarani na região de Ribeirão Preto-SP. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 135p.
- Williams J.H. & Johnson C.D. 2004. Acoustic and optical borehole-wall imaging for fractured-rock aquifer studies: *Journal of Applied Geophysics*, vol. 55, Issue 1-2, p. 151-159.
- Williams L.J. & Peck M.F. 2007. Borehole Geophysical Logging of Water-Supply Wells in the Piedmont, Blue Ridge, and Valley and Ridge, Georgia, United States Geological Survey Fact Sheet 2007-3048, 4p.
- Zalán, P.V. & Oliveira, J.A.B. 2005. Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, mai/nov, v. 13, n. 2, p.269-300.

ANEXO I

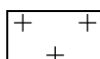
Perfis construtivos dos poços



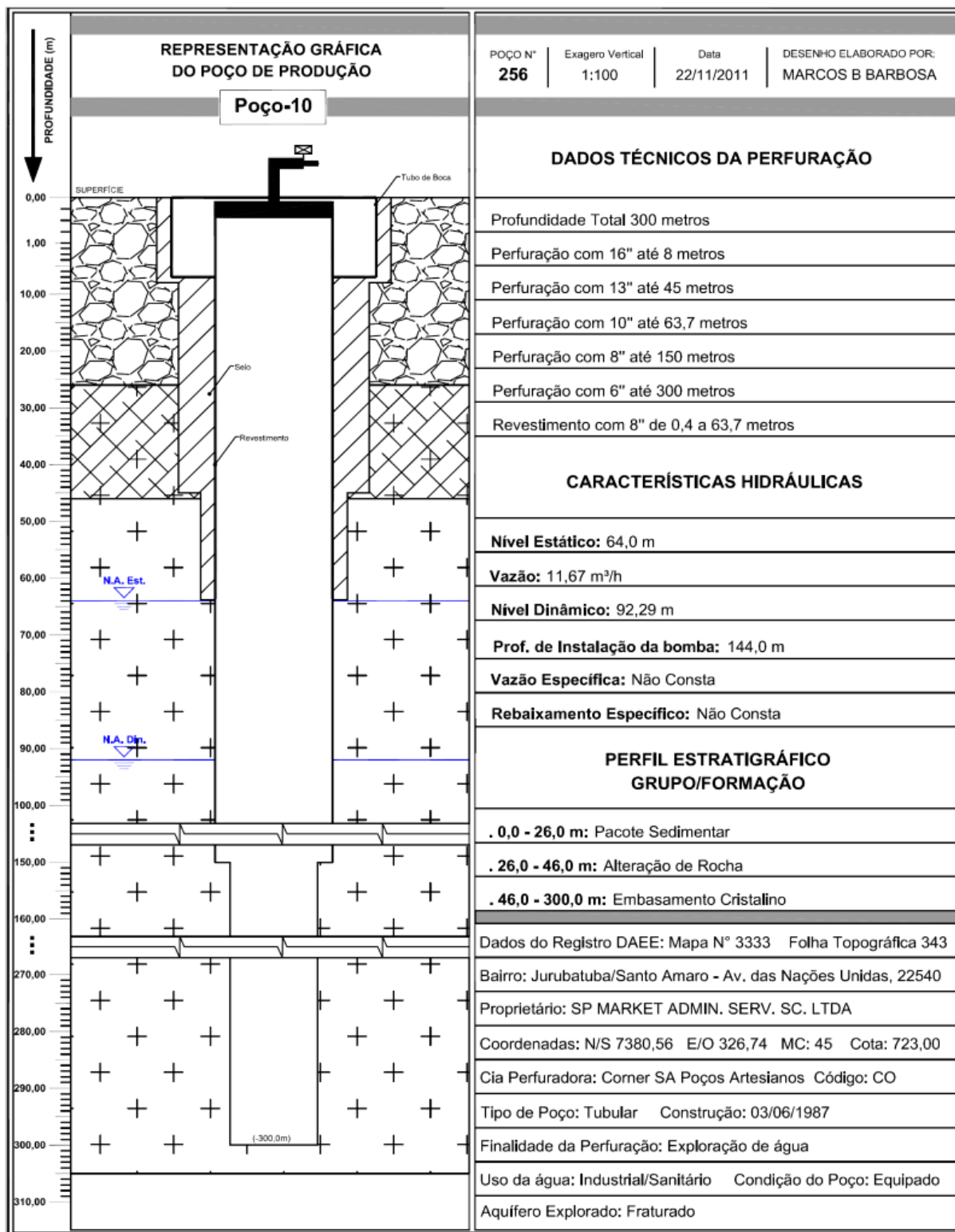
Arenitos, cascalho e arenitos conclomeráticos (Bc de São Paulo)



Saprolito (Embasamento)



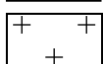
Rocha Sã (Embasamento)



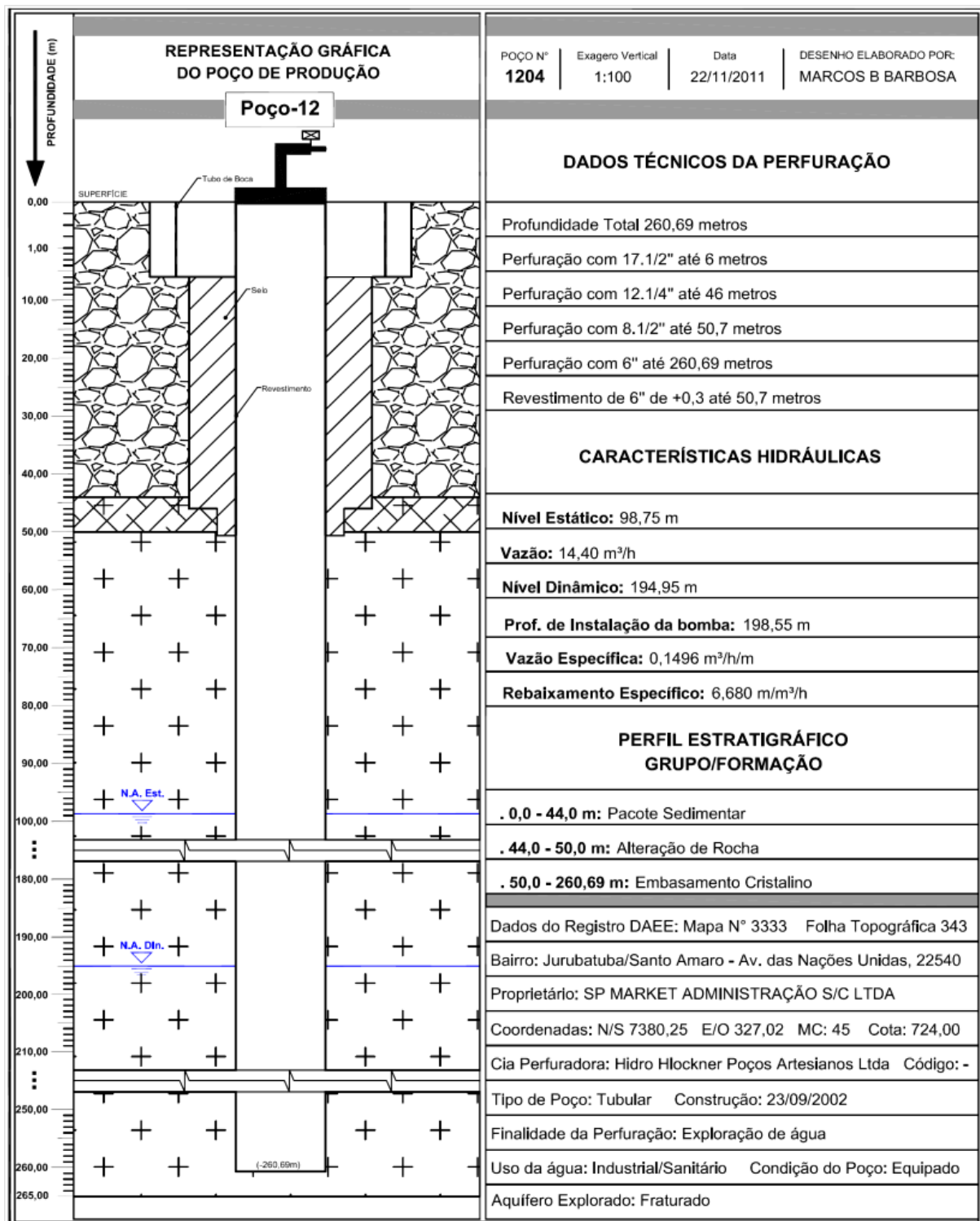
Arenitos, cascalho e arenitos conclomeráticos (Bc de São Paulo)



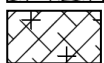
Saprolito (Embasamento)



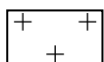
Rocha Sã (Embasamento)



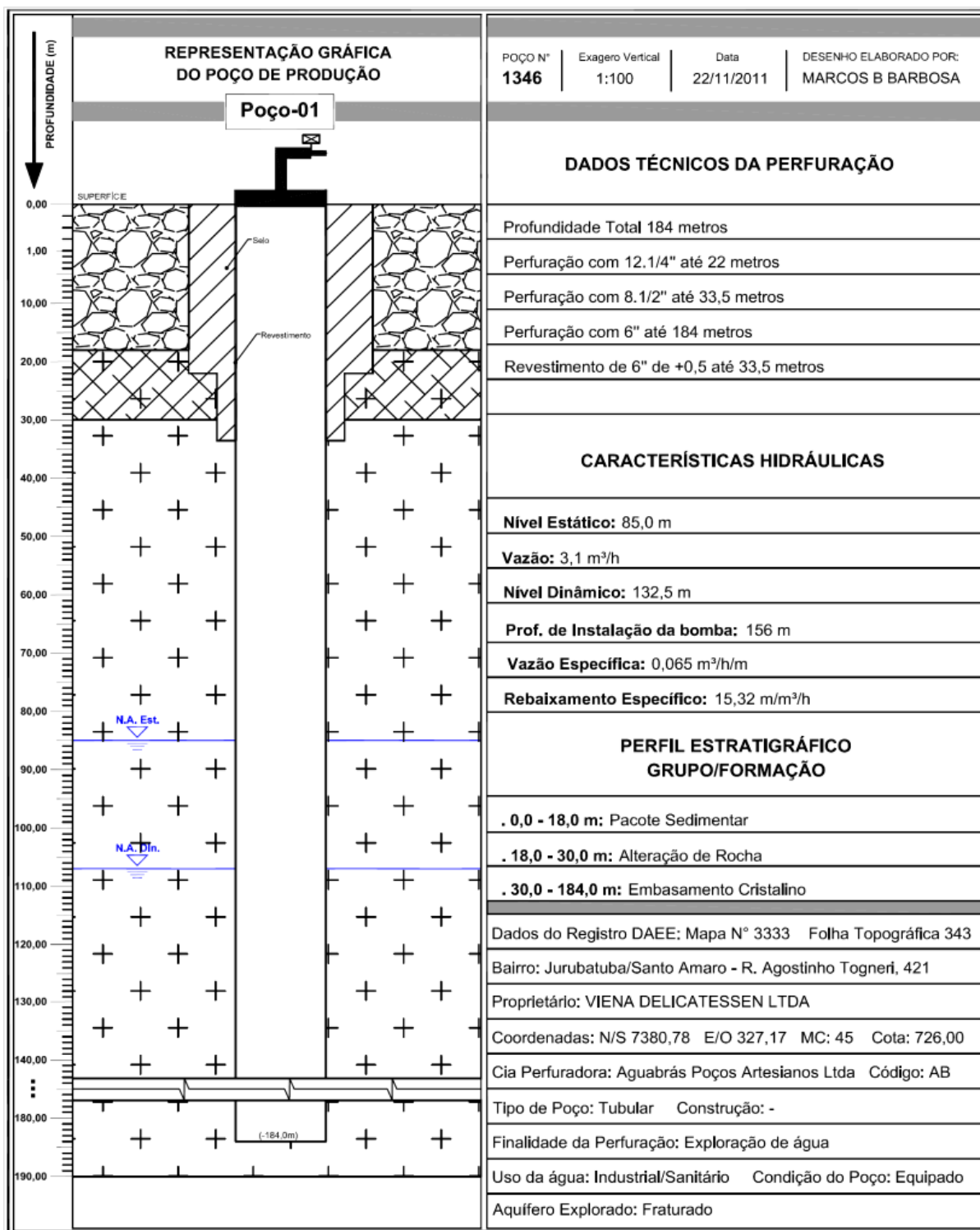
Arenitos, cascalho e arenitos conclomeráticos (Bc de São Paulo)



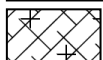
Saprolito (Embasamento)



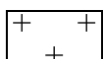
Rocha Sã (Embasamento)



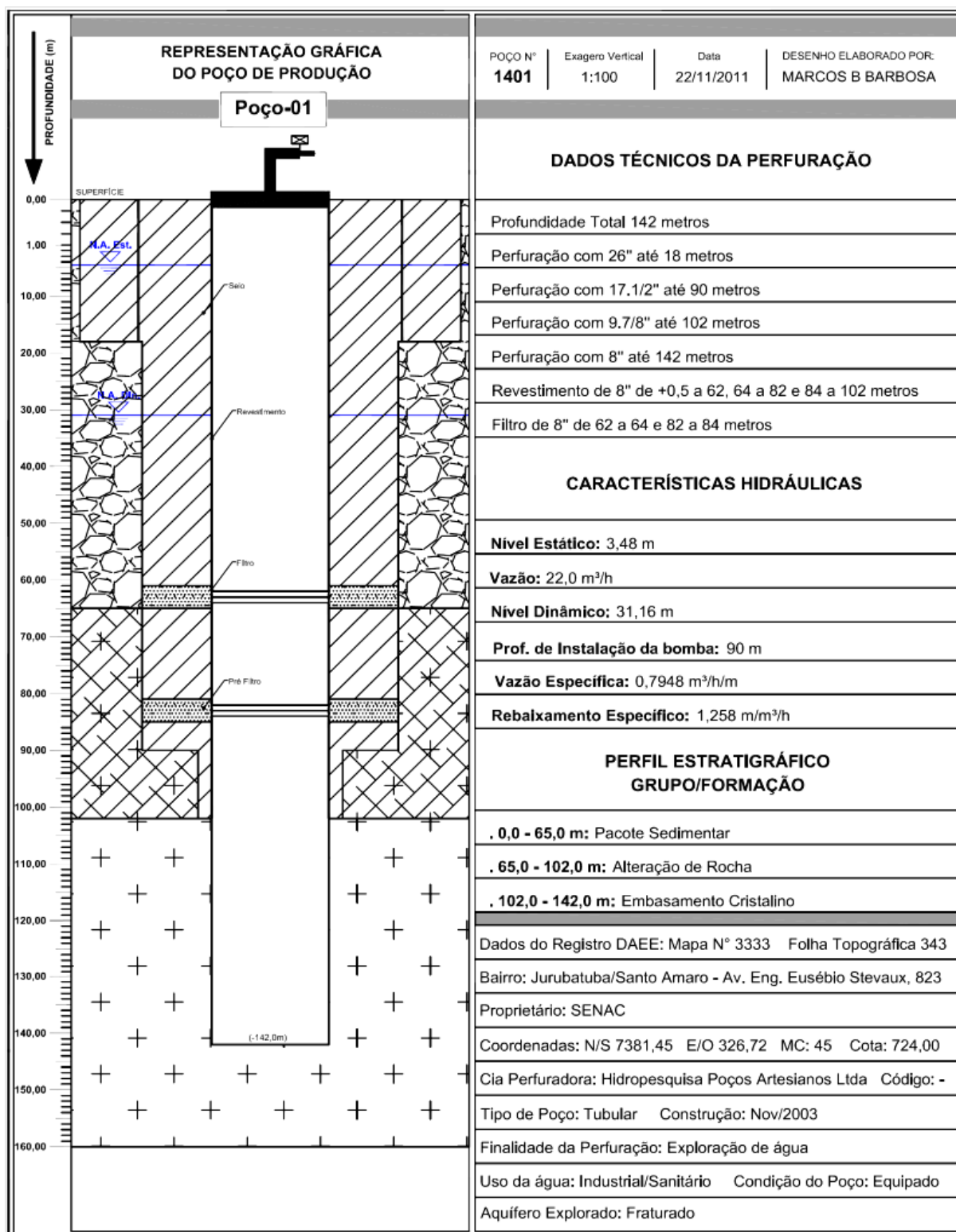
Arenitos, cascalho e arenitos congloméráticos (Bc de São Paulo)



Saprolito (Embasamento)



Rocha Sã (Embasamento)



ANEXO II

Perfis geofísicos 1:1000



GESOL

Bases Técnicas para a Gestão de Áreas Contaminadas por Solventes Clorados

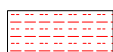
<http://www.cepas.net.br/gesol/>

Parceiros:



Equipe: C. Birelli, R. Bertolo, A.J. Fernandes, P. Lima, B. Fiume, L. Andreatta

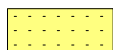
Litologia



Solo argilo-arenoso



Solo argiloso com muita mica



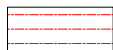
Bc de SP - Areia



Bc de SP - Areia intercalada com argila



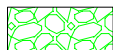
Bc de SP - Argila orgânica esbranquiçada



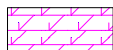
Bc de SP - Argila



Bc de SP - Argila plástica acinzentada



Bc de SP - Cascalho mal selecionado



Embasamento - Saprolito



Embasamento - Pegmatitos e Granitos



Embasamento - Bt-Ms-Qzo-Xisto com granada

Estruturas



S - Bandamento ou foliação



F - Fratura



0 - Fratura preenchida



1 - Fratura parcialmente aberta



2 - Fratura aberta



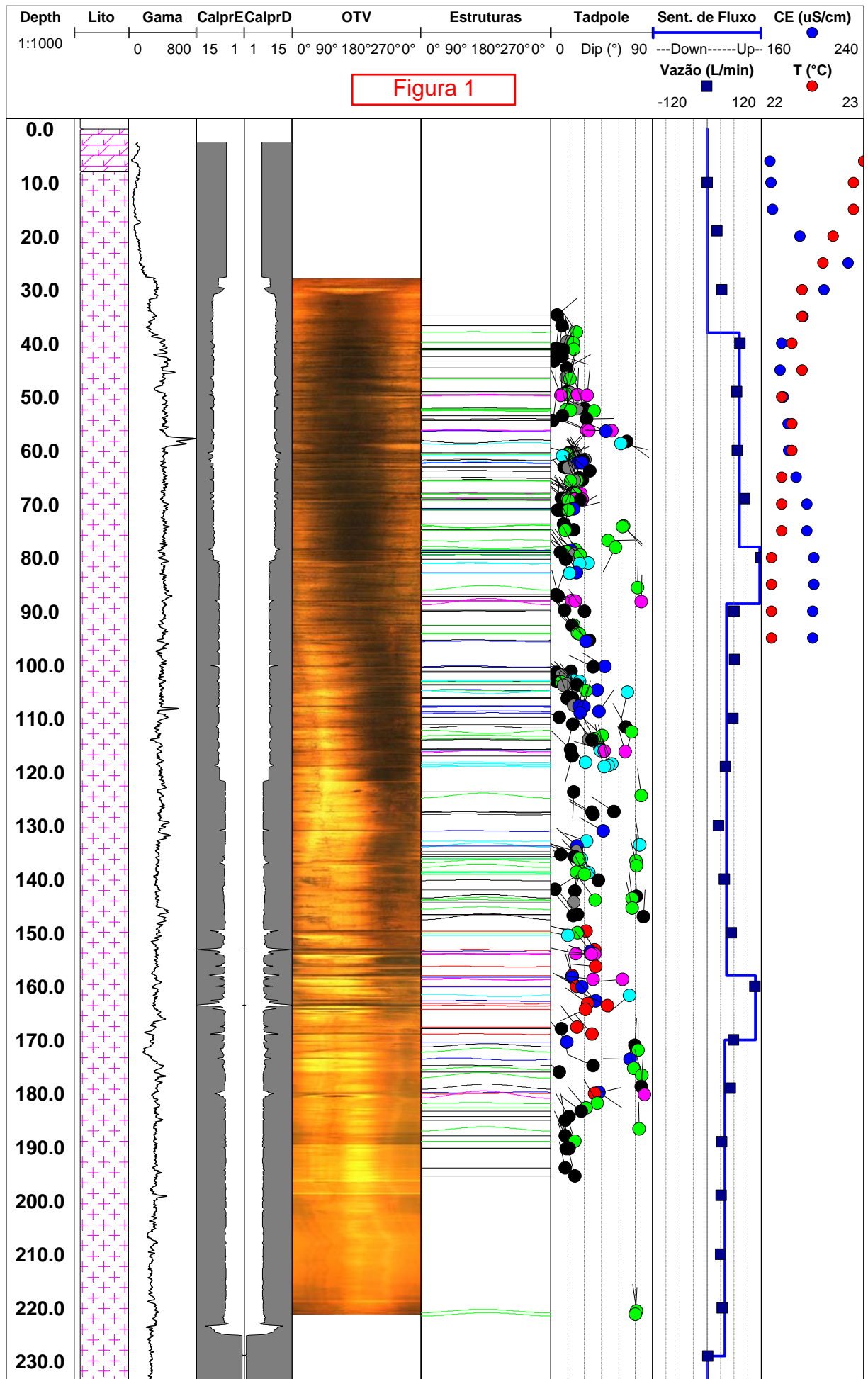
3 - Fratura francamente aberta

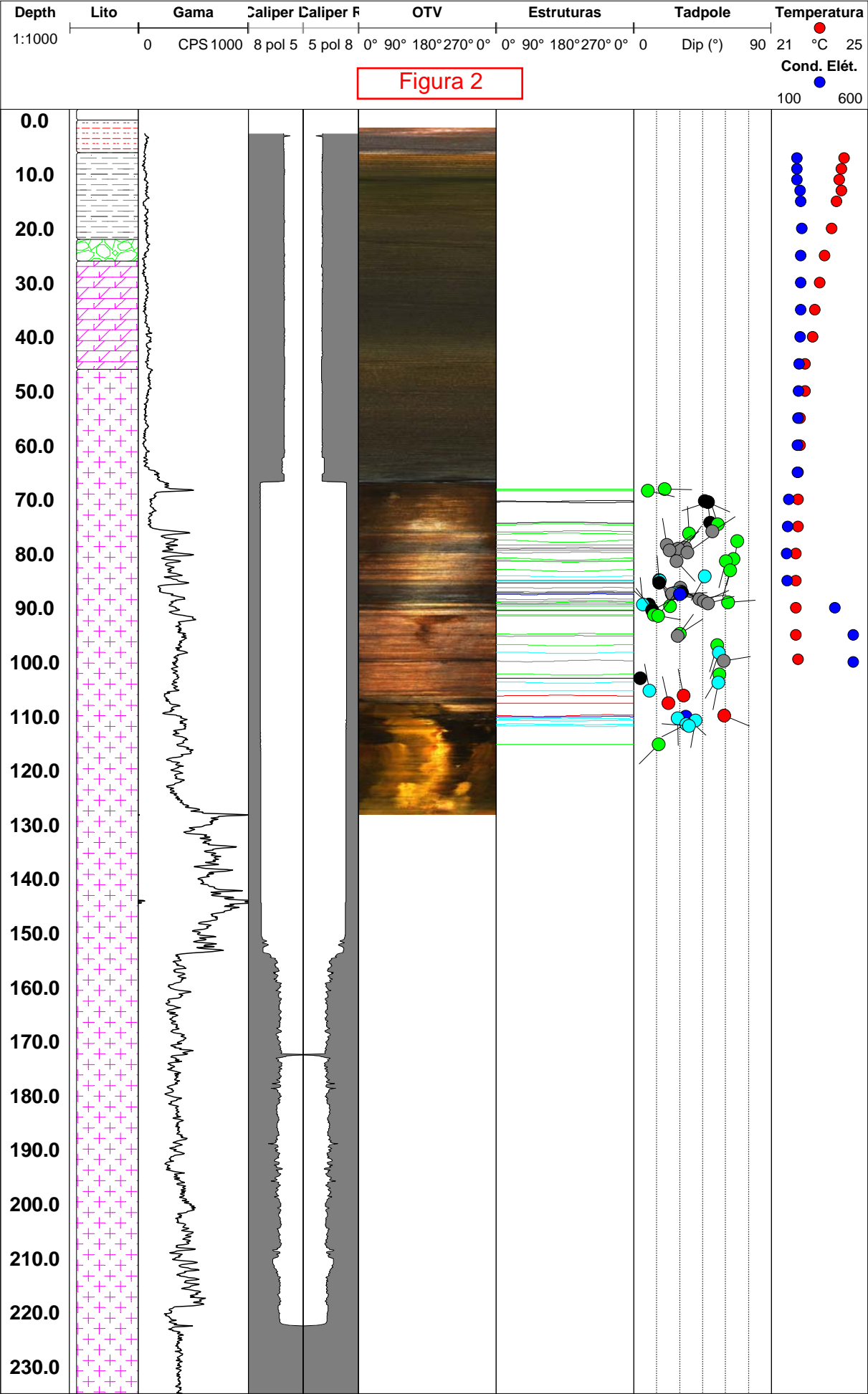


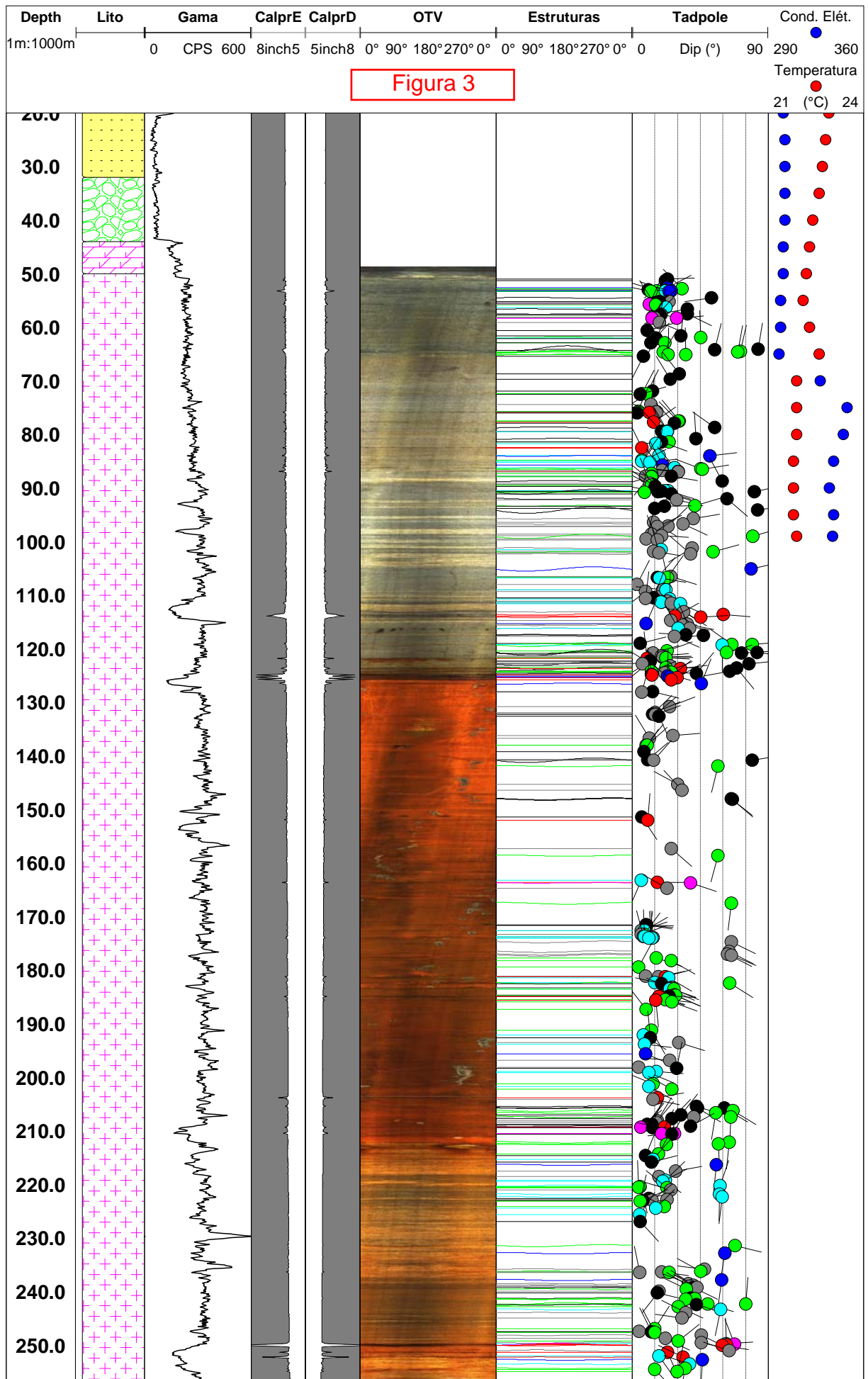
4 - Fraturas interconectadas

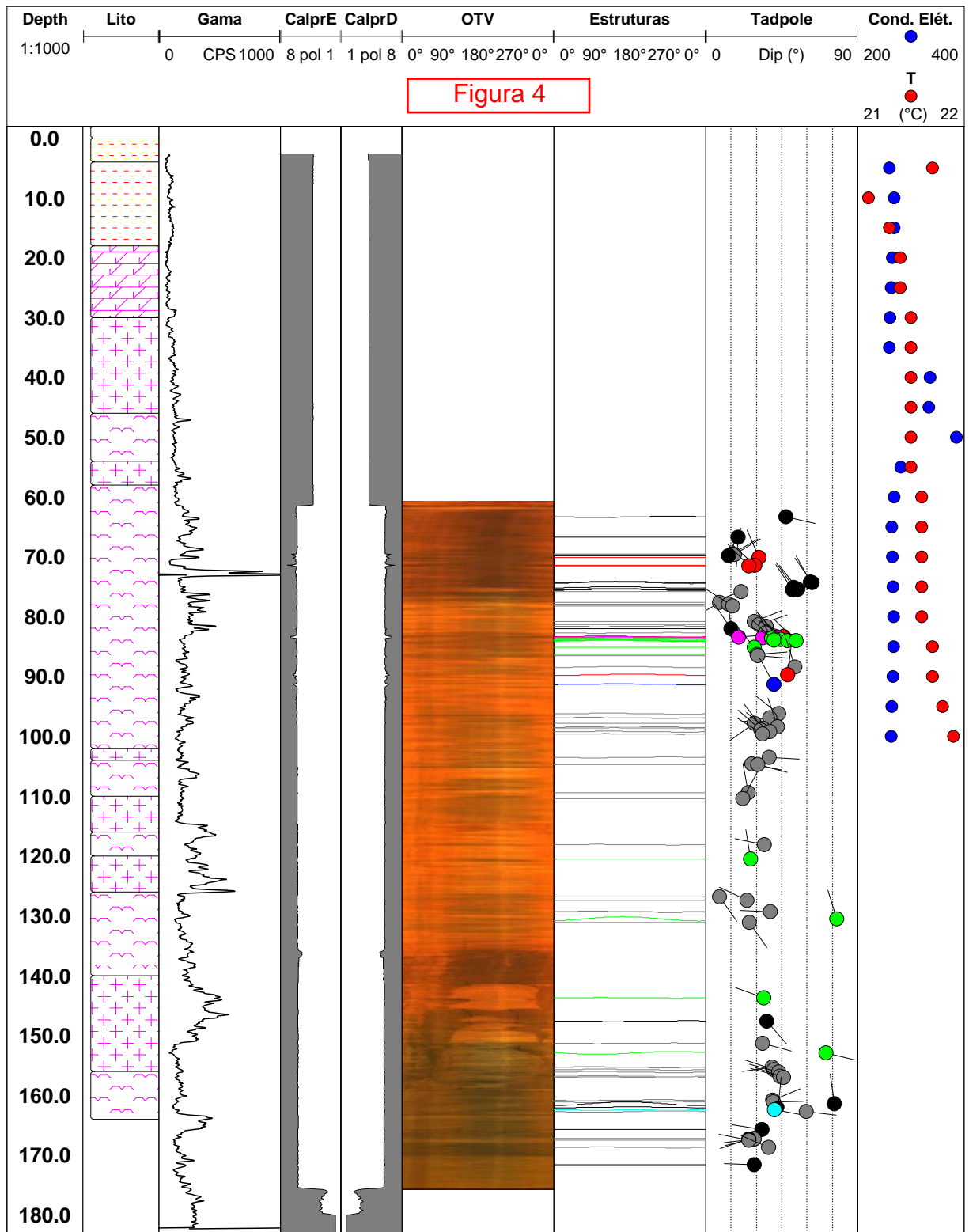


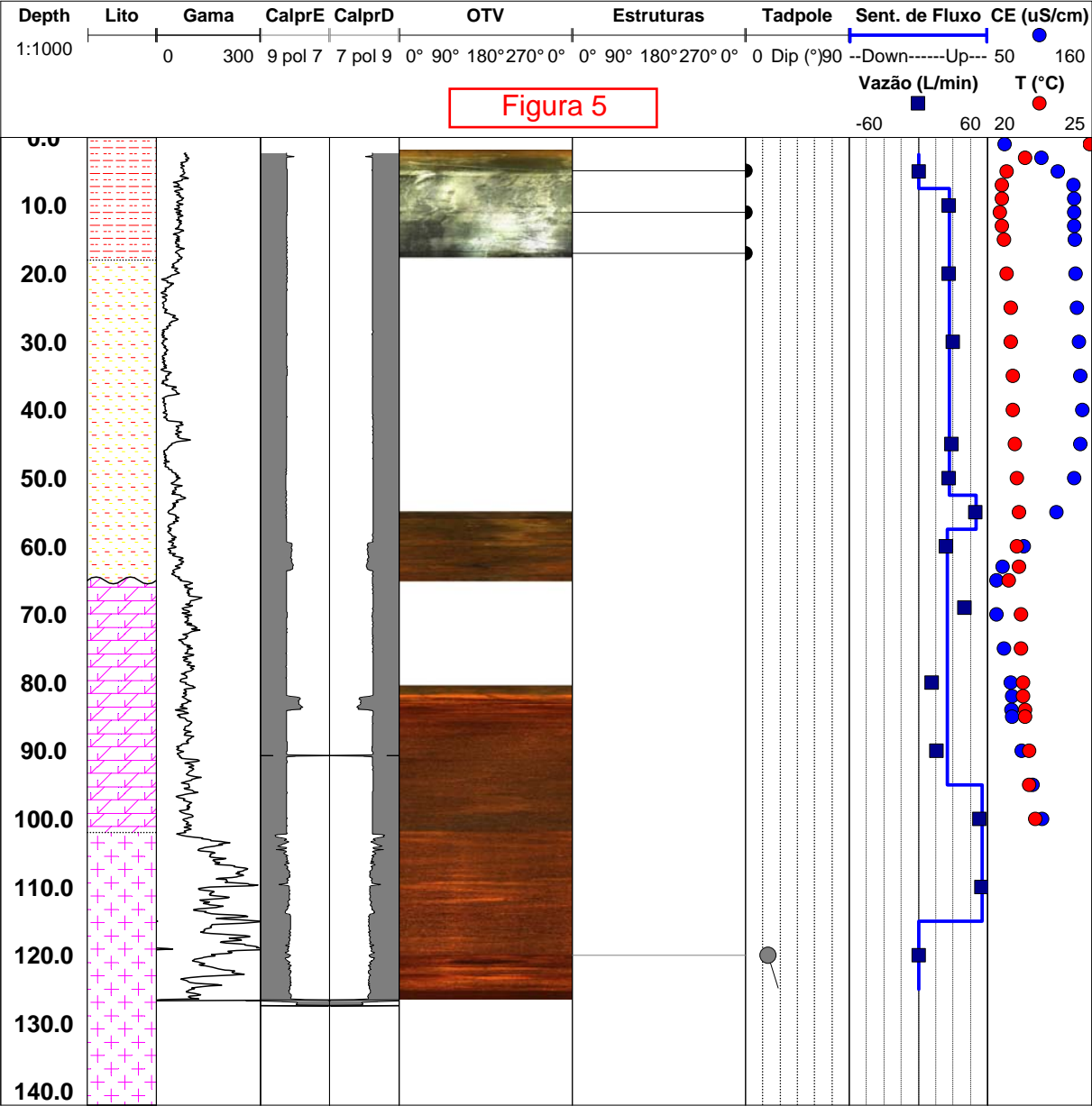
5 - Zona de fraturamento principal











ANEXO III

Imagens OTV



Figura 1a. Imagens OTV obtidas no poço W255, orientadas conforme o norte magnético.

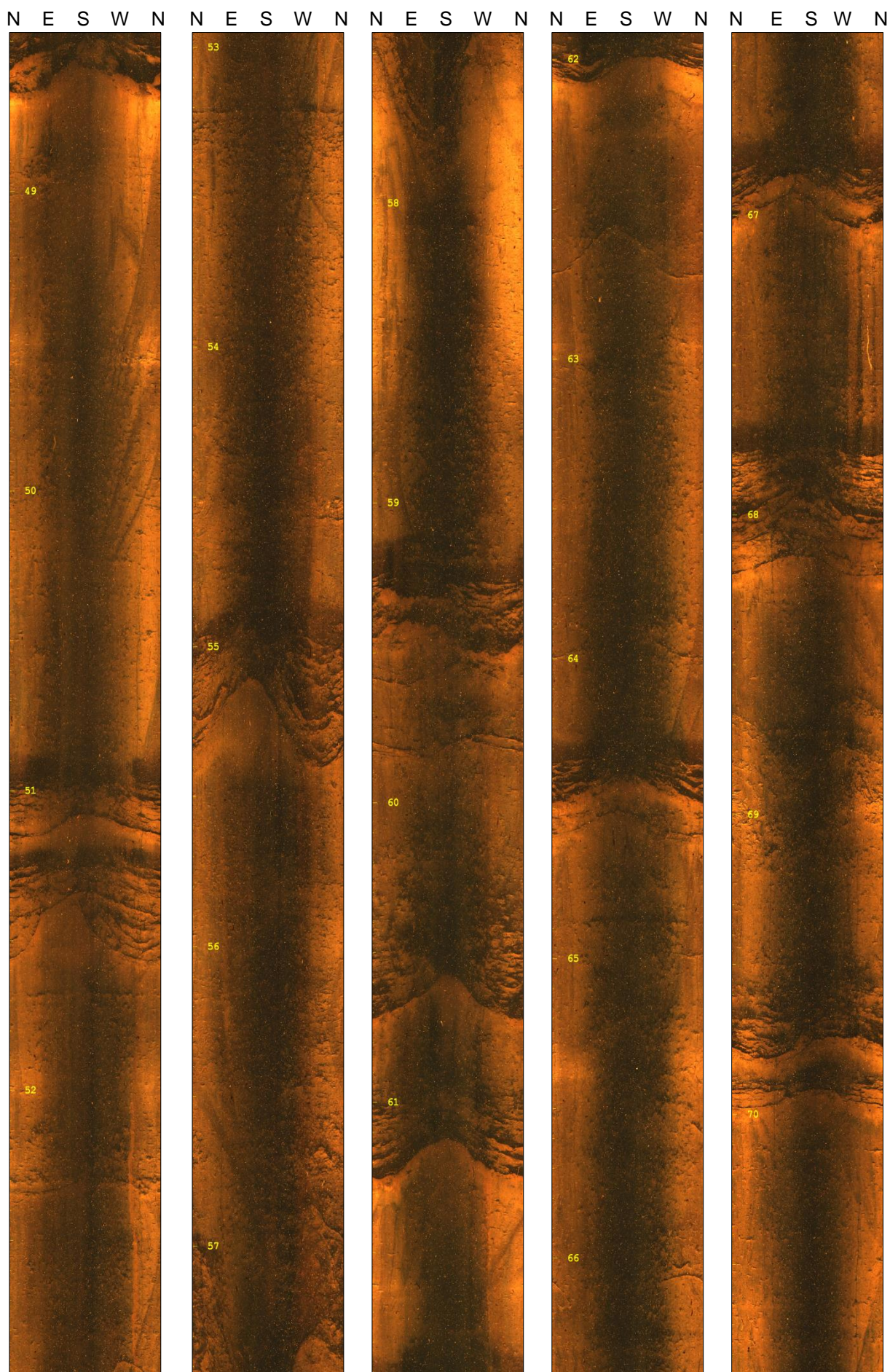


Figura 1b. Imagens OTV obtidas no poço W255, orientadas conforme o norte magnético.



Figura 1c. Imagens OTV obtidas no poço W255, orientadas conforme o norte magnético.

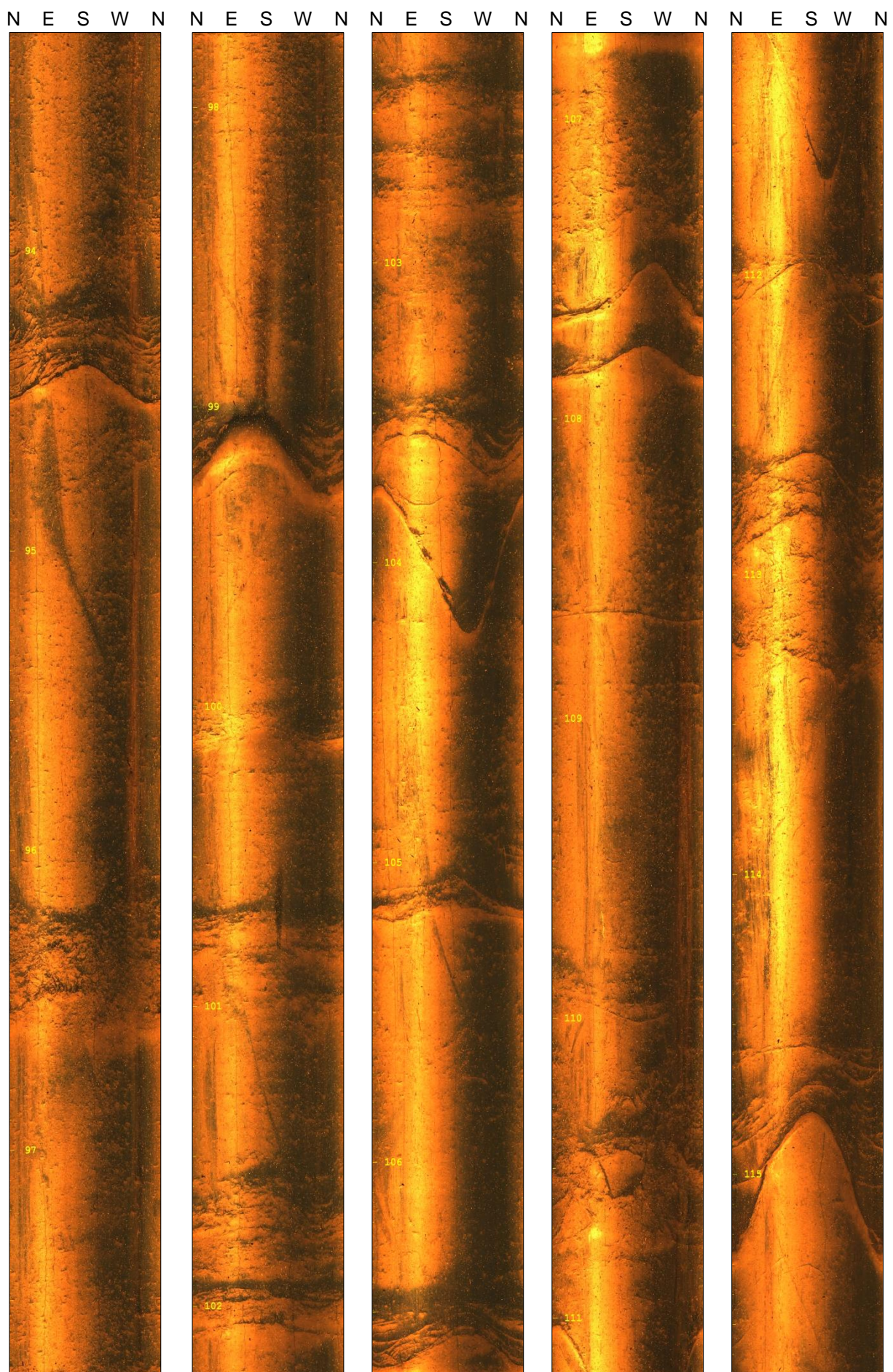


Figura 1d. Imagens OTV obtidas no poço W255, orientadas conforme o norte magnético.

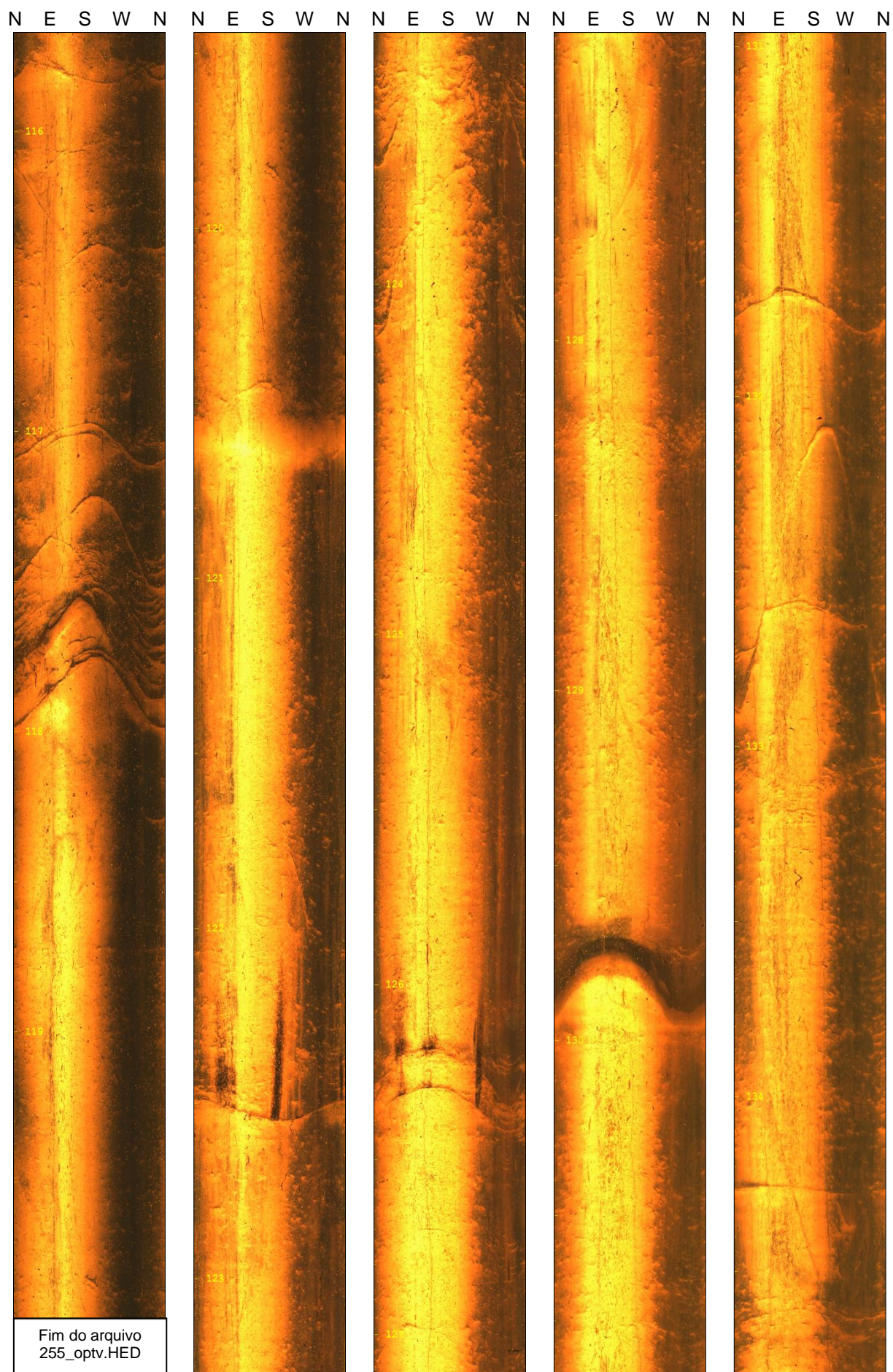


Figura 1e. Imagens OTV obtidas no poço W255, orientadas conforme o norte magnético.

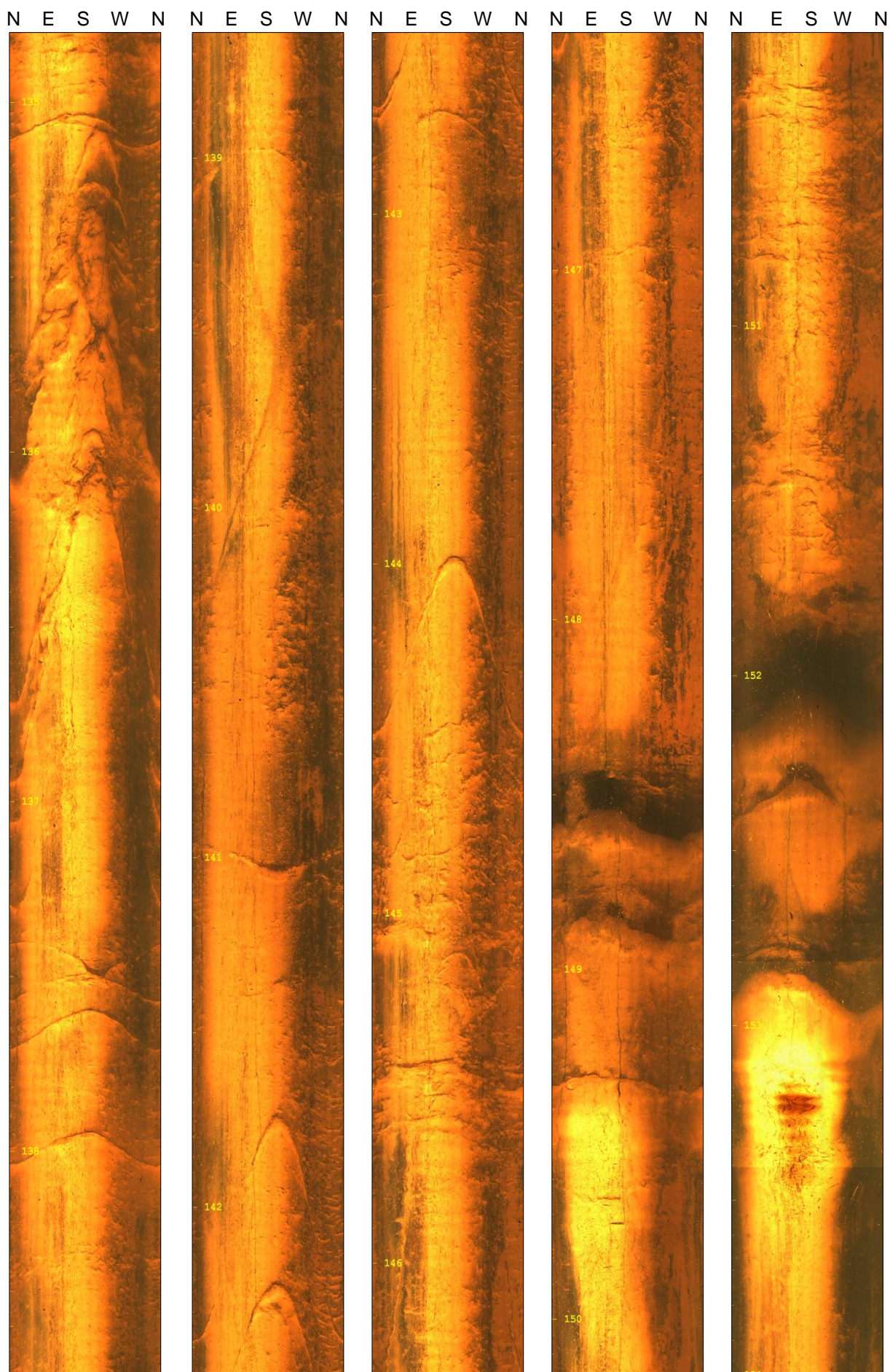


Figura 1f. Imagens OTV obtidas no poço W255, orientadas conforme o norte magnético.

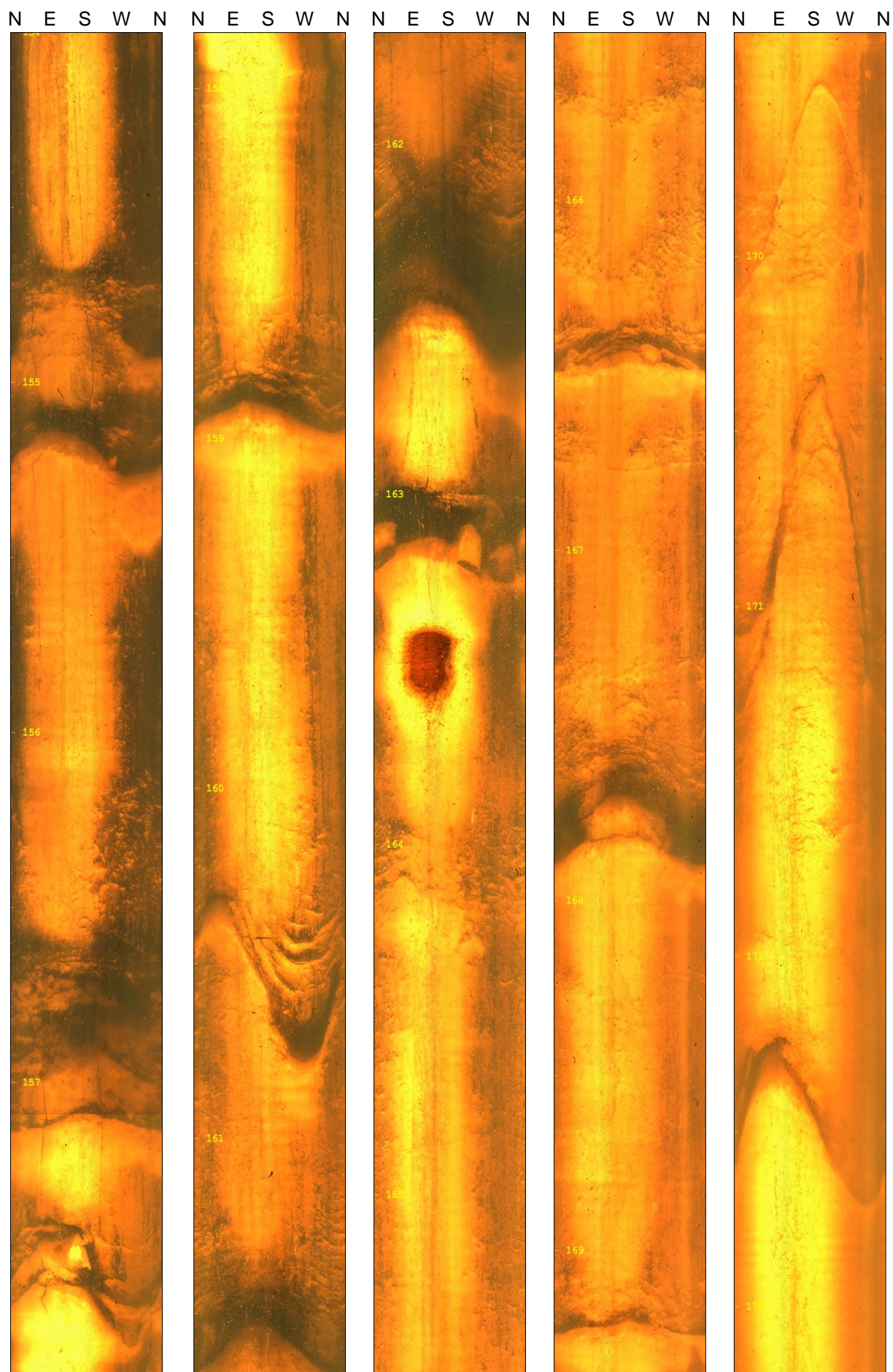


Figura 1g. Imagens OTV obtidas no poço W255, orientadas conforme o norte magnético.

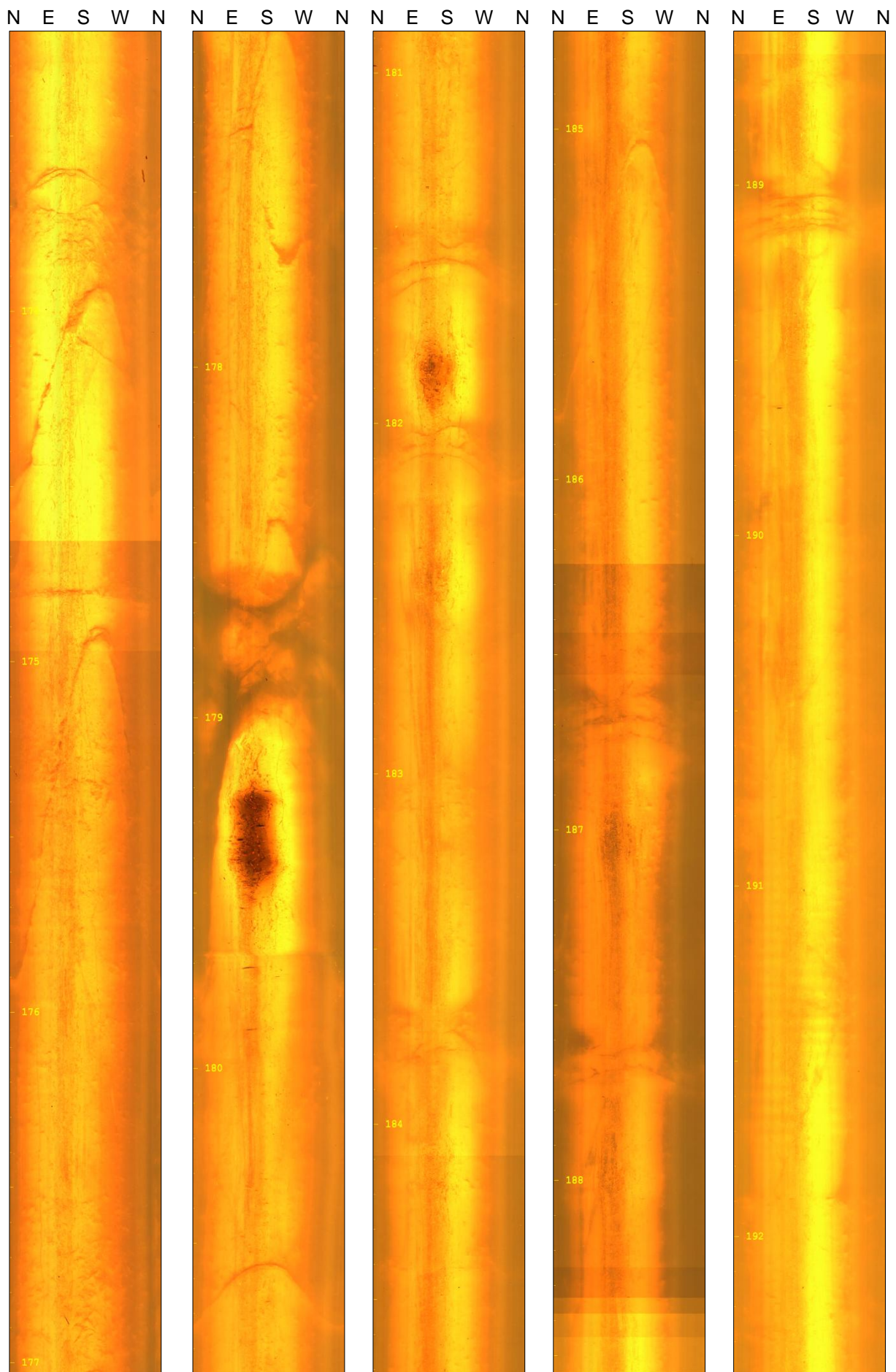


Figura 1h. Imagens OTV obtidas no poço W255, orientadas conforme o norte magnético.

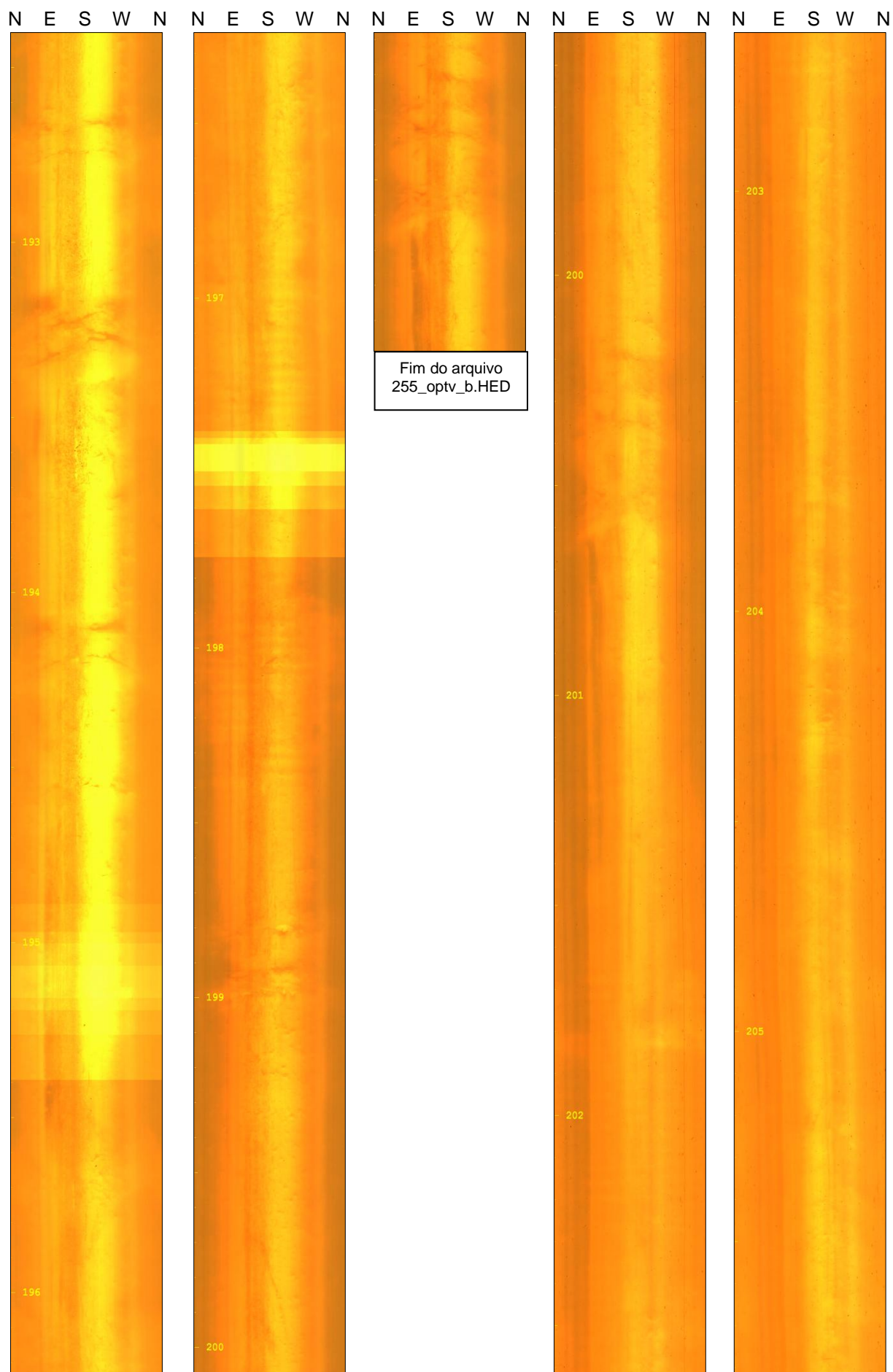


Figura 1i. Imagens OTV obtidas no poço W255, orientadas conforme o norte magnético.

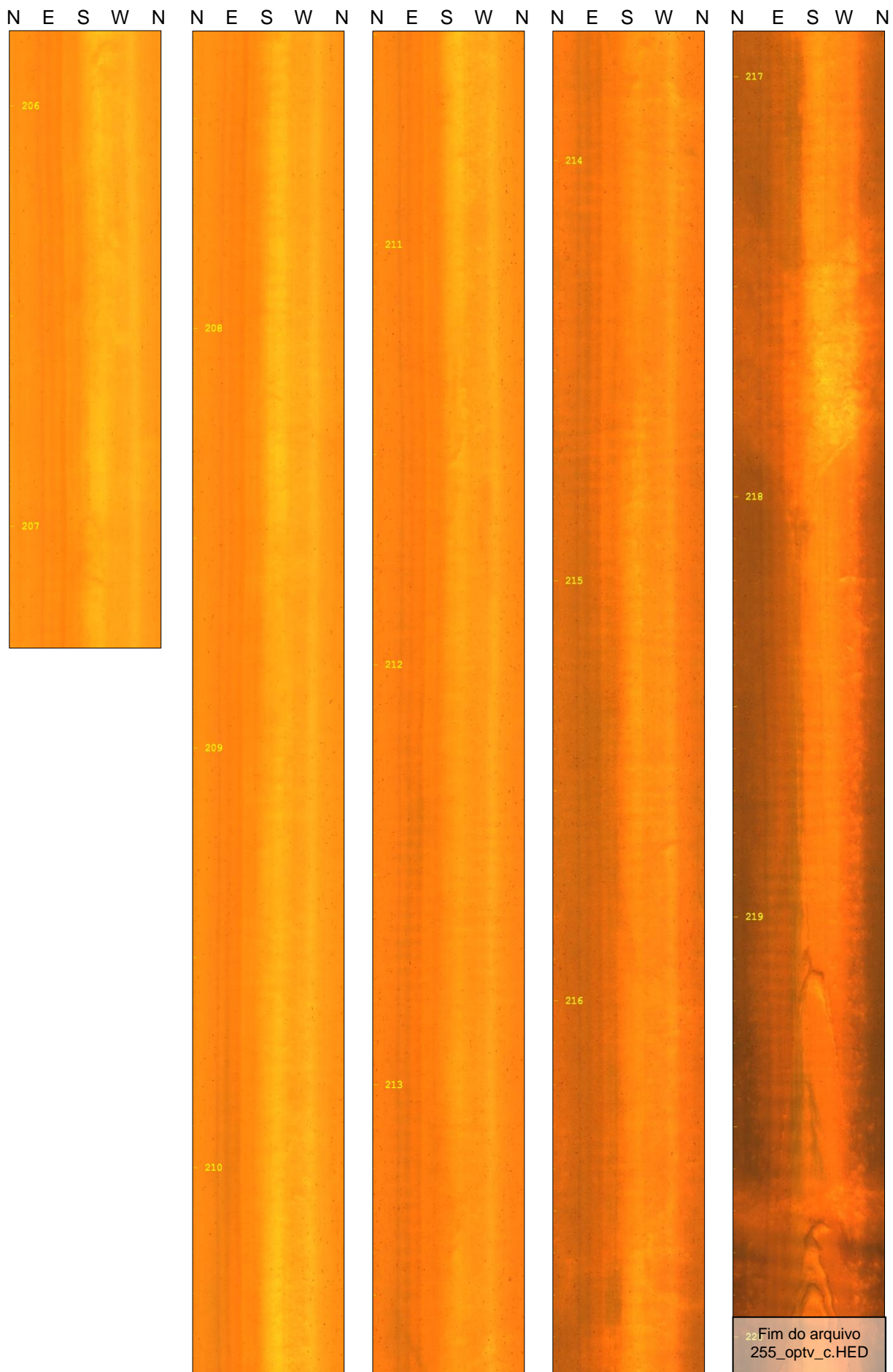


Figura 1j. Imagens OTV obtidas no poço W255, orientadas conforme o norte magnético.

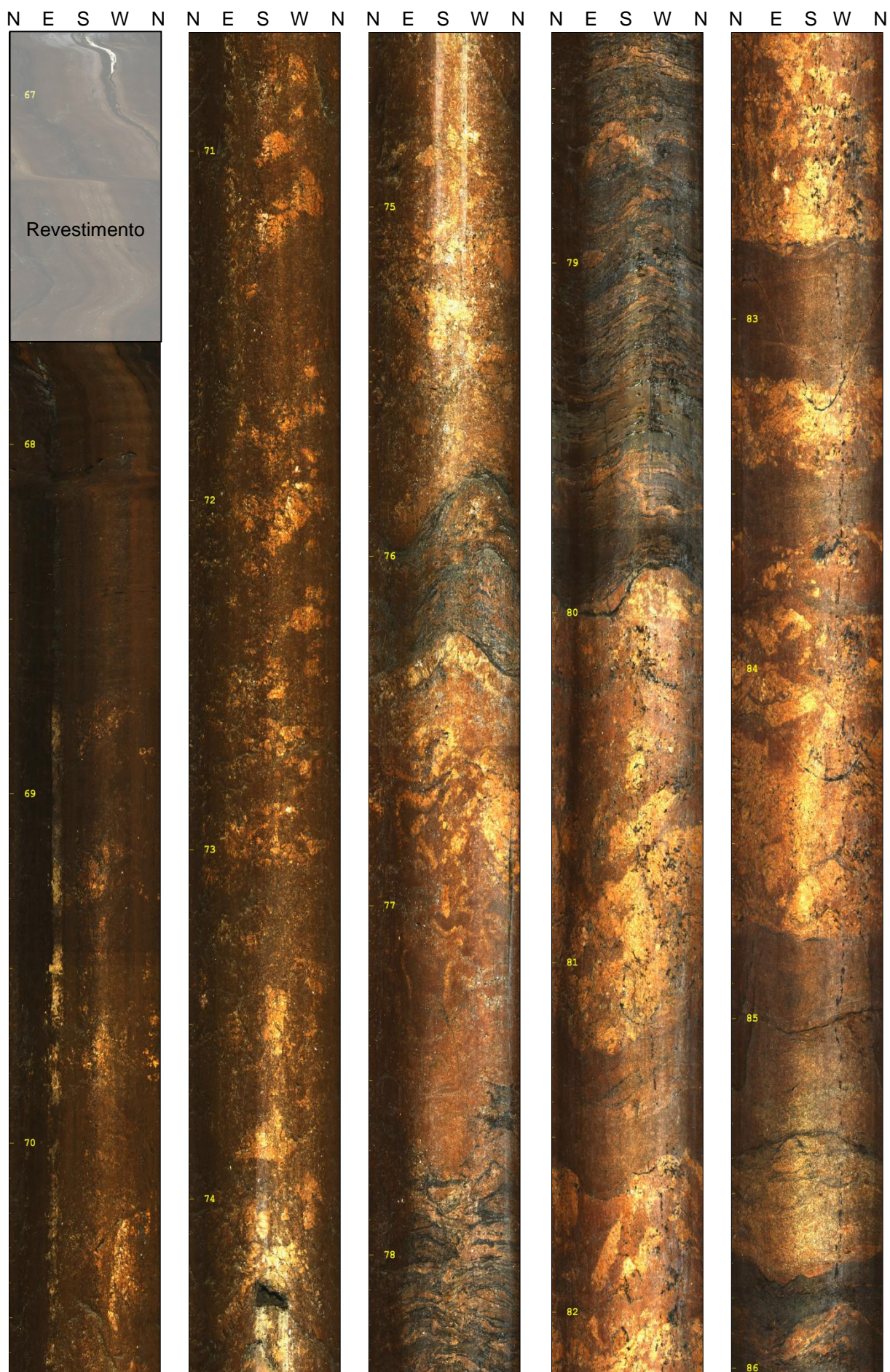


Figura 2a. Imagens OTV obtidas no poço W256, orientadas conforme o norte magnético.



Figura 2b. Imagens OTV obtidas no poço W256, orientadas conforme o norte magnético.



Figura 2c. Imagens OTV obtidas no poço W256, orientadas conforme o norte magnético.

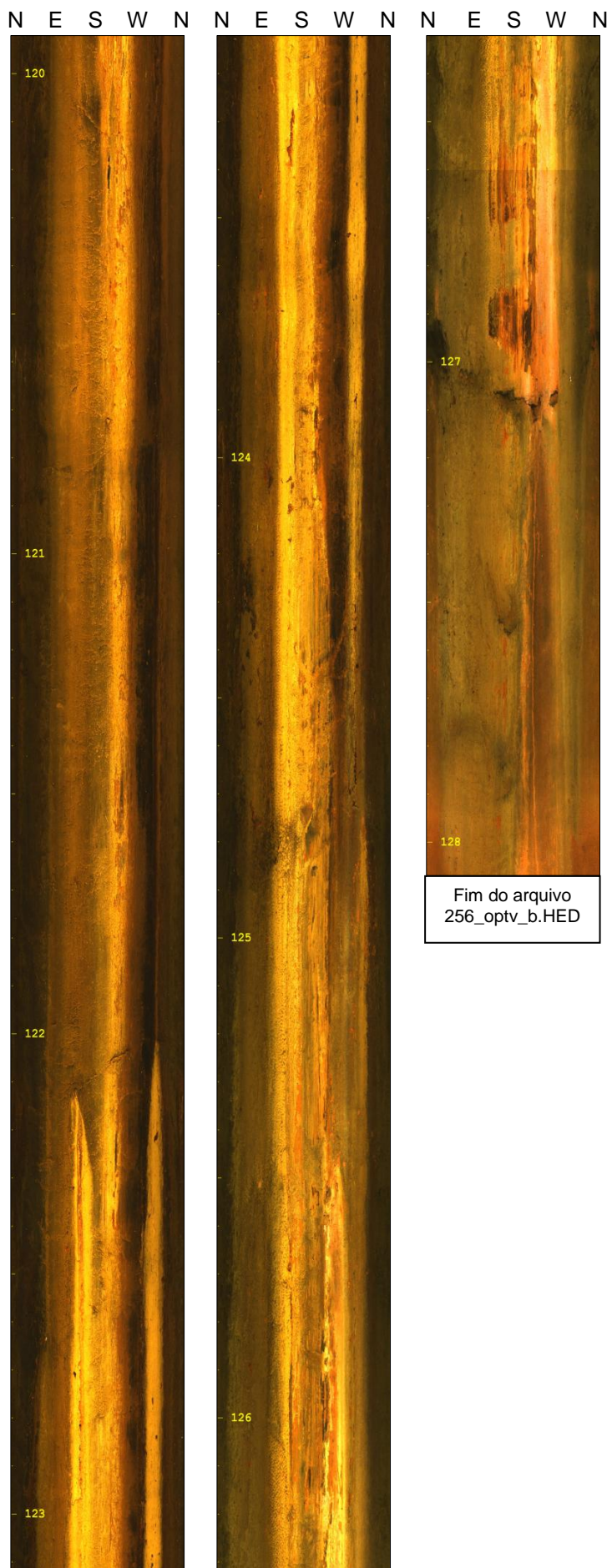


Figura 2d. Imagens OTV obtidas no poço W256, orientadas conforme o norte magnético.

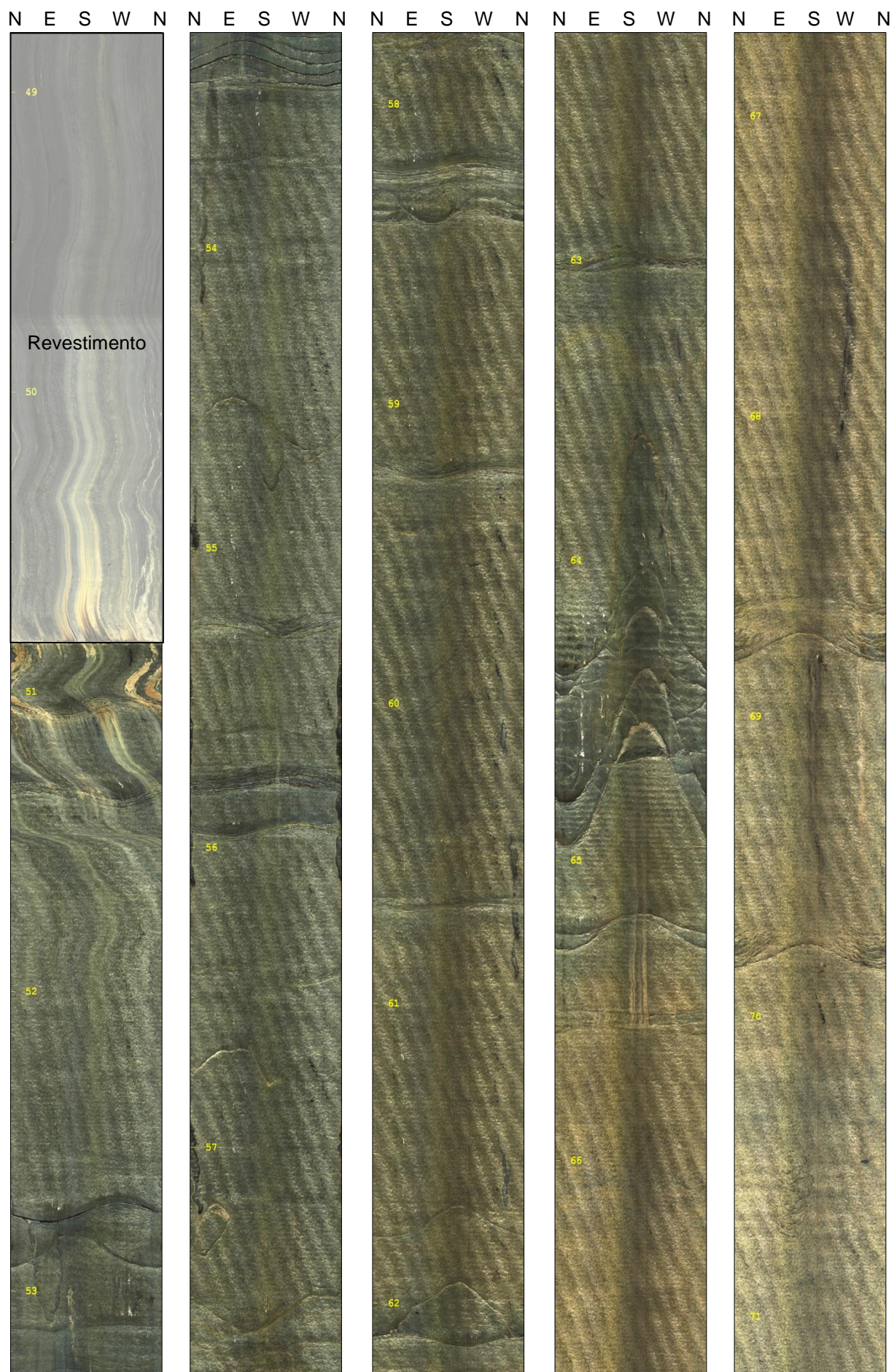


Figura 3a. Imagens OTV obtidas no poço W1204, orientadas conforme o norte magnético.

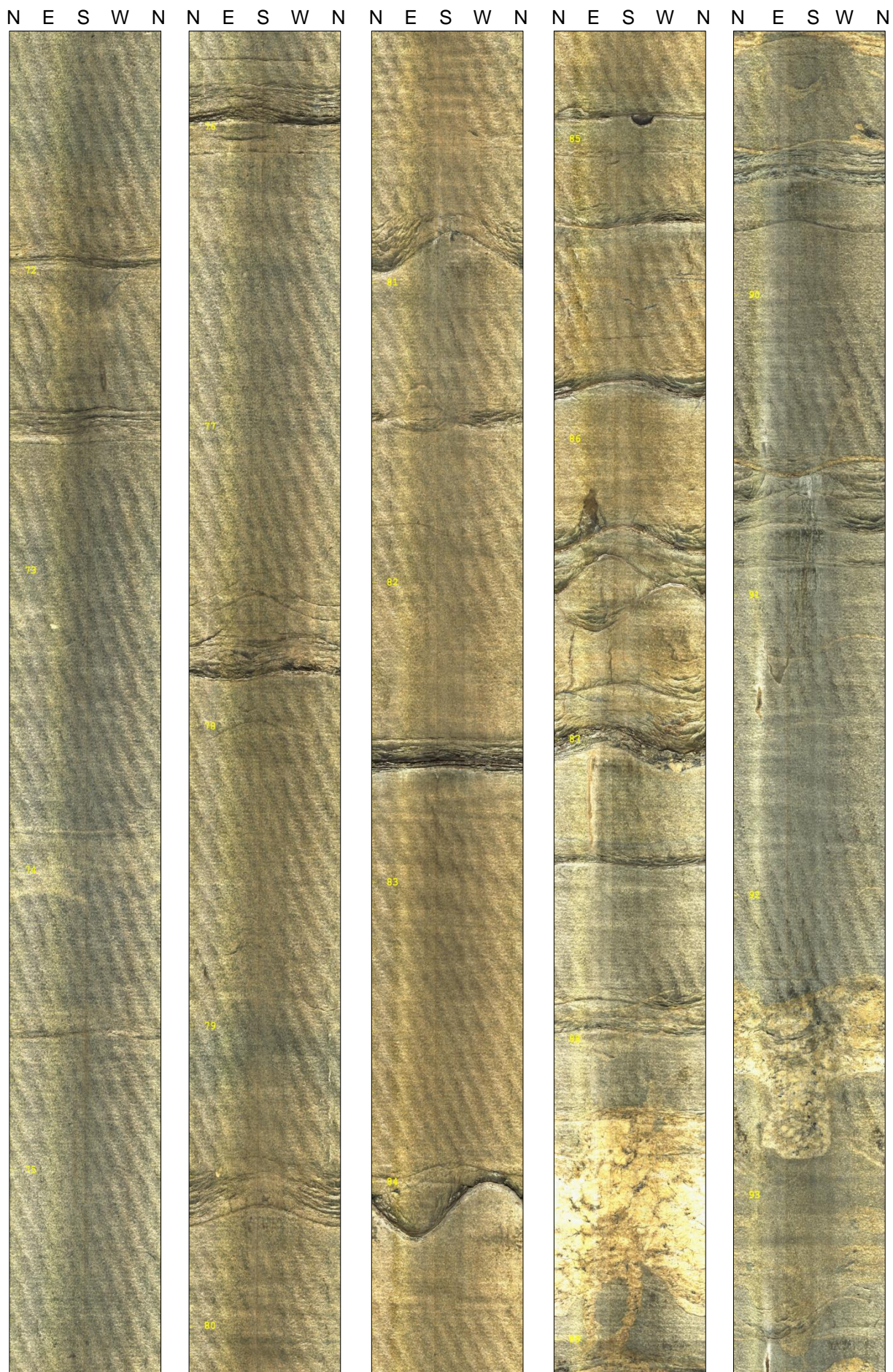


Figura 3b. Imagens OTV obtidas no poço W1204, orientadas conforme o norte magnético.

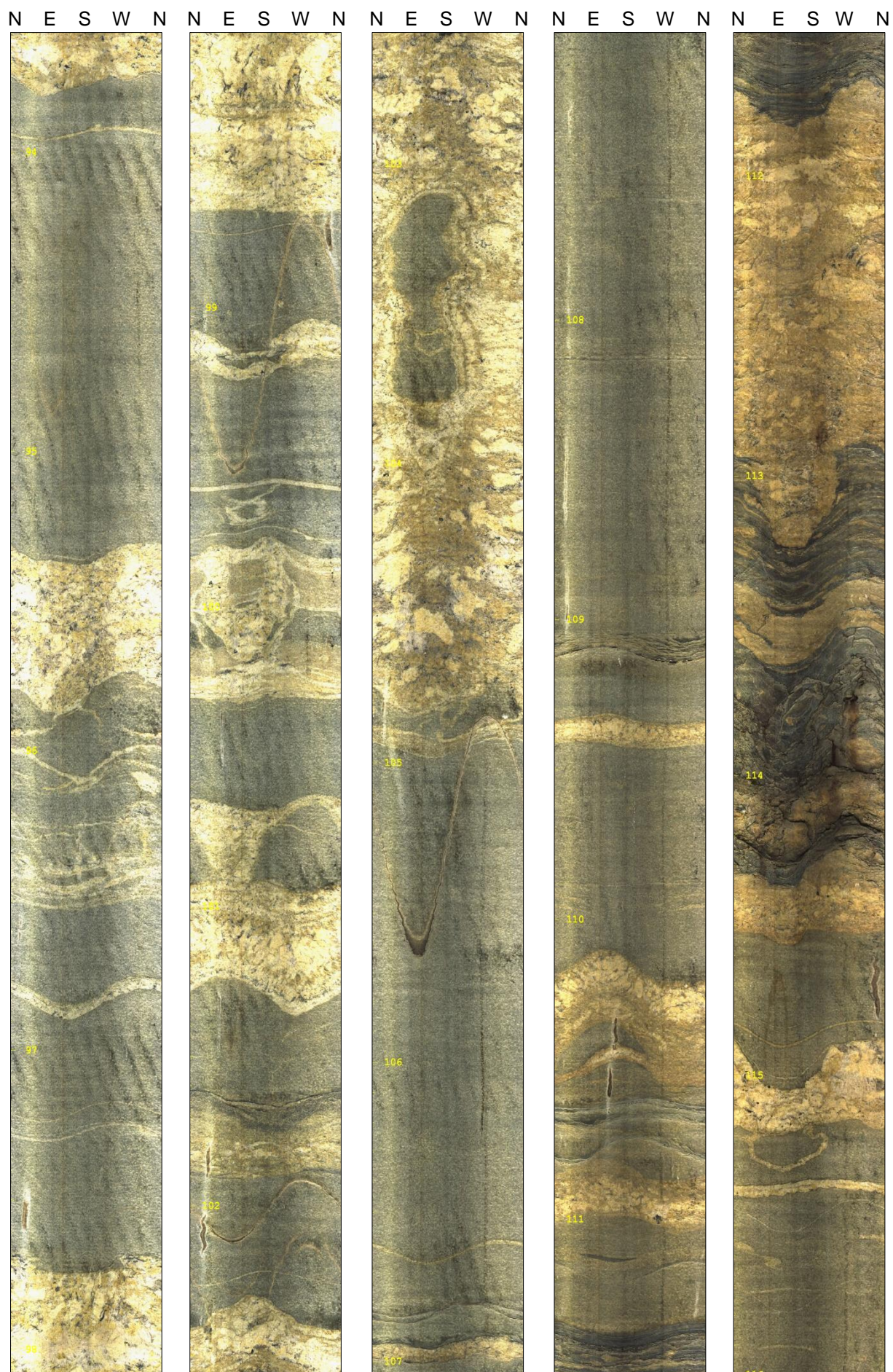


Figura 3c. Imagens OTV obtidas no poço W1204, orientadas conforme o norte magnético.

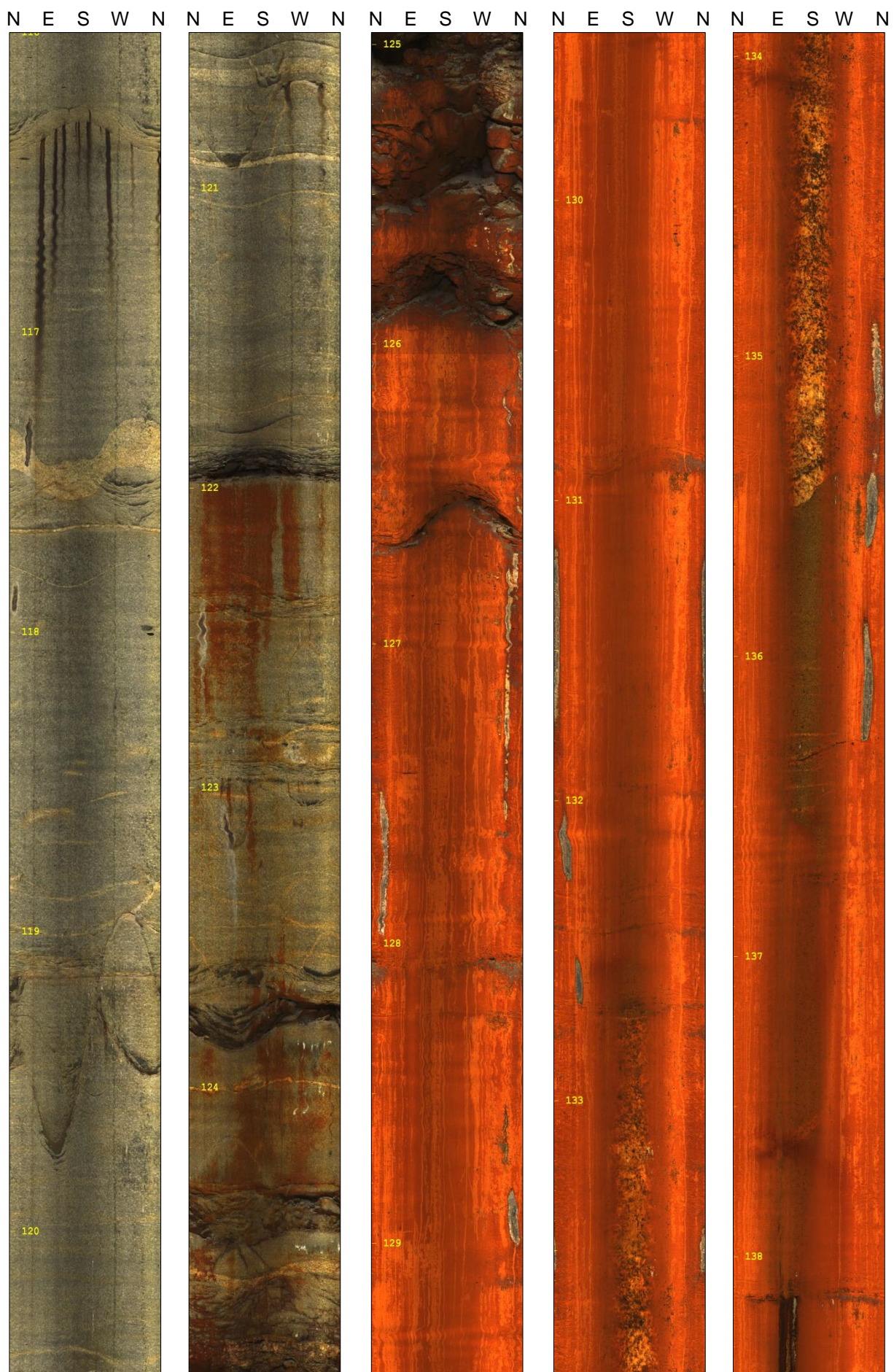


Figura 3d. Imagens OTV obtidas no poço W1204, orientadas conforme o norte magnético.



Figura 3e. Imagens OTV obtidas no poço W1204, orientadas conforme o norte magnético.



Figura 3f. Imagens OTV obtidas no poço W1204, orientadas conforme o norte magnético.



Figura 3g. Imagens OTV obtidas no poço W1204, orientadas conforme o norte magnético.

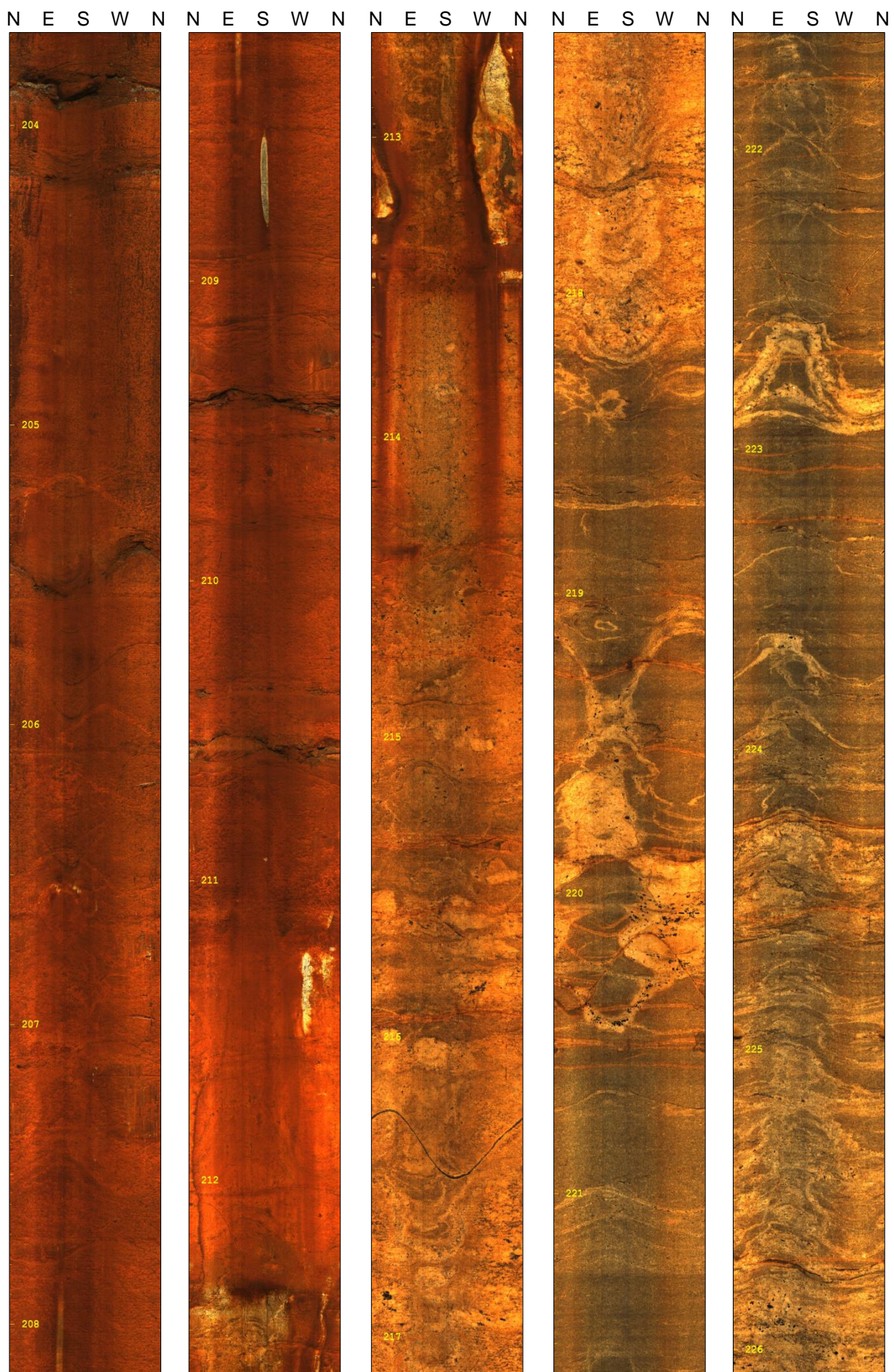


Figura 3h. Imagens OTV obtidas no poço W1204, orientadas conforme o norte magnético.

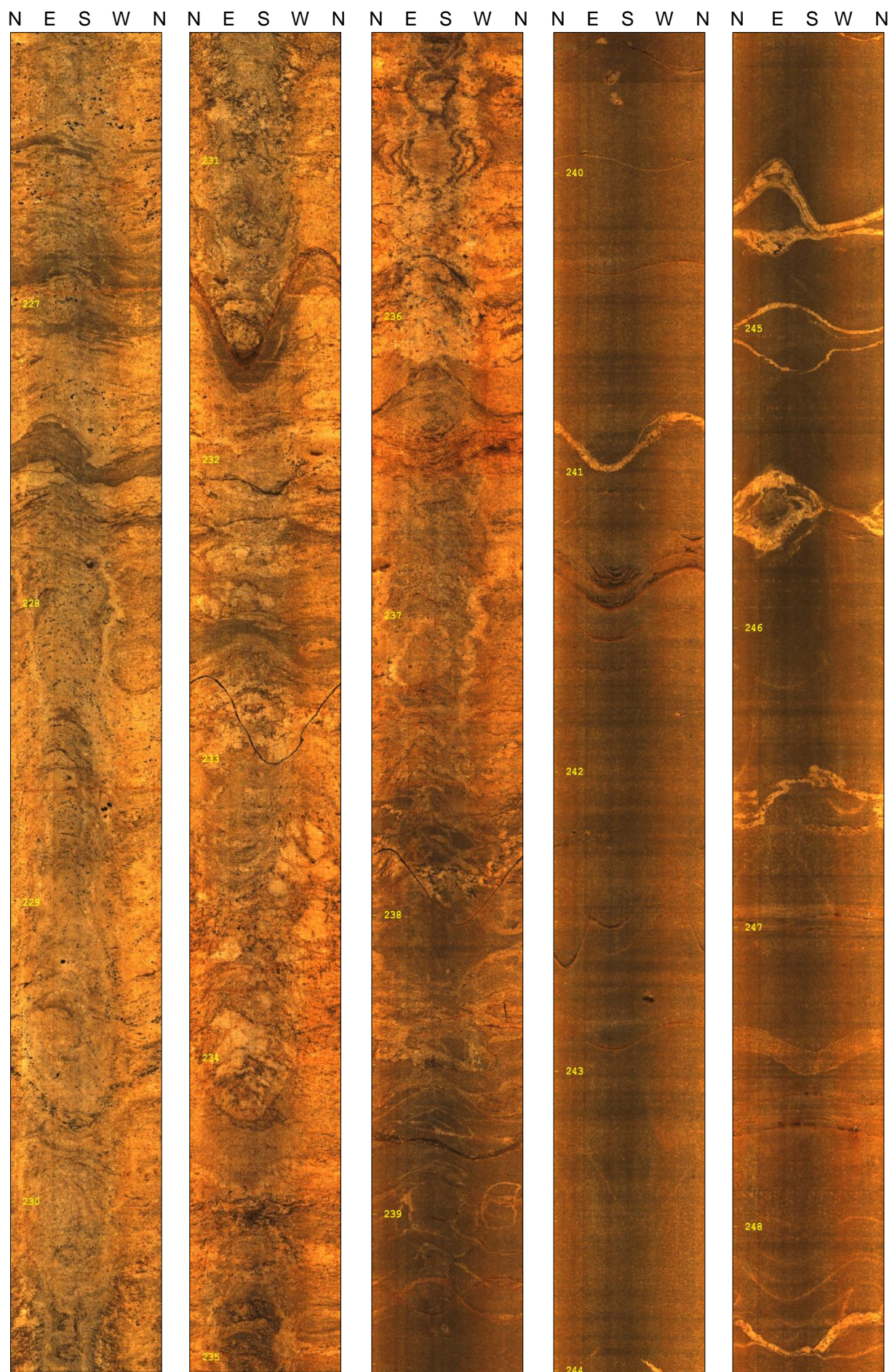


Figura 3i. Imagens OTV obtidas no poço W1204, orientadas conforme o norte magnético.

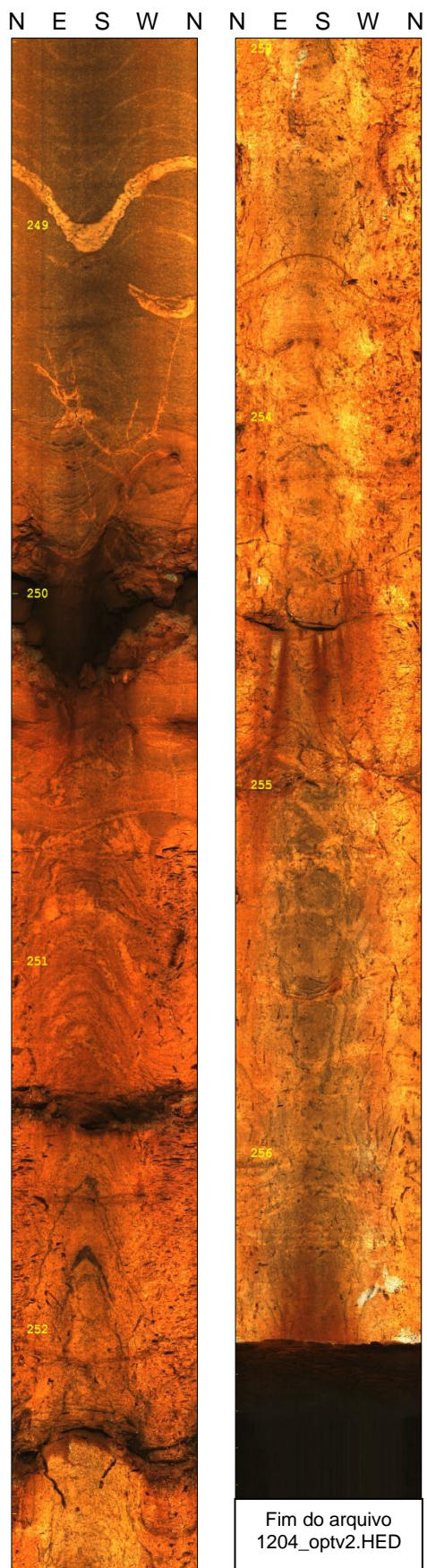


Figura 3j. Imagens OTV obtidas no poço W1204, orientadas conforme o norte magnético.

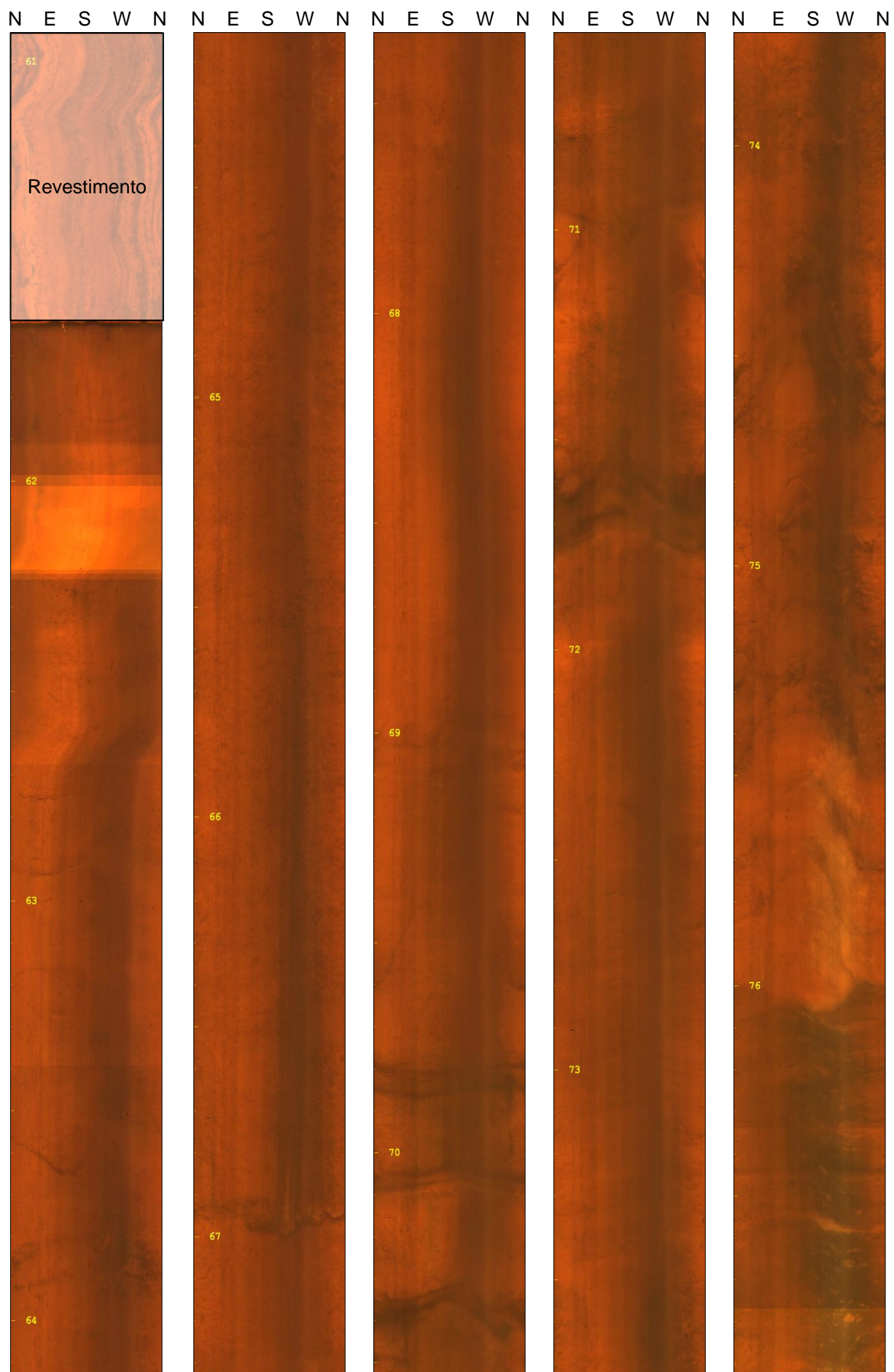


Figura 4a. Imagens OTV obtidas no poço W1346, orientadas conforme o norte magnético.



Figura 4b. Imagens OTV obtidas no poço W1346, orientadas conforme o norte magnético.



Figura 4c. Imagens OTV obtidas no poço W1346, orientadas conforme o norte magnético.

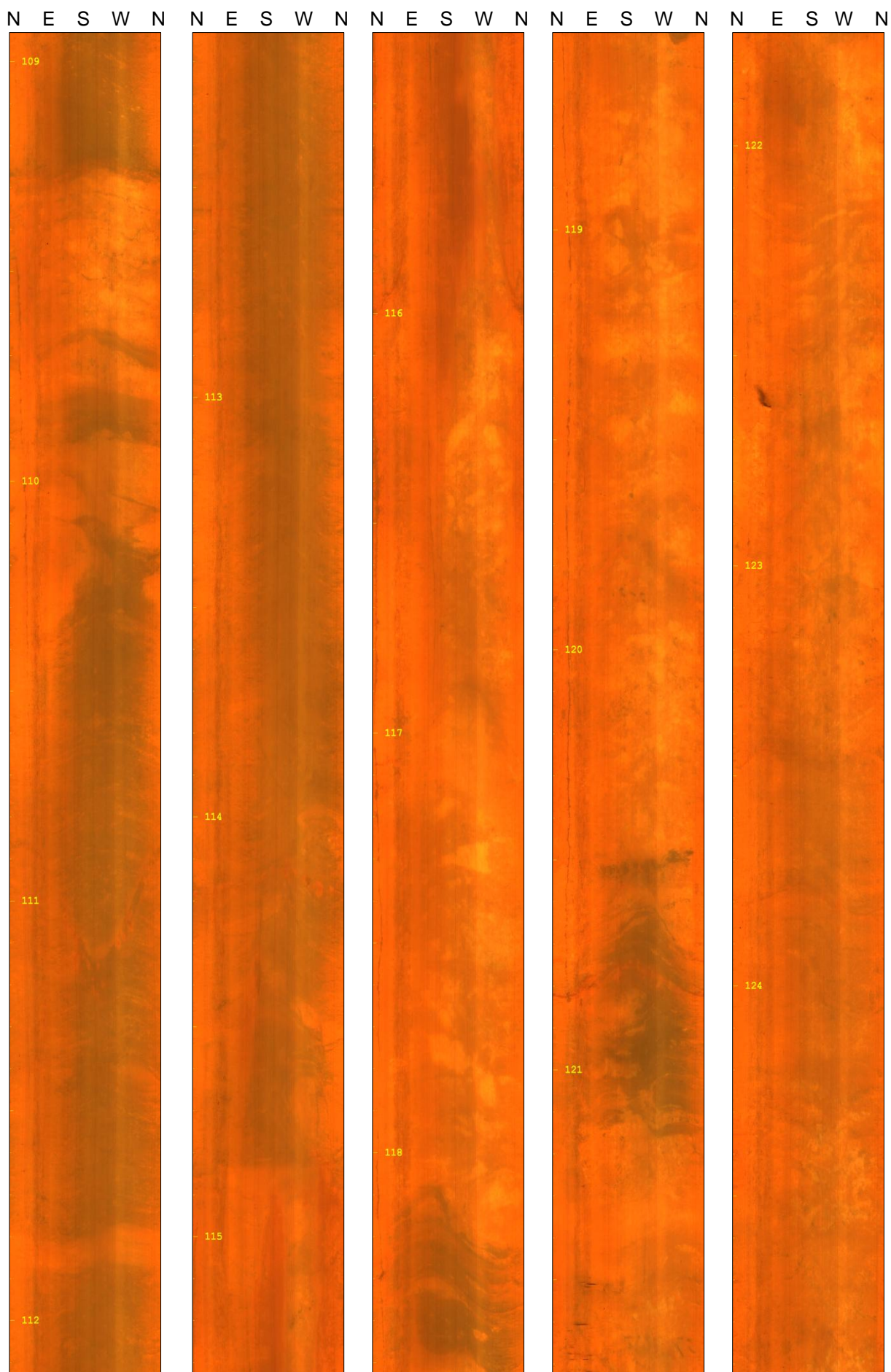


Figura 4d. Imagens OTV obtidas no poço W1346, orientadas conforme o norte magnético.



Figura 4e. Imagens OTV obtidas no poço W1346, orientadas conforme o norte magnético.



Figura 4f. Imagens OTV obtidas no poço W1346, orientadas conforme o norte magnético.

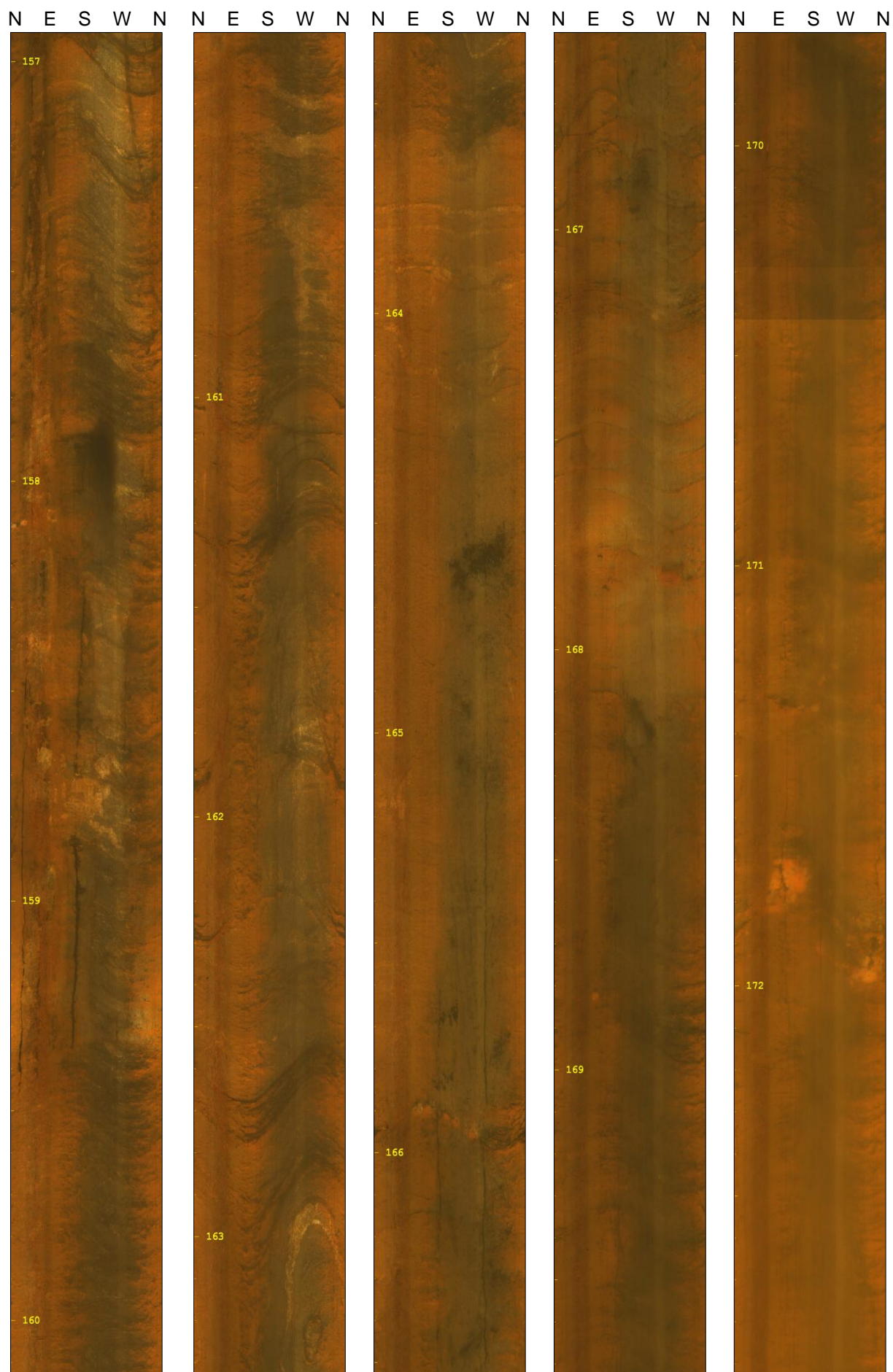


Figura 4g. Imagens OTV obtidas no poço W1346, orientadas conforme o norte magnético.



Figura 4h. Imagens OTV obtidas no poço W1346, orientadas conforme o norte magnético.

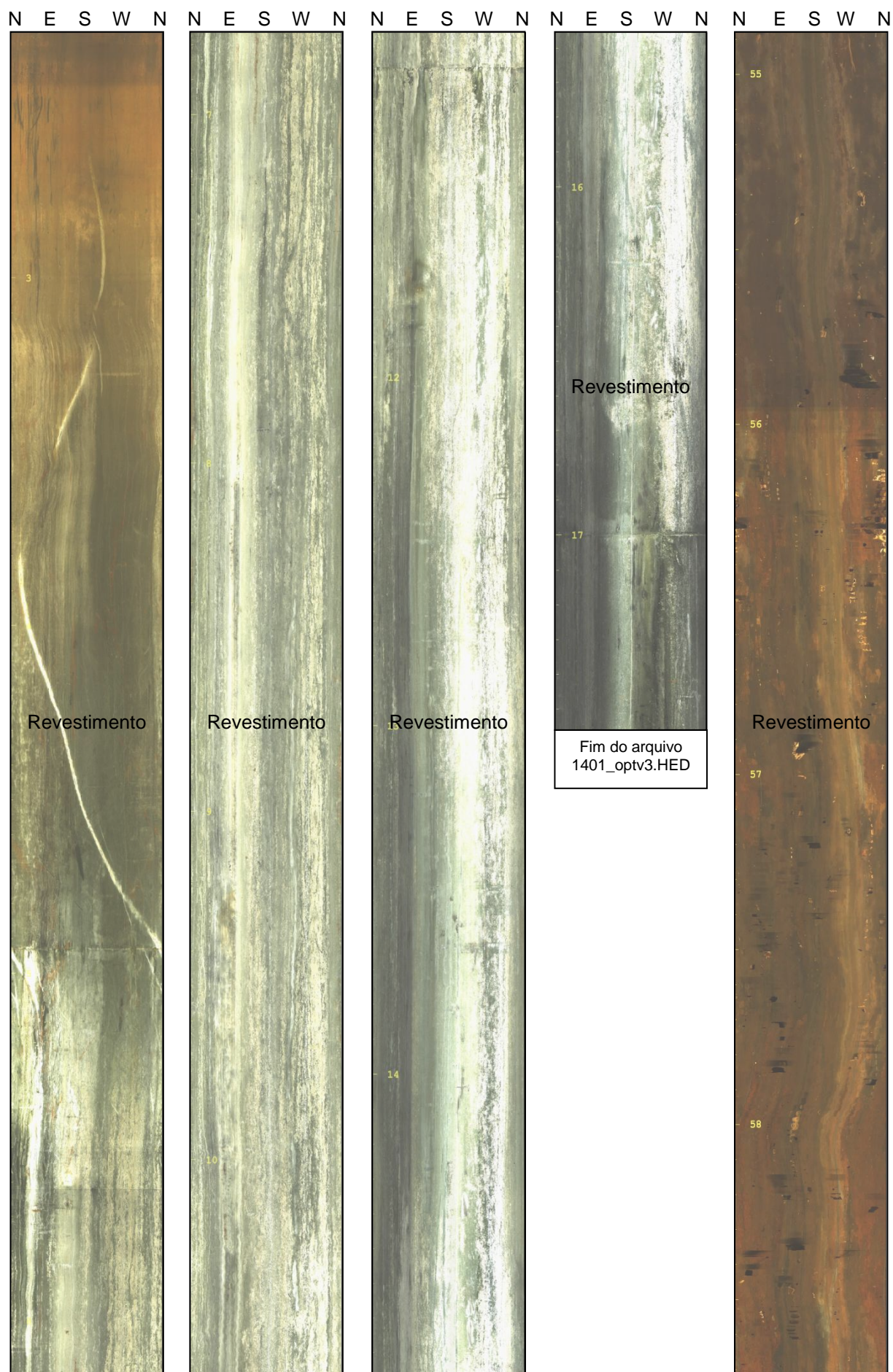


Figura 5a. Imagens OTV obtidas no poço W1401, orientadas conforme o norte magnético.

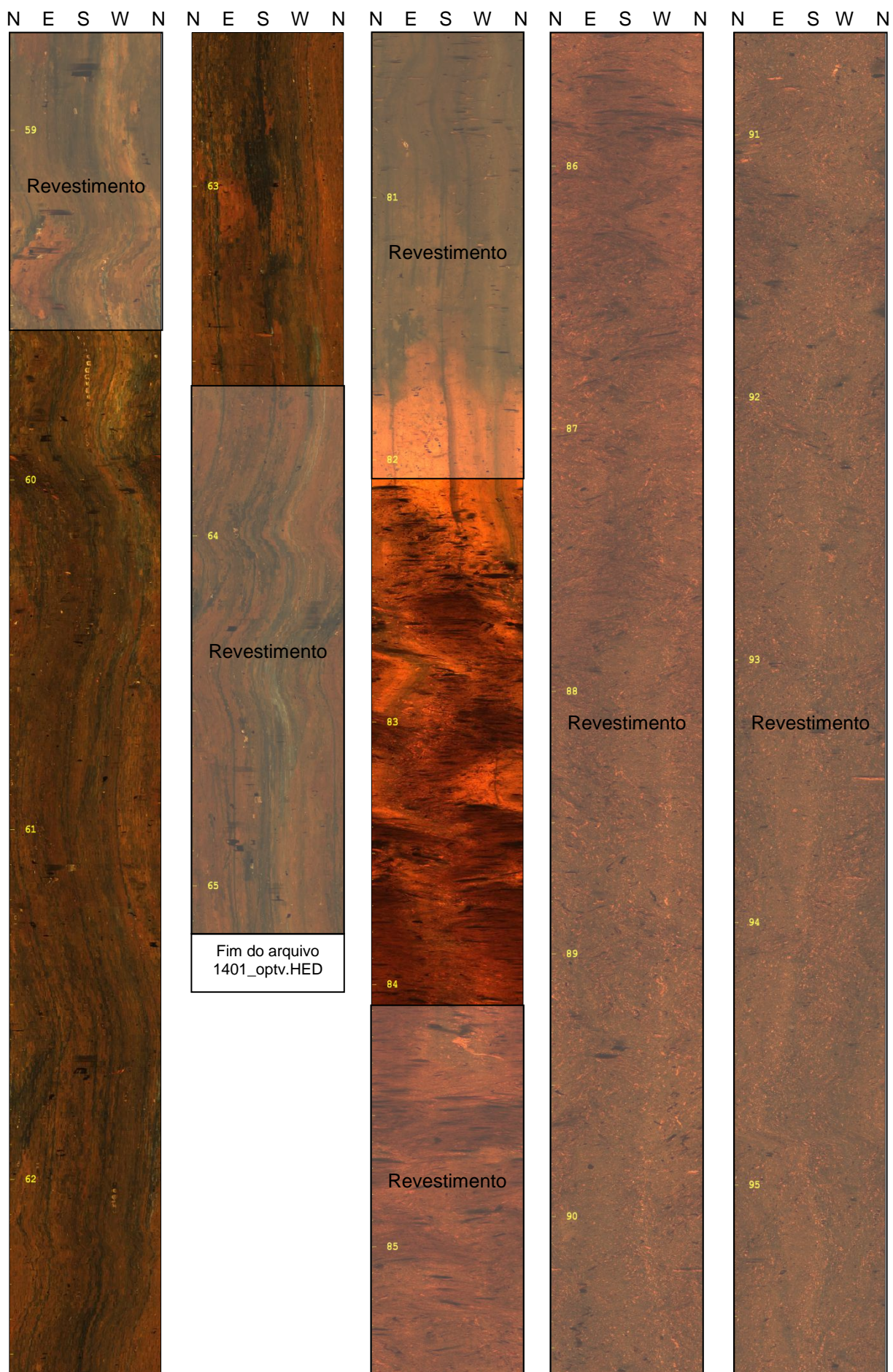


Figura 5b. Imagens OTV obtidas no poço W1401, orientadas conforme o norte magnético.



Figura 5c. Imagens OTV obtidas no poço W1401, orientadas conforme o norte magnético.

N E S W N

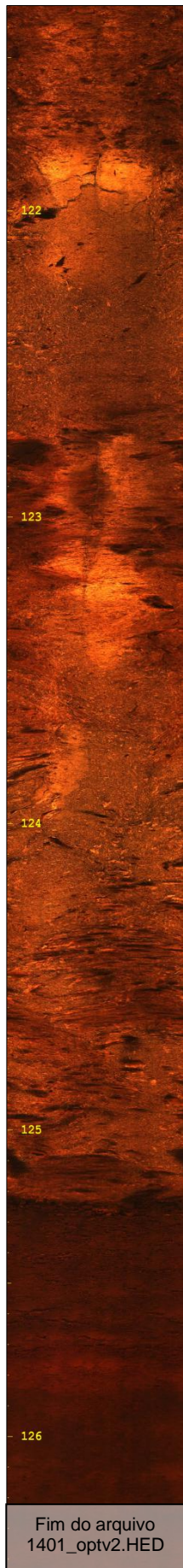
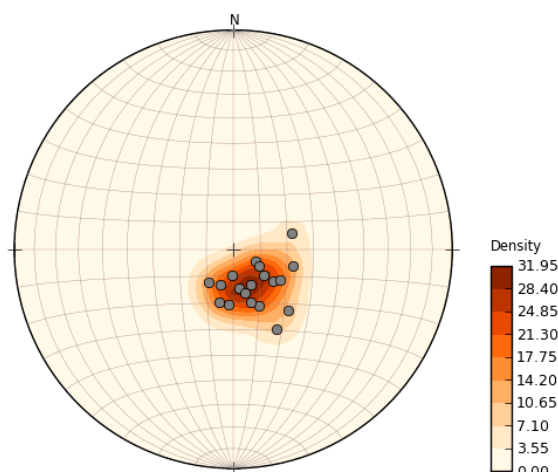


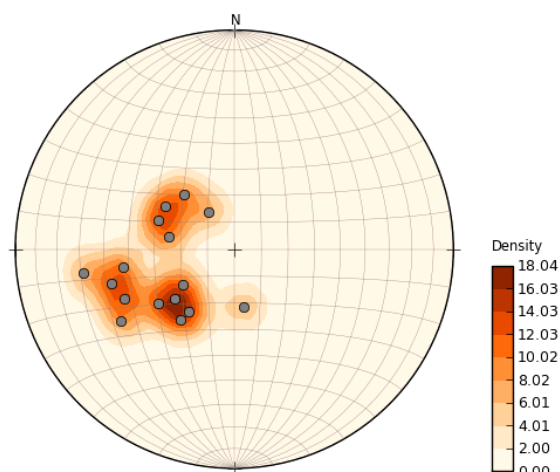
Figura 5d. Imagens OTV obtidas no poço W1401, orientadas conforme o norte magnético.

ANEXO IV

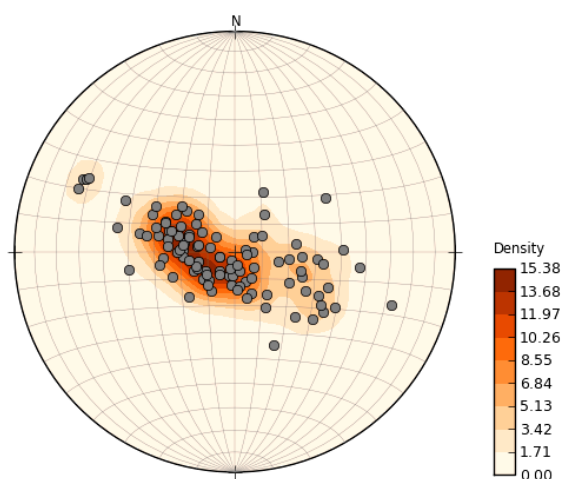
Dados estruturais



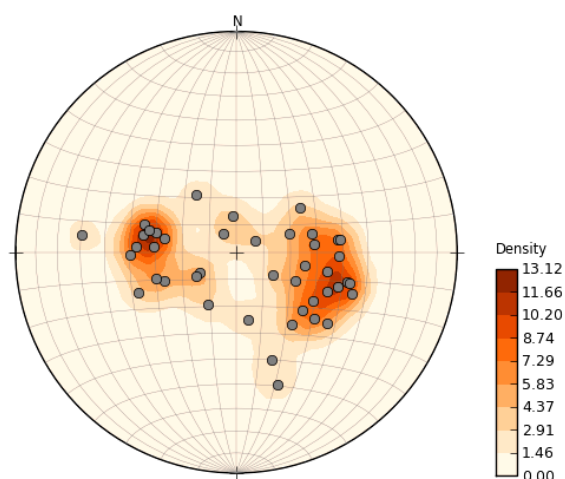
a) Foliação no poço W255 (19 medidas).



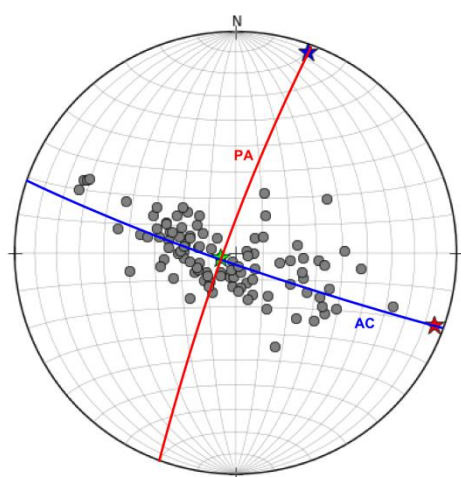
b) Foliação no poço W256 (16 medidas).



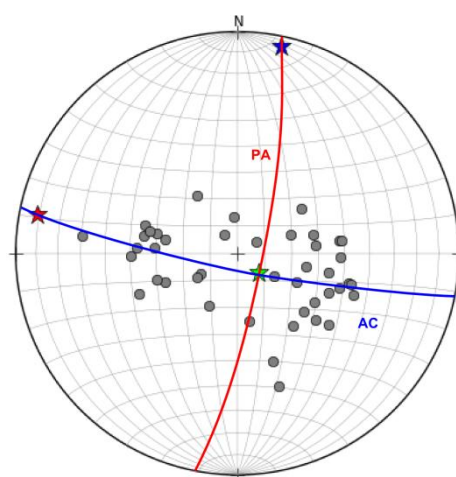
c) Foliação no poço W1204 (104 medidas).



d) Foliação no poço W1346 (43 medidas).

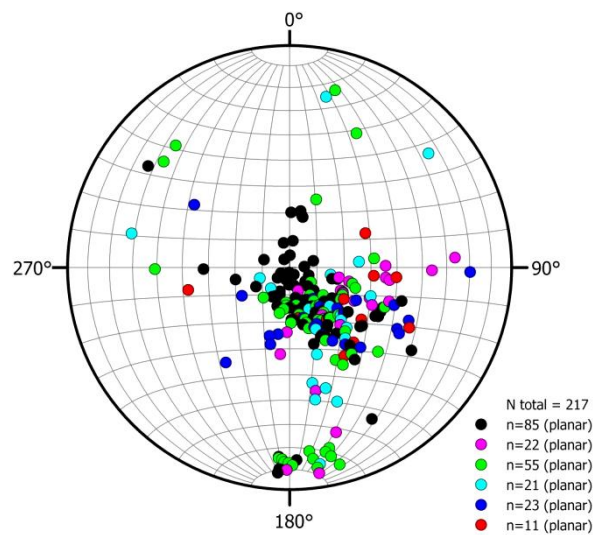


e) Foliação dobrada no poço W1204. Destaque em para o plano axial (PA) e plano AC de dobra.

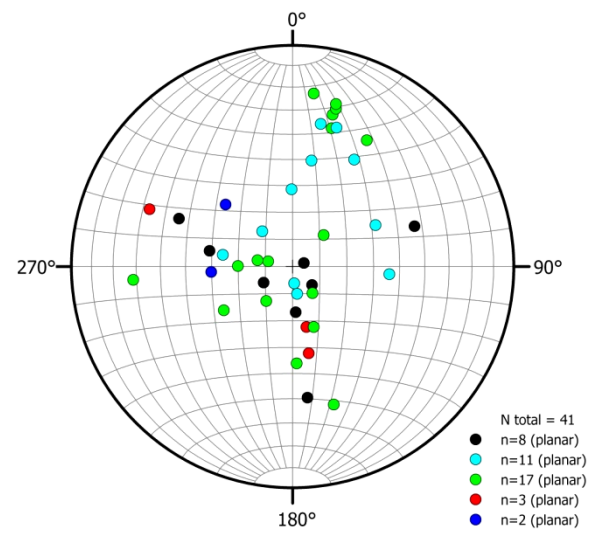


f) Foliação dobrada no poço W1346. Destaque em para o plano axial (PA) e plano AC de dobra.

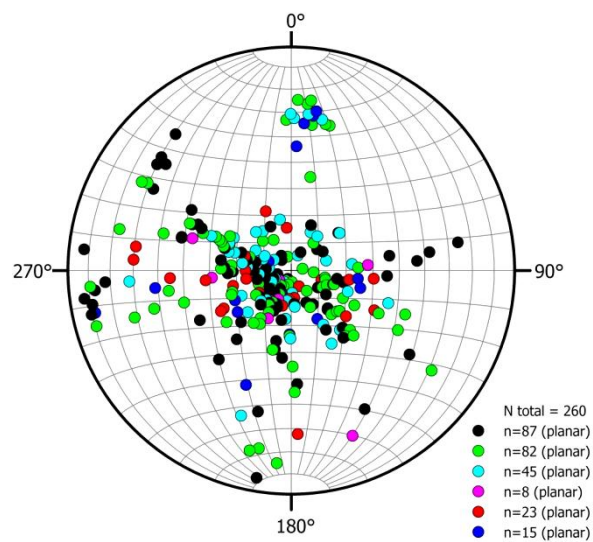
Figura 1. Foliação observada em imagens OTV nos poços W255, W256, W1204 e W1346. Utilizou-se o método de distribuição de Fisher para desenho dos contornos. Projeção polar, hem. inferior.



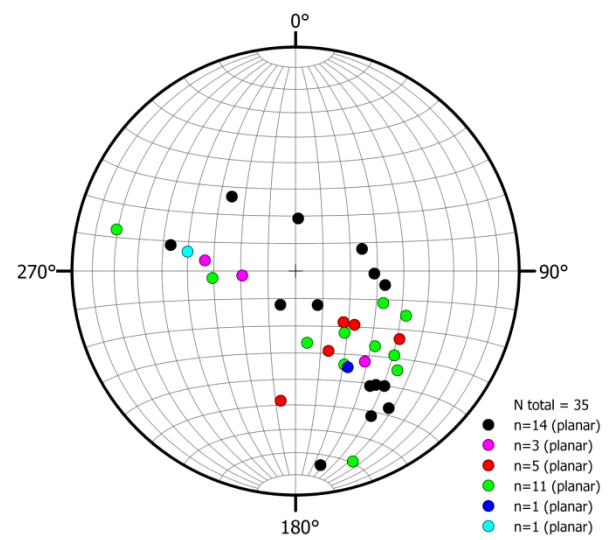
a) Fraturas, poço W255.



b) Fraturas, poço W256.



c) Fraturas, poço W1204.

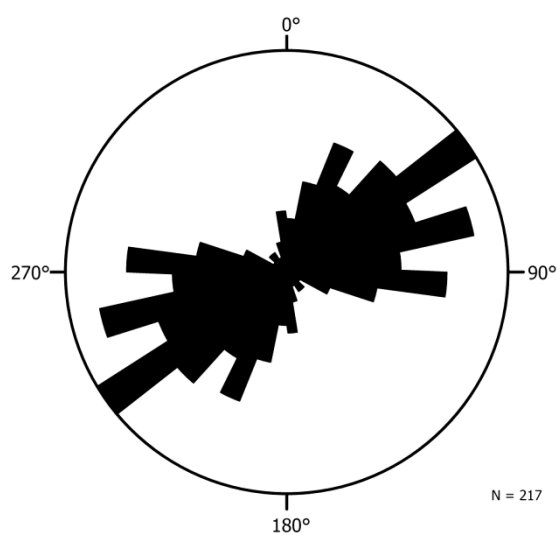


d) Fraturas, poço W1346.

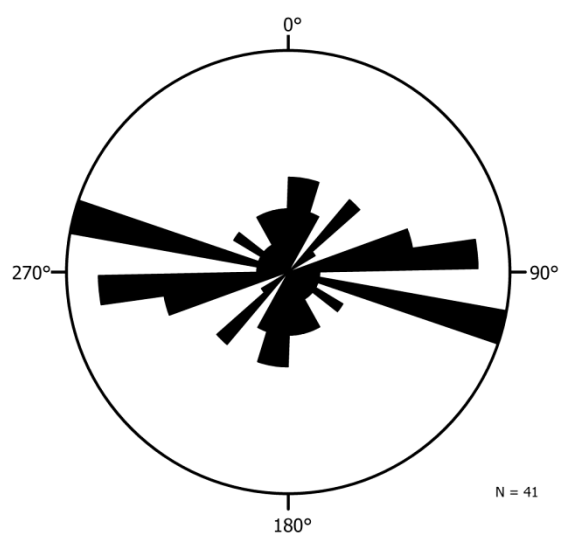
Legenda

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| ● S - Bandamento ou foliação | ● F - Fratura |
| ● 0 - Fratura preenchida | ● 1 - Fratura parcialmente aberta |
| ● 2 - Fratura aberta | ● 3 - Fratura francamente aberta |
| ● 4 - Fraturas interconectadas | ● 5 - Zona de fraturamento principal |

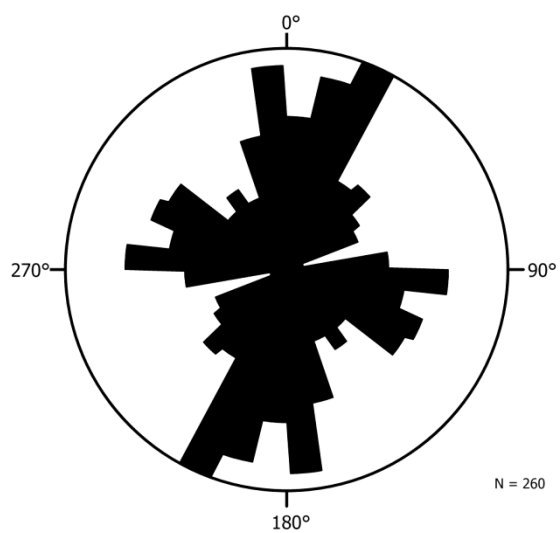
Figura 2. Fraturas observadas nos poços W255, W256, W1204 e W1346. Estereogramas tipo Schmidt com projeções polares no hemisfério inferior.



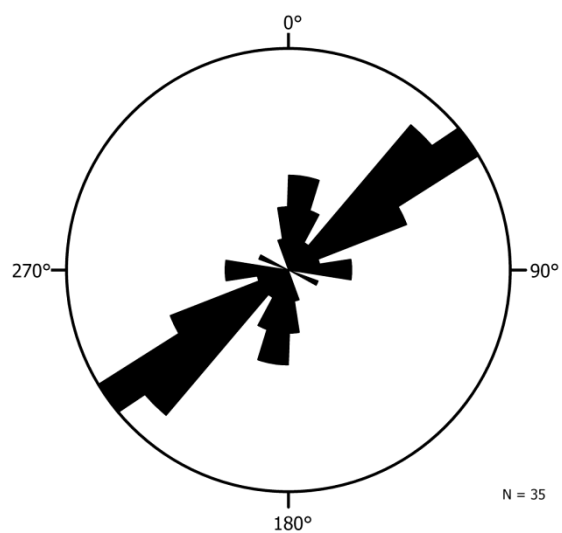
a) Roseta de fraturas, poço W255.



b) Roseta de fraturas, poço W256.

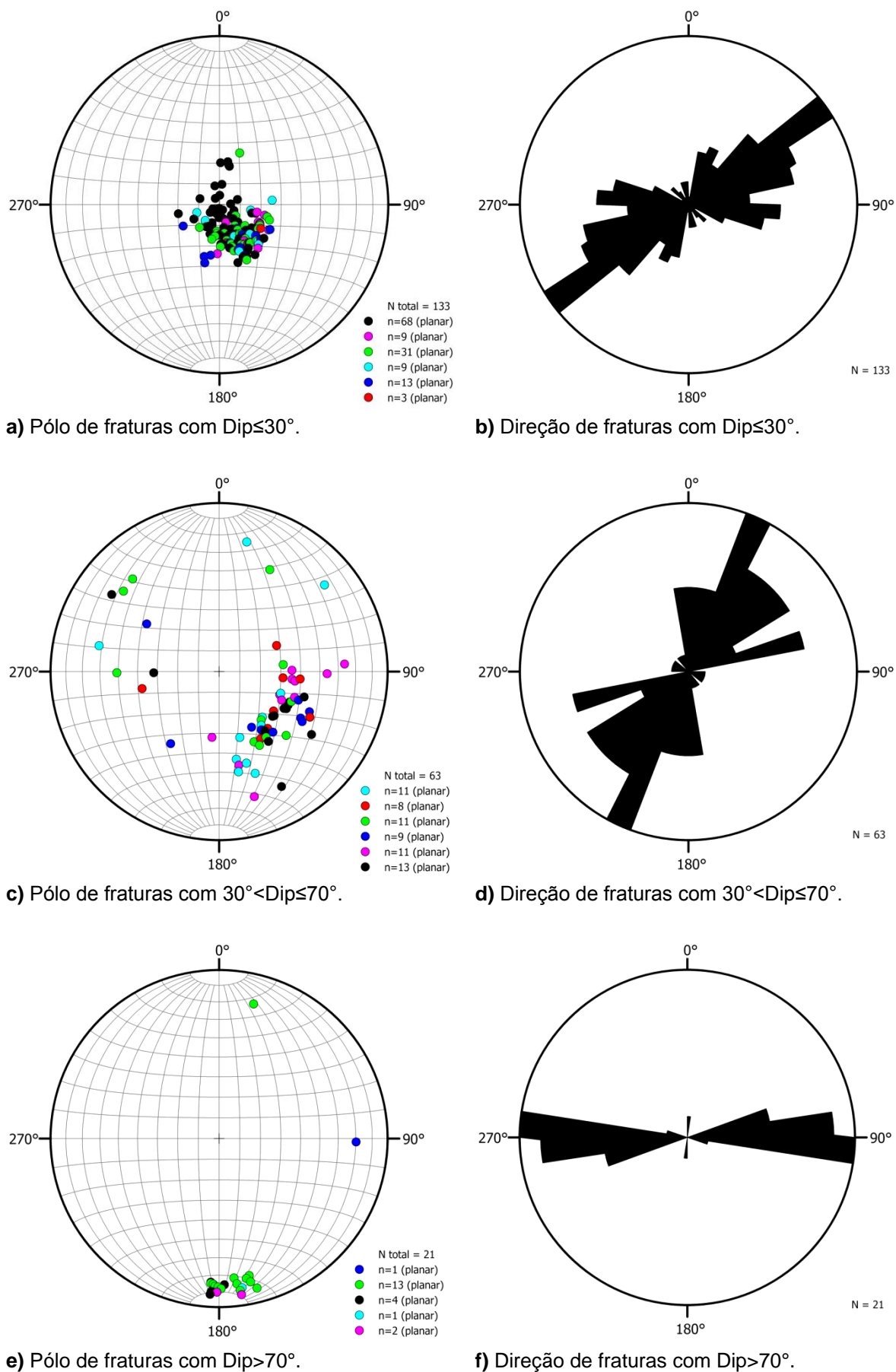


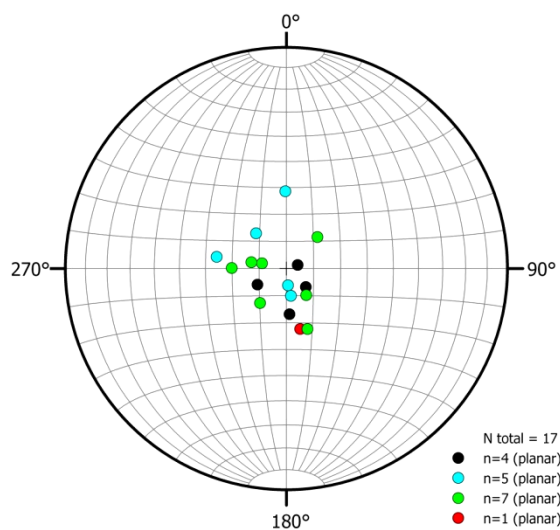
c) Roseta de fraturas, poço W1204.



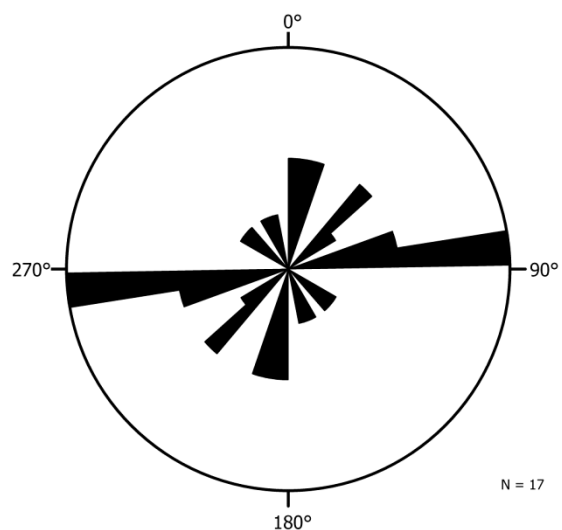
d) Rosetas de fraturas, poço W1346.

Figura 3. Roseta das fraturas observadas nos poços W255, W256, W1204 e W1346.

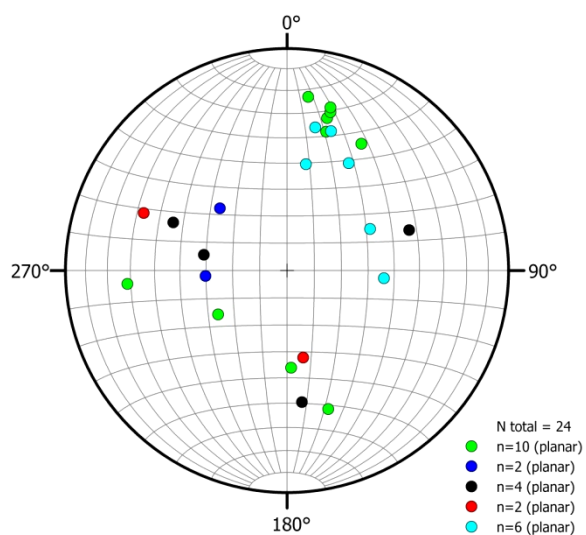




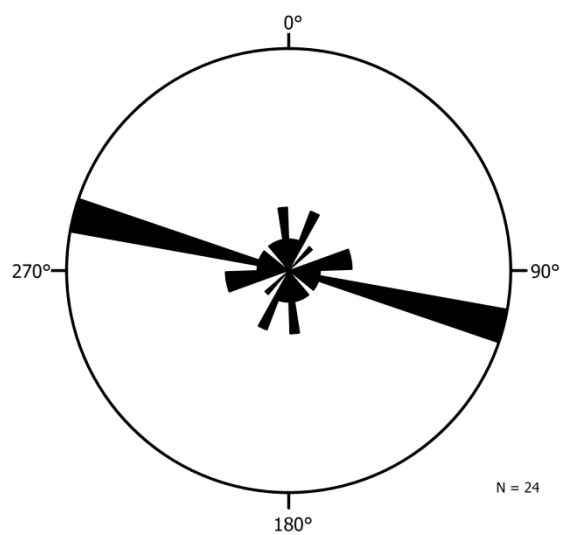
a) Pólo de fraturas com $\text{Dip} \leq 30^\circ$.



b) Direção de fraturas com $\text{Dip} \leq 30^\circ$.

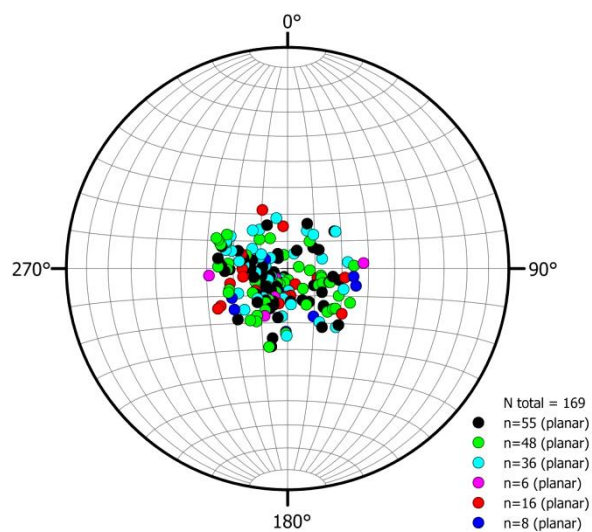


c) Pólo de fraturas com $30^\circ < \text{Dip} \leq 70^\circ$.

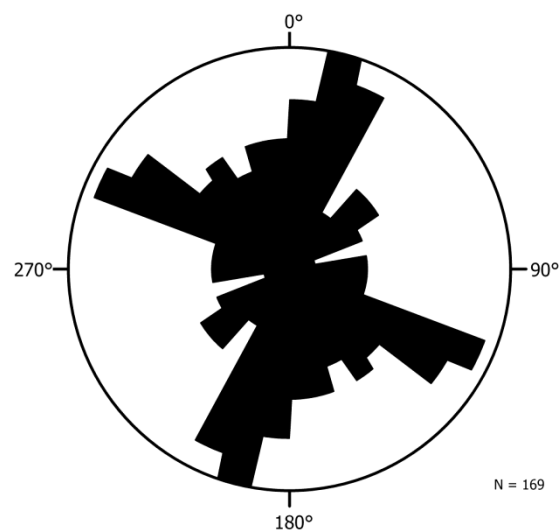


d) Direção de fraturas com $30^\circ < \text{Dip} \leq 70^\circ$.

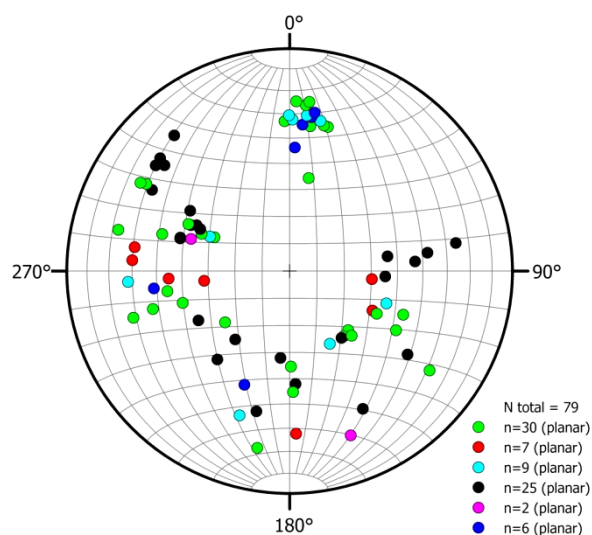
Figura 5. Famílias de fraturas observadas no poço W256.



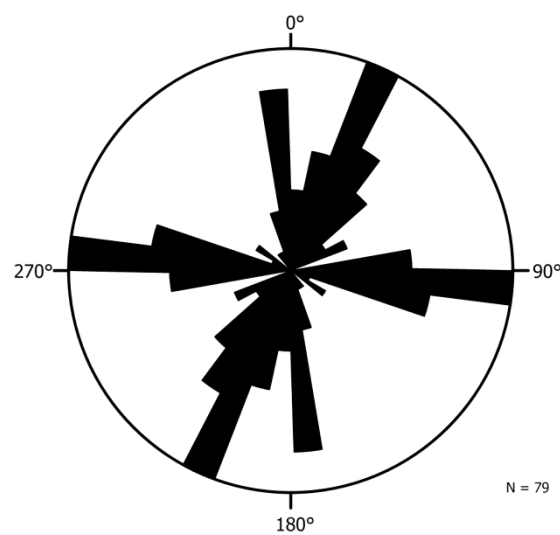
a) Pólo de fraturas com $\text{Dip} \leq 30^\circ$.



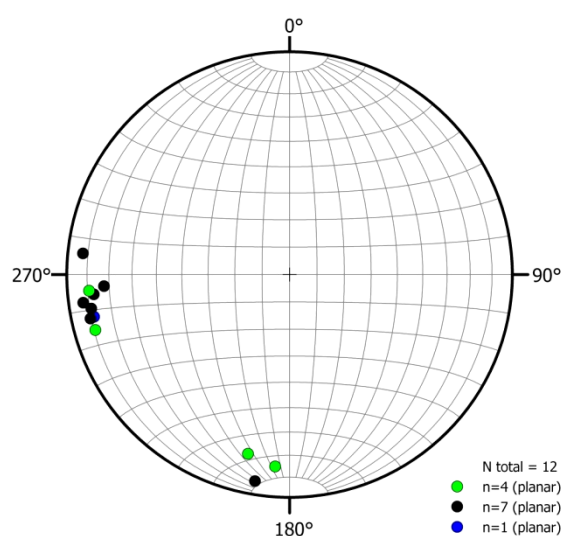
b) Direção de fraturas com $\text{Dip} \leq 30^\circ$.



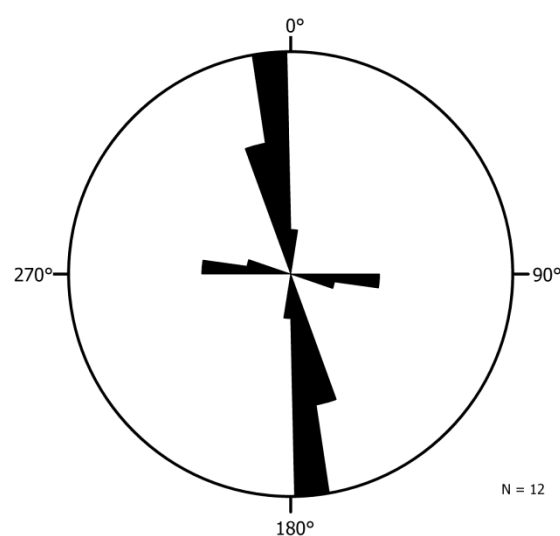
c) Pólo de fraturas com $30^\circ < \text{Dip} \leq 70^\circ$.



d) Direção de fraturas com $30^\circ < \text{Dip} \leq 70^\circ$.

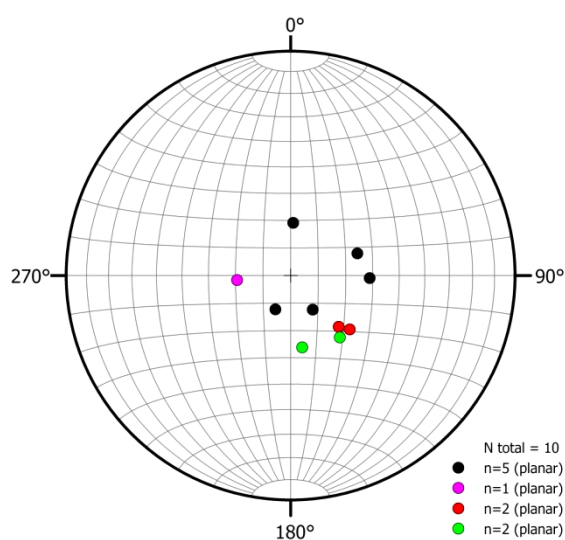


e) Pólo de fraturas com $\text{Dip} > 70^\circ$.

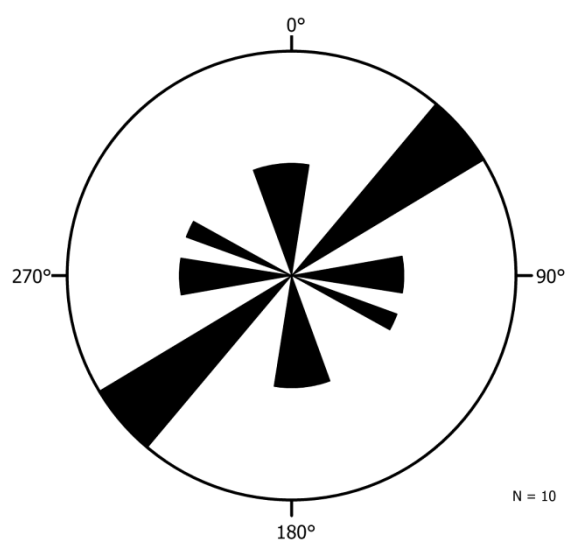


f) Direção de fraturas com $\text{Dip} > 70^\circ$.

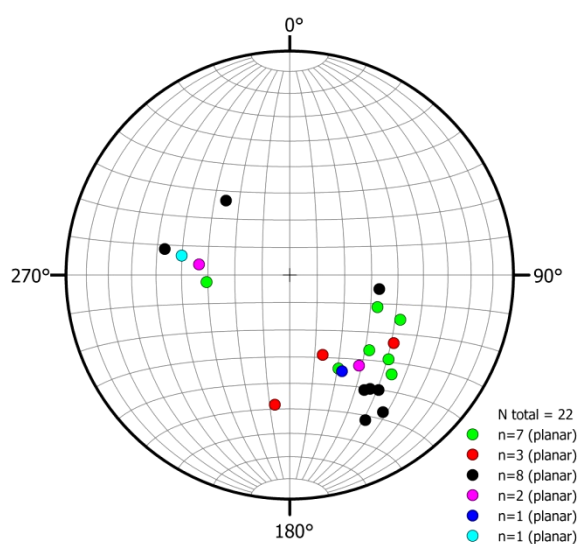
Figura 6. Famílias de fraturas observadas no poço W1204.



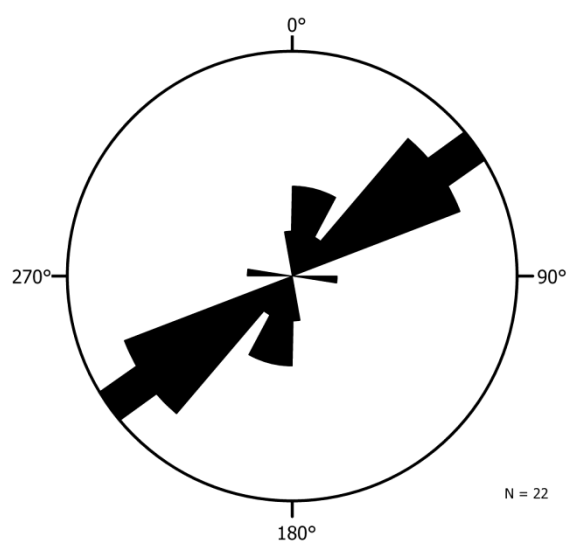
a) Pólo de fraturas com $\text{Dip} \leq 30^\circ$.



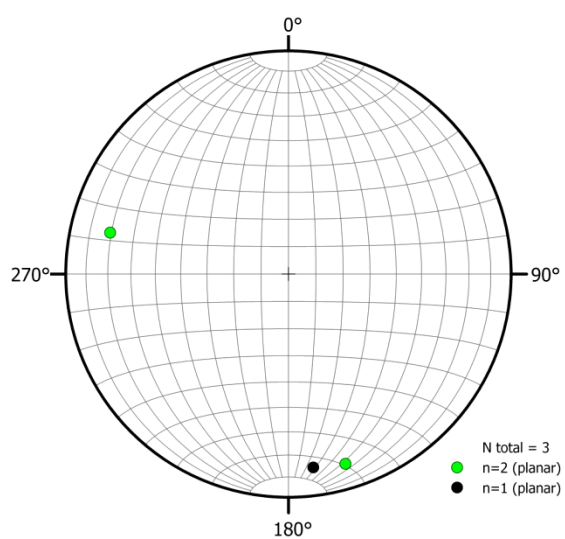
b) Direção de fraturas com $\text{Dip} \leq 30^\circ$.



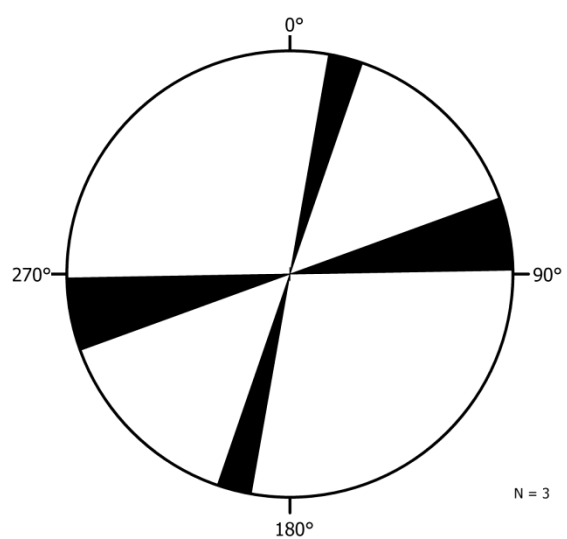
c) Pólo de fraturas com $30^\circ < \text{Dip} \leq 70^\circ$.



d) Direção de fraturas com $30^\circ < \text{Dip} \leq 70^\circ$.

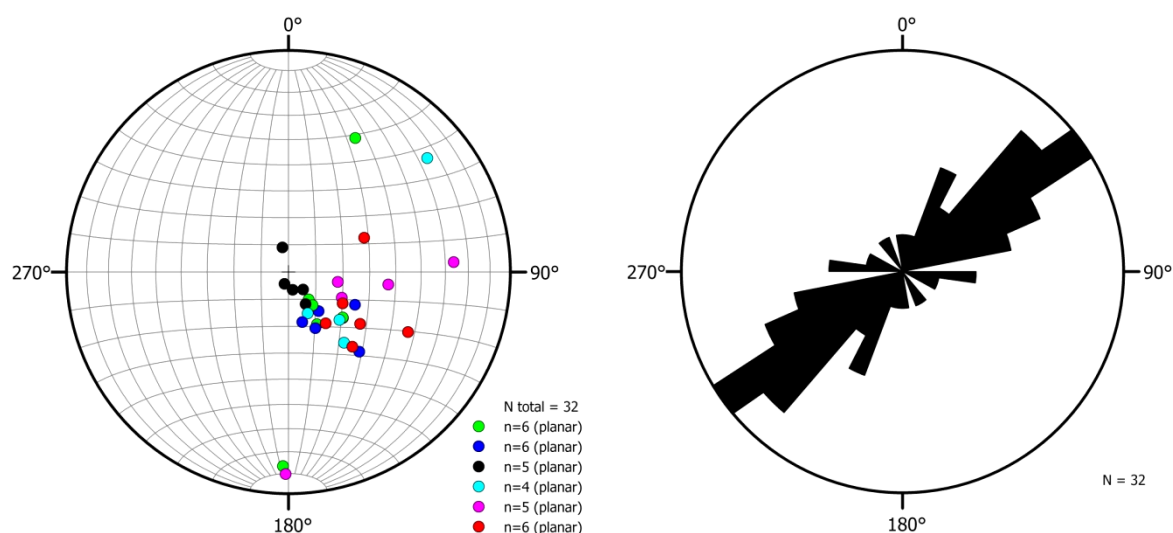


e) Pólo de fraturas com $\text{Dip} > 70^\circ$.

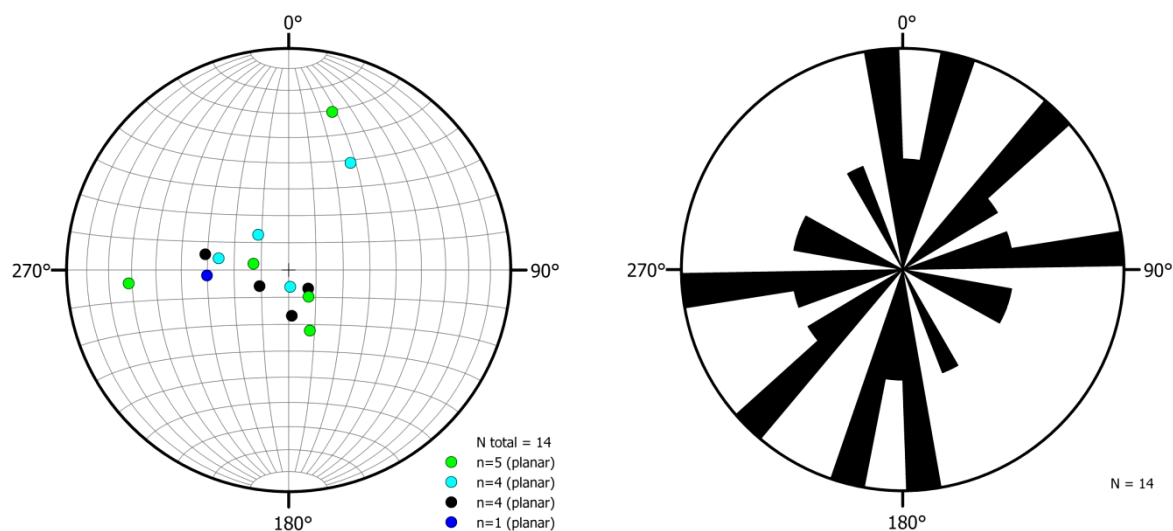


f) Direção de fraturas com $\text{Dip} > 70^\circ$.

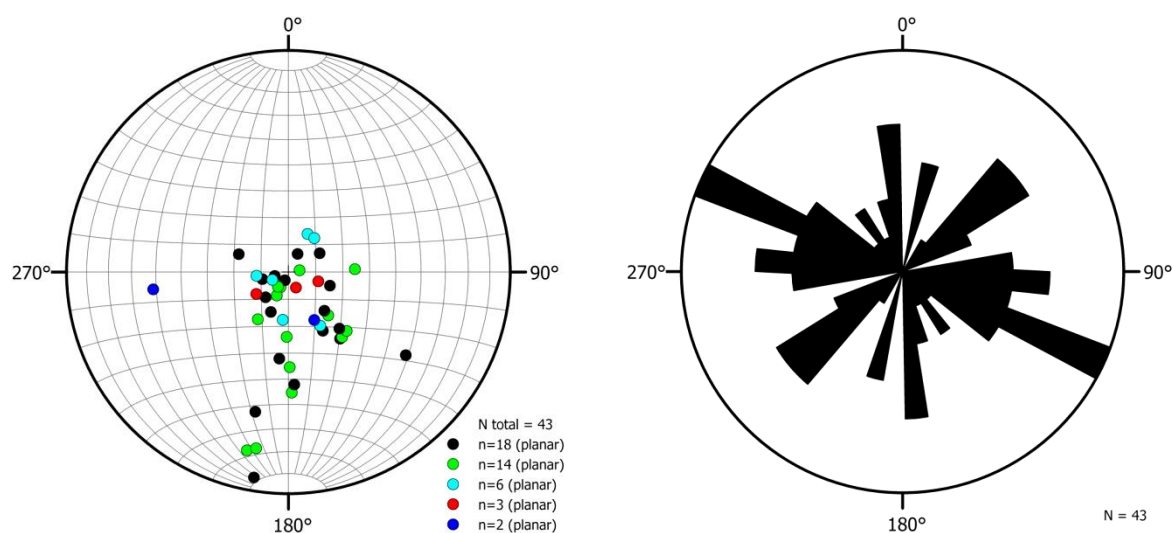
Figura 7. Famílias de fraturas observadas no poço W1346.



a) Fraturas associadas a altos valores de vazão indicados pelo *Heat Pulse Flowmeter* entre as profundidades 158,0 m e 170,0 m, e 78,0 m e 88,6 m, poço W255.



b) Fraturas localizadas entre as profundidades 82,5 m a 91,5 m, marcada por um contraste nas leituras de CE, poço W256.



c) Fraturas localizadas entre as profundidades 60,0 m a 85,0 m destacadas por uma variação da T e CE, poço W1204.

Figura 8. Fraturas com possível atividade hidráulica nos poços W255, W256 e W1204.

POÇO W255 - Dados Estruturais				
Prof. (m)	Dip Direction (°)	Dip (°)	Abertura (mm)	Descrição
34,74	49,99	14,57	0,00	Fratura
36,70	186,73	23,75	0,00	Fratura
37,91	325,97	46,67	0,00	Fratura parcialmente aberta
39,72	351,42	33,42	0,00	Foliação ou bandamento
39,85	343,36	42,30	0,00	Fratura parcialmente aberta
40,88	7,22	11,31	0,00	Fratura
41,06	358,77	43,23	0,00	Fratura parcialmente aberta
41,20	22,62	22,80	0,00	Fratura
41,23	26,49	27,47	0,00	Fratura
42,35	181,06	11,31	0,00	Fratura
42,43	107,08	23,70	0,00	Fratura
42,43	145,63	9,09	0,00	Fratura
43,32	328,99	7,40	0,00	Fratura
44,56	60,59	32,62	0,00	Fratura
46,39	19,66	31,80	0,00	Foliação ou bandamento
46,58	12,55	37,95	0,00	Fratura parcialmente aberta
49,01	17,95	33,80	0,00	Fratura
49,18	345,61	37,60	0,00	Foliação ou bandamento
49,46	1,49	23,30	0,00	Foliação ou bandamento
49,50	5,49	32,20	0,00	Fratura parcialmente aberta
49,64	2,48	48,24	15,00	Fratura interconectadas
49,66	339,80	21,80	5,00	Fratura interconectadas
49,72	6,18	57,99	20,00	Fratura interconectadas
52,13	342,44	55,22	0,00	Fratura
52,19	335,55	47,20	0,00	Foliação ou bandamento
52,27	359,60	33,40	0,00	Fratura parcialmente aberta
52,41	350,39	32,20	0,00	Fratura parcialmente aberta
52,53	348,52	38,66	0,00	Fratura parcialmente aberta
52,62	292,62	63,43	0,00	Fratura parcialmente aberta
53,47	19,96	25,17	0,00	Fratura
54,14	88,94	57,67	0,00	Fratura
54,36	7,80	4,57	0,00	Fratura
56,19	290,80	57,34	0,00	Fratura interconectadas
56,26	294,45	59,24	0,00	Fratura interconectadas
56,26	271,14	73,97	0,00	Fratura interconectadas
56,39	293,97	71,10	1,00	Fratura francamente aberta
58,34	125,66	80,69	0,00	Fratura
58,67	102,16	78,18	0,00	Fratura aberta
60,38	284,75	36,10	0,00	Fratura
60,48	254,63	46,40	0,00	Foliação ou bandamento
60,72	41,15	33,42	0,00	Fratura parcialmente aberta
60,95	70,63	27,50	0,00	Fratura aberta
60,97	42,17	24,70	0,00	Fratura aberta
61,73	318,00	56,30	0,00	Foliação ou bandamento
61,80	332,72	54,07	0,00	Fratura
62,24	336,97	49,24	2,00	Fratura aberta

62,28	337,80	48,20	5,00	Fratura francamente aberta
62,33	334,03	52,85	15,00	Fratura francamente aberta
63,08	19,49	29,25	0,00	Fratura
63,11	27,99	28,37	0,00	Fratura
63,14	30,83	29,25	0,00	Fratura
63,19	36,16	34,99	0,00	Foliação ou bandamento
63,80	308,73	60,11	0,00	Fratura
65,09	326,56	50,20	0,00	Fratura
65,48	335,55	53,27	0,00	Fratura
65,56	342,64	47,73	0,00	Fratura parcialmente aberta
65,59	341,69	43,83	0,00	Foliação ou bandamento
65,70	321,38	38,66	0,00	Fratura parcialmente aberta
67,98	305,79	41,35	0,00	Fratura
68,01	294,23	43,50	0,00	Fratura interconectadas
68,02	297,28	52,00	0,00	Fratura interconectadas
68,06	302,13	45,80	0,00	Fratura parcialmente aberta
68,13	297,39	45,57	0,00	Fratura parcialmente aberta
68,93	316,06	22,78	0,00	Fratura
68,99	332,72	33,42	0,00	Foliação ou bandamento
69,03	325,63	37,95	0,00	Fratura parcialmente aberta
69,07	325,63	44,42	0,00	Fratura
69,10	325,63	44,42	5,00	Fratura interconectadas
69,11	318,54	53,67	0,00	Fratura interconectadas
69,16	328,46	51,12	0,00	Fratura
69,32	309,68	35,80	0,00	Fratura parcialmente aberta
70,84	77,60	43,23	0,00	Fratura
70,91	59,49	43,23	5,00	Fratura francamente aberta
71,06	24,45	23,75	0,00	Fratura
71,09	2,40	15,64	0,00	Fratura
71,10	8,15	34,99	0,00	Fratura parcialmente aberta
73,72	348,86	26,60	0,00	Fratura
74,06	136,99	79,24	0,00	Fratura parcialmente aberta
74,16	130,08	78,80	0,00	Fratura parcialmente aberta
74,82	334,67	43,23	0,00	Fratura
74,92	6,21	30,11	0,00	Fratura parcialmente aberta
76,76	89,36	72,20	0,00	Fratura parcialmente aberta
78,13	206,44	75,70	0,00	Fratura parcialmente aberta
78,52	331,50	45,57	0,00	Fratura parcialmente aberta
78,56	322,51	39,70	10,00	Fratura francamente aberta
78,88	323,80	29,25	0,00	Fratura parcialmente aberta
78,93	324,21	34,22	0,00	Fratura parcialmente aberta
79,03	320,22	20,30	0,00	Fratura
79,44	302,95	43,83	0,00	Foliação ou bandamento
79,47	310,23	51,34	2,00	Fratura francamente aberta
79,51	310,04	51,12	0,00	Fratura parcialmente aberta
80,26	331,86	30,96	0,00	Fratura
81,02	321,87	54,46	0,00	Fratura aberta
81,10	313,23	45,80	0,00	Fratura aberta

82,81	334,56	41,99	10,00	Fratura francamente aberta
82,91	335,23	32,60	0,00	Fratura aberta
85,55	1,63	83,60	0,00	Fratura parcialmente aberta
86,86	18,69	9,65	0,00	Fratura
87,22	346,86	14,04	0,00	Fratura
88,04	281,38	35,37	5,00	Fratura interconectadas
88,13	295,72	40,36	2,00	Fratura interconectadas
88,15	0,83	85,40	0,00	Fratura interconectadas
89,76	313,57	24,70	0,00	Fratura
90,02	324,74	50,70	0,00	Fratura
92,55	322,96	38,70	0,00	Fratura parcialmente aberta
92,68	330,06	36,13	0,00	Fratura
94,07	321,40	43,23	0,00	Fratura parcialmente aberta
94,22	314,17	44,70	0,00	Fratura parcialmente aberta
95,40	309,95	55,22	0,00	Fratura
95,59	329,73	52,40	2,00	Fratura francamente aberta
100,30	301,09	67,10	7,00	Fratura francamente aberta
100,43	295,87	58,63	0,00	Fratura
101,23	283,41	34,60	0,00	Fratura
101,38	266,04	11,30	0,00	Fratura
101,85	298,91	19,80	0,00	Foliação ou bandamento
102,81	308,46	36,10	0,00	Foliação ou bandamento
102,86	314,00	38,31	0,00	Fratura aberta
103,10	266,10	11,31	0,00	Fratura
103,11	265,23	45,57	1,00	Fratura aberta
103,22	304,56	19,30	0,00	Fratura parcialmente aberta
103,55	310,23	29,20	0,00	Foliação ou bandamento
103,67	322,15	42,61	0,00	Fratura
103,77	302,82	23,27	0,00	Foliação ou bandamento
104,66	289,82	61,99	0,00	Fratura francamente aberta
104,78	263,77	52,43	0,00	Fratura parcialmente aberta
105,13	192,01	79,07	0,00	Fratura aberta
106,01	341,22	30,11	0,00	Fratura
106,07	358,23	36,50	0,00	Fratura
106,26	354,97	36,87	0,00	Fratura
106,31	1,06	29,25	0,00	Fratura
107,61	14,55	38,66	0,00	Foliação ou bandamento
107,70	9,96	44,70	0,00	Fratura francamente aberta
107,77	14,13	50,00	0,00	Fratura francamente aberta
108,73	33,91	63,10	0,00	Fratura francamente aberta
108,96	16,46	46,40	0,00	Fratura francamente aberta
109,81	291,86	15,64	0,00	Fratura
111,12	193,18	37,23	0,00	Fratura
111,64	331,52	78,49	0,00	Fratura
112,49	194,33	81,00	0,00	Fratura parcialmente aberta
113,21	313,63	65,40	0,00	Fratura parcialmente aberta
113,82	333,61	59,39	0,00	Fratura parcialmente aberta
113,91	331,62	55,03	0,00	Foliação ou bandamento

114,01	322,28	57,67	0,00	Fratura
115,74	286,65	63,89	0,00	Fratura
115,76	314,29	34,22	0,00	Fratura
115,95	348,93	64,11	0,00	Fratura aberta
116,06	348,12	66,59	0,00	Fratura interconectadas
116,17	344,26	78,23	0,00	Fratura interconectadas
116,95	194,43	36,50	0,00	Fratura
118,19	316,62	51,56	0,00	Fratura aberta
118,51	340,49	71,10	0,00	Fratura aberta
118,81	349,05	69,00	0,00	Fratura aberta
119,02	343,40	66,59	2,00	Fratura aberta
123,67	181,45	31,40	0,00	Fratura
124,35	352,10	83,90	0,00	Fratura parcialmente aberta
127,41	304,24	67,71	0,00	Fratura
127,50	299,63	50,70	0,00	Fratura
127,91	298,86	51,78	0,00	Fratura
130,96	299,65	60,00	10,00	Fratura francamente aberta
132,90	289,40	45,60	0,00	Fratura aberta
133,64	351,23	83,00	0,00	Fratura aberta
133,78	310,56	35,00	0,00	Fratura francamente aberta
134,84	285,94	34,99	0,00	Foliação ou bandamento
135,42	253,85	14,60	0,00	Fratura
135,76	294,79	33,00	0,00	Fratura
135,79	298,80	33,10	0,00	Fratura
136,23	315,57	40,03	0,00	Fratura aberta
136,24	287,30	38,00	0,00	Fratura parcialmente aberta
136,55	2,28	81,00	0,00	Fratura parcialmente aberta
137,54	347,63	81,40	0,00	Fratura parcialmente aberta
138,59	201,24	40,00	0,00	Fratura parcialmente aberta
138,68	328,90	34,60	0,00	Fratura parcialmente aberta
138,80	342,61	47,70	0,00	Fratura aberta
139,14	333,85	43,50	0,00	Fratura parcialmente aberta
140,19	324,79	56,10	0,00	Fratura
141,85	57,72	6,28	0,00	Fratura
142,15	190,93	32,60	0,00	Fratura
143,22	357,93	81,20	0,00	Fratura
143,62	353,93	78,90	0,00	Fratura parcialmente aberta
143,92	324,43	53,70	0,00	Fratura parcialmente aberta
144,32	5,39	31,80	0,00	Foliação ou bandamento
145,39	347,63	78,90	0,00	Fratura parcialmente aberta
146,61	320,78	35,80	0,00	Fratura
146,76	320,78	30,96	0,00	Fratura
146,97	3,33	85,00	0,00	Fratura
149,70	275,56	45,00	30,00	Zona de fraturamento principal
150,03	284,42	36,10	0,00	Fratura parcialmente aberta
150,47	279,80	24,20	0,00	Fratura aberta
153,17	328,36	52,90	70,00	Zona de fraturamento principal
153,50	324,09	49,24	3,00	Fratura francamente aberta

153,93	283,11	34,22	0,00	Fratura interconectadas
153,95	288,78	53,27	0,00	Fratura interconectadas
153,97	268,94	49,72	3,00	Fratura interconectadas
154,03	275,95	50,00	5,00	Fratura interconectadas
156,32	275,21	54,10	20,00	Zona de fraturamento principal
157,98	350,25	29,25	10,00	Zona de fraturamento principal
158,26	344,69	29,68	5,00	Fratura francamente aberta
158,72	277,10	51,56	3,00	Fratura interconectadas
158,73	266,53	73,30	3,00	Fratura interconectadas
160,01	300,12	34,99	40,00	Zona de fraturamento principal
160,06	296,22	40,40	20,00	Fratura francamente aberta
161,69	230,56	77,47	5,00	Fratura aberta
162,73	318,43	53,90	7,00	Fratura francamente aberta
163,18	305,91	46,67	0,00	Zona de fraturamento principal
163,55	296,72	63,40	75,00	Zona de fraturamento principal
164,26	245,54	44,42	100,00	Zona de fraturamento principal
167,57	324,08	35,40	40,00	Zona de fraturamento principal
167,91	166,08	15,11	0,00	Fratura
168,92	319,49	50,70	70,00	Zona de fraturamento principal
170,36	322,89	22,78	7,00	Fratura francamente aberta
170,95	3,33	80,30	0,00	Fratura
171,86	0,36	82,03	0,00	Fratura parcialmente aberta
173,62	271,43	77,70	3,00	Fratura francamente aberta
174,81	293,26	51,80	0,00	Fratura
175,33	349,03	79,80	0,00	Fratura parcialmente aberta
175,96	311,39	12,41	0,00	Fratura
176,56	345,76	84,30	0,00	Fratura parcialmente aberta
178,65	2,98	83,90	0,00	Fratura
179,78	123,40	56,66	4,00	Fratura francamente aberta
179,99	77,60	52,85	70,00	Zona de fraturamento principal
180,21	351,82	85,68	5,00	Fratura interconectadas
181,78	331,30	55,40	0,00	Fratura parcialmente aberta
182,73	319,03	45,00	0,00	Fratura parcialmente aberta
183,28	307,21	40,03	0,00	Fratura
184,26	330,61	25,64	0,00	Fratura
184,96	351,07	20,81	0,00	Fratura
186,58	359,23	82,70	0,00	Fratura parcialmente aberta
187,85	336,95	20,81	0,00	Fratura
188,86	343,43	32,60	0,00	Fratura parcialmente aberta
190,21	351,75	25,20	0,00	Fratura
190,25	347,23	25,20	0,00	Fratura
190,28	343,73	21,80	0,00	Fratura
193,91	347,49	20,81	0,00	Fratura
195,36	346,83	33,02	0,00	Fratura
220,60	353,03	81,20	0,00	Fratura parcialmente aberta
221,19	3,33	80,70	0,00	Fratura parcialmente aberta

POÇO W256 - Dados Estruturais				
ProFratura, (m)	Dip Direction (°)	Dip (°)	Abertura (mm)	Descrição
68,07	90,52	20,14	0	Fratura parcialmente aberta
68,44	102,04	9,19	0	Fratura parcialmente aberta
70,28	112,87	46,44	0	Fratura
70,54	251,65	48,42	0	Fratura
74,32	353,58	49,88	0	Fratura
74,6	343,44	54,82	0	Fratura parcialmente aberta
75,88	57,8	51,26	3	Foliação ou bandamento
76,28	357,61	36,09	0	Fratura parcialmente aberta
77,71	186,91	67,74	0	Fratura parcialmente aberta
78,42	351,12	21,76	0	Foliação ou bandamento
78,94	37,43	33,56	0	Foliação ou bandamento
79,14	50,29	29,05	0	Foliação ou bandamento
79,35	56,04	23,37	0	Foliação ou bandamento
79,85	54,87	35,03	0	Foliação ou bandamento
80,99	194,9	65,08	0	Fratura parcialmente aberta
81,42	136,98	27,86	0	Foliação ou bandamento
81,45	194,75	60,29	0	Fratura parcialmente aberta
83,07	195,35	63,1	0	Fratura parcialmente aberta
84,23	209,9	46,5	0	Fratura aberta
84,87	145,7	16,81	0	Foliação ou bandamento
85	139,2	17,1	0	Fratura aberta
85,35	356,24	16,81	0	Fratura
86,34	121,9	30,45	0	Foliação ou bandamento
86,96	110,85	30,66	0	Foliação ou bandamento
87,19	100,7	31,36	0	Fratura
87,33	99,51	26,14	0	Fratura aberta
87,4	100,95	24,89	0	Foliação ou bandamento
87,54	86,21	30,22	0	Fratura francamente aberta
88,38	81,18	42,82	0	Foliação ou bandamento
88,81	65,98	45,7	20	Foliação ou bandamento
88,97	85,25	61,53	0	Fratura parcialmente aberta
89,19	74,57	48,42	0	Foliação ou bandamento
89,35	313,61	9,79	0	Fratura
89,44	354,61	6,16	0	Fratura aberta
89,72	340,88	23,59	0	Fratura parcialmente aberta
90,37	323,33	12,17	0	Fratura parcialmente aberta
90,46	61,07	12,17	0	Fratura
91,35	100,2	13,08	0	Fratura parcialmente aberta
91,52	37,58	15,94	0	Fratura parcialmente aberta
94,81	57,58	30,22	0	Fratura parcialmente aberta
95,18	36,06	28,84	0	Foliação ou bandamento
96,92	195,73	54,7	0,5	Fratura parcialmente aberta
98,34	197,5	55,52	0,5	Fratura aberta
99,79	80,92	58,93	19	Foliação ou bandamento
102,27	210,38	55,84	0	Fratura parcialmente aberta
102,99	251,93	4,32	0	Fratura

103,83	191,13	55,41	0	Fratura aberta
105,33	350,68	10,11	0	Fratura aberta
106,18	349,55	32,73	30	Zona de fraturamento principal
107,62	347,3	22,85	30	Zona de fraturamento principal
109,87	111,85	59,08	0	Zona de fraturamento principal
110,15	132,78	33,95	0	Fratura francamente aberta
110,4	179,16	28,59	0	Fratura aberta
110,83	190,06	40,25	0	Fratura aberta
111,49	243,4	34,42	0	Fratura aberta
111,77	274,53	36,09	0	Fratura aberta
115,18	224,43	16,24	0	Fratura parcialmente aberta

POÇO W1204 - Dados Estruturais				
ProFratura, (m)	Dip Direction (°)	Dip (°)	Abertura (mm)	Descrição
50,96	87,53	23,24	0	Fratura
51,25	231,2	21,97	0	Fratura
52,64	62,1	23,24	2	Fratura francamente aberta
52,77	316,24	33,05	0	Fratura parcialmente aberta
53,02	70,11	10,69	0	Fratura
53,18	287,94	16,32	0	Fratura parcialmente aberta
53,22	290,33	21,97	0	Fratura aberta
53,25	284,18	26,02	1	Fratura francamente aberta
53,29	276,91	24,5	2	Fratura francamente aberta
53,34	281,65	12,48	1	Fratura parcialmente aberta
54,5	262,39	52,32	0	Fratura
55,15	205,64	24,49	0	Foliação ou bandamento
55,18	203,39	18,02	0	Fratura
55,52	327,34	14,59	0	Fratura
55,68	24,35	11,41	20	Fratura interconectadas
55,85	55,25	15,63	0	Fratura parcialmente aberta
56,33	232,29	22,29	0	Fratura aberta
56,63	261,44	36,57	0	Fratura
57,45	115,21	36,57	0	Fratura
57,58	100,48	19,03	0	Foliação ou bandamento
57,68	11,4	18,36	0	Fratura
58,12	31,22	13,33	0	Fratura parcialmente aberta
58,17	42,13	14,94	0	Foliação ou bandamento
58,26	84,84	29,23	0	Fratura interconectadas
58,28	33,87	13,18	0	Fratura interconectadas
59,13	111,19	18,02	0	Foliação ou bandamento
60,58	74,76	9,89	0	Fratura
61,63	6,02	32,26	0	Fratura
61,92	358,45	45,25	0	Fratura parcialmente aberta
62,02	206,62	15,63	0	Fratura aberta
62,15	23,88	15,98	0	Fratura
62,9	317,49	21,65	0	Fratura parcialmente aberta
62,92	42,29	12,48	0	Fratura

64,11	9,53	83,29	0	Fratura
64,17	13,33	54,57	0	Fratura
64,5	13,08	71,45	0	Fratura parcialmente aberta
64,58	32,94	20,68	0	Fratura parcialmente aberta
64,65	10,39	69,73	0	Fratura parcialmente aberta
65,11	1,65	23,87	0	Fratura parcialmente aberta
65,14	359,22	35,35	0	Fratura parcialmente aberta
65,41	206,67	7,42	0	Fratura
68,67	322,33	31,18	0	Fratura
69,7	329,67	25,1	0	Fratura
71,88	238,9	13,33	0	Fratura
72,37	27,77	6,31	0	Fratura parcialmente aberta
72,4	26,49	9,6	0	Fratura parcialmente aberta
72,48	74,32	5,21	0	Fratura
74,45	6,42	12,48	0	Foliação ou bandamento
75,68	260,74	4,09	0	Fratura parcialmente aberta
75,78	288,14	15,98	0	Fratura
75,82	281,96	16,32	0	Foliação ou bandamento
75,87	287,41	11,41	15	Zona de fraturamento principal
75,99	23,55	3,26	0	Fratura
77,45	320,48	31,18	0	Fratura parcialmente aberta
77,5	315,29	30,63	0	Fratura parcialmente aberta
77,72	55,7	14,24	5	Zona de fraturamento principal
77,93	317,98	28,08	0	Fratura
78,74	305,31	54,57	0	Fratura
79,37	317,06	19,36	0	Fratura
79,42	331,27	23,56	0	Foliação ou bandamento
79,53	329,39	22,93	0	Fratura aberta
80,8	357,06	42,13	0	Fratura
81,35	267,51	24,49	0	Fratura parcialmente aberta
81,37	109,78	19,36	0	Fratura
81,72	217,26	15,63	0	Fratura aberta
82,49	334,51	6,31	70	Zona de fraturamento principal
83,87	6,79	17,69	0	Fratura aberta
83,98	82,7	51,47	2	Fratura francamente aberta
84,83	35,94	6,55	0	Fratura parcialmente aberta
84,95	64,24	6,55	0	Fratura aberta
85,18	83,34	11,76	1	Fratura aberta
85,73	331,7	20,02	2	Fratura francamente aberta
86,23	320,64	28,08	0	Fratura aberta
86,36	291,08	45,43	0	Fratura parcialmente aberta
86,46	80,64	46,33	0	Fratura parcialmente aberta
86,74	323,67	19,69	0	Foliação ou bandamento
86,91	275,59	30,36	3	Zona de fraturamento principal
86,96	275,34	30,63	0	Foliação ou bandamento
87,31	218,69	12,83	0	Fratura parcialmente aberta
87,78	98,37	26,02	0	Fratura
87,79	253,87	13,18	0	Fratura aberta

87,84	309,38	8,88	0	Foliação ou bandamento
87,87	284,86	12,83	0	Fratura parcialmente aberta
88,71	332,1	59,42	0	Fratura
89,06	340,01	11,76	0	Foliação ou bandamento
89,4	34,74	14,24	0	Fratura
89,49	297,99	12,83	0	Fratura parcialmente aberta
89,68	304,57	15,29	0	Fratura
90,46	106,64	23,87	0	Fratura aberta
90,48	107,48	21,65	0	Fratura aberta
90,57	316,04	19,03	0	Fratura
90,68	280,04	16,88	0	Fratura
90,7	77,55	80,66	0	Fratura
90,79	274,19	8,15	0	Fratura parcialmente aberta
91,07	108,55	25,71	0	Fratura
92,02	130,25	62,72	0	Fratura
92,2	102,05	29,23	0	Foliação ou bandamento
93,31	73,37	41,51	0	Fratura parcialmente aberta
93,36	89,11	21,33	0	Fratura
93,83	51	14,94	0	Fratura
94,14	82,25	82,76	0	Fratura
95,71	80,31	40,45	0	Foliação ou bandamento
96,41	120,86	14,24	0	Foliação ou bandamento
96,74	114,6	33,83	0	Foliação ou bandamento
97,1	45,38	23,87	0	Foliação ou bandamento
97,18	64,63	16,66	0	Foliação ou bandamento
98,64	57,75	12,83	0	Foliação ou bandamento
98,94	92,78	19,36	0	Foliação ou bandamento
99,02	74,08	79,75	0	Fratura parcialmente aberta
99,49	14,95	9,24	0	Foliação ou bandamento
99,65	338,08	16,66	0	Foliação ou bandamento
101,19	239,36	39,57	0	Foliação ou bandamento
101,54	167,36	19,03	0	Fratura aberta
101,8	99,07	14,24	0	Foliação ou bandamento
101,91	74,49	53,54	0	Fratura parcialmente aberta
102,14	345,75	17,69	0	Foliação ou bandamento
102,26	311,11	38,67	0	Foliação ou bandamento
105,13	77,84	78,8	1	Fratura francamente aberta
106,53	107,24	25,41	0	Foliação ou bandamento
106,73	41,87	16,66	0	Fratura
106,74	35,76	23,56	0	Fratura parcialmente aberta
106,83	98,58	18,02	0	Fratura aberta
108,03	26,82	3,35	0	Foliação ou bandamento
108,97	277,22	20,02	0	Foliação ou bandamento
109,02	263,86	22,29	0	Fratura aberta
109,32	232,68	8,88	0	Foliação ou bandamento
110,52	21,13	14,24	0	Fratura
110,56	6,59	8,88	0	Foliação ou bandamento
110,67	0,84	24,8	0	Fratura aberta

111,08	130,25	23,56	0	Foliação ou bandamento
111,26	135,94	19,36	0	Foliação ou bandamento
111,31	137,54	19,03	0	Fratura aberta
111,48	122,08	25,71	0	Foliação ou bandamento
111,56	113,42	31,99	0	Fratura aberta
113,13	120,1	34,09	0	Foliação ou bandamento
113,64	93,93	60,08	1	Zona de fraturamento principal
113,92	60,72	28,37	0	Zona de fraturamento principal
114,12	86,45	45,25	2	Zona de fraturamento principal
114,7	100,31	25,41	0	Foliação ou bandamento
115,26	23,36	9,24	0	Fratura francamente aberta
115,37	100,8	36,33	0	Foliação ou bandamento
115,63	100,31	33,57	0	Foliação ou bandamento
116,19	337,09	37,75	0	Foliação ou bandamento
116,25	331,15	30,63	0	Fratura aberta
117,37	273,26	35,35	0	Fratura
117,49	265,59	47,04	0	Fratura
117,71	113,17	28,08	0	Foliação ou bandamento
119,05	75,81	5,21	0	Fratura
119,2	305,46	66,05	0	Fratura parcialmente aberta
119,23	85,39	79,36	1	Fratura parcialmente aberta
119,31	179,73	59,42	0	Fratura aberta
120,44	70,07	22,93	0	Fratura parcialmente aberta
120,67	73,34	62,32	0	Fratura parcialmente aberta
120,74	95,86	82,51	0	Fratura
120,8	74,33	13,89	0	Foliação ou bandamento
120,81	86,45	72,35	0	Fratura
121,32	84,93	19,36	0	Foliação ou bandamento
121,48	89,29	21,33	0	Foliação ou bandamento
121,61	92,39	20,35	0	Foliação ou bandamento
121,68	88,96	22,29	0	Fratura parcialmente aberta
121,84	353,85	9,97	40	Zona de fraturamento principal
122,28	238,37	11,76	0	Foliação ou bandamento
122,32	230,35	12,12	0	Fratura
122,68	302,45	11,41	0	Fratura
122,76	84,23	77,3	0	Fratura
122,83	272,27	6,68	0	Foliação ou bandamento
123,21	95,11	25,1	0	Foliação ou bandamento
123,5	311,82	22,29	1	Fratura parcialmente aberta
123,58	139,65	68,94	0	Fratura
123,69	83,48	31,72	25	Zona de fraturamento principal
124,22	260,39	64,63	0	Fratura
124,24	67,69	12,83	0	Fratura parcialmente aberta
124,3	67,89	23,56	2	Fratura parcialmente aberta
124,4	91,65	25,71	0	Fratura parcialmente aberta
124,51	106,25	21,65	0	Foliação ou bandamento
124,59	39,18	42,54	0	Fratura
124,76	352,13	12,83	0	Foliação ou bandamento

124,9	14,21	13,18	40	Zona de fraturamento principal
125,14	1,59	23,24	5	Fratura francamente aberta
125,3	52,35	24,8	0	Fratura francamente aberta
125,37	59,98	29,8	0	Zona de fraturamento principal
125,79	309,88	26,02	4	Zona de fraturamento principal
126,49	21,63	45,8	2	Fratura francamente aberta
127,97	103,19	13,33	0	Fratura
128,13	15,44	6,55	0	Foliação ou bandamento
130,76	68,54	24,8	0	Foliação ou bandamento
131,87	66,41	15,29	0	Foliação ou bandamento
132,2	49,8	15,63	0	Foliação ou bandamento
132,24	45,69	13,33	0	Fratura
132,33	70,48	15,29	0	Foliação ou bandamento
132,6	154,6	17,69	0	Fratura
136,22	85,46	26,91	0	Foliação ou bandamento
136,65	329,21	11,41	0	Foliação ou bandamento
137,98	39,2	9,24	0	Foliação ou bandamento
138,03	48,49	9,89	0	Fratura parcialmente aberta
139,16	32,45	7,78	0	Fratura
140,7	49,91	10,33	0	Fratura
140,76	80,27	79,36	0	Fratura
140,79	41,42	14,24	0	Foliação ou bandamento
141,85	193,14	56,82	0	Fratura parcialmente aberta
145,28	298,74	30,08	0	Foliação ou bandamento
146,43	317,47	33,05	0	Foliação ou bandamento
147,99	128,29	65,62	0	Fratura
148,06	131,13	66,11	0	Fratura
151,43	146,03	6,55	0	Fratura
151,95	5,05	10,33	20	Zona de fraturamento principal
157,32	130,69	25,71	0	Foliação ou bandamento
158,57	194,8	56,59	0	Fratura parcialmente aberta
163,15	203,11	5,94	3	Fratura aberta
163,64	89,73	16,66	20	Zona de fraturamento principal
163,67	108,03	38,45	0	Fratura interconectadas
164,69	299,36	22,93	0	Foliação ou bandamento
167,52	186,62	65,55	0	Fratura parcialmente aberta
171,51	98,88	9,24	0	Foliação ou bandamento
171,56	90,16	9,6	0	Fratura
171,6	93,82	9,24	0	Fratura
172,56	71,86	5,94	0	Foliação ou bandamento
172,61	60,35	8,15	0	Fratura aberta
173,26	37,5	7,78	0	Fratura parcialmente aberta
173,3	71,42	5,94	0	Foliação ou bandamento
173,7	345,56	7,42	0	Foliação ou bandamento
173,75	357,78	8,15	0	Fratura aberta
173,93	356,02	13,89	0	Foliação ou bandamento
173,98	354,71	13,18	0	Fratura aberta
174,01	8,1	11,05	0	Fratura aberta

174,73	115,44	65,42	0	Foliação ou bandamento
176,54	116,31	63,99	0	Foliação ou bandamento
177,03	116,75	63,11	0	Foliação ou bandamento
177,17	111,95	65,49	0	Foliação ou bandamento
177,71	107,93	15,98	0	Fratura parcialmente aberta
178,16	119,19	25,71	0	Fratura parcialmente aberta
179,37	28,95	4,09	0	Fratura parcialmente aberta
181,07	129,82	8,88	0	Foliação ou bandamento
181,21	78,83	17,35	0	Foliação ou bandamento
181,23	75,38	21,97	20	Zona de fraturamento principal
181,44	119,56	24,18	0	Fratura aberta
182,26	119,32	14,94	0	Fratura aberta
182,41	121,33	64,35	0	Fratura parcialmente aberta
182,48	282,53	19,36	0	Fratura
183,17	290,33	26,32	0	Foliação ou bandamento
183,42	108,03	24,8	0	Foliação ou bandamento
183,45	113,98	24,8	0	Fratura aberta
183,48	112,39	27,79	0	Fratura parcialmente aberta
184,59	112,75	28,08	0	Foliação ou bandamento
184,65	113,26	28,66	0	Fratura parcialmente aberta
184,79	92,44	24,49	0	Fratura
184,87	108,47	17,69	0	Foliação ou bandamento
184,94	107,16	17,69	20	Zona de fraturamento principal
185,48	94,88	21,97	0	Fratura parcialmente aberta
185,6	173,84	15,63	15	Zona de fraturamento principal
185,91	109,79	26,32	0	Fratura parcialmente aberta
187,3	322,9	9,24	0	Fratura parcialmente aberta
191,25	149,94	12,83	0	Fratura parcialmente aberta
192,09	121,8	7,42	0	Fratura aberta
192,57	354,91	12,12	0	Fratura
193,46	107,16	30,91	0	Foliação ou bandamento
193,83	96,8	8,15	0	Fratura aberta
195,58	112,21	8,88	2	Fratura francamente aberta
196,79	274,52	24,8	0	Foliação ou bandamento
198,08	261,01	4,09	0	Foliação ou bandamento
198,33	11,8	29,52	0	Fratura
198,95	94,47	15,98	0	Fratura aberta
199,11	112,09	11,05	0	Fratura aberta
201,25	292,6	13,89	0	Fratura parcialmente aberta
201,74	118,55	11,05	0	Fratura aberta
202,18	298,82	26,32	0	Fratura parcialmente aberta
203,78	79,7	16,66	20	Zona de fraturamento principal
204,13	101,06	13,89	0	Foliação ou bandamento
205,38	106,66	42,54	0	Fratura
205,7	121,27	43,34	0	Fratura
205,74	120,58	60,98	0	Fratura
206,19	120,67	66,77	0	Fratura parcialmente aberta
206,63	188,07	55,43	0	Fratura parcialmente aberta

207	38,45	32,26	0	Fratura
207,42	268,76	40,88	0	Foliação ou bandamento
207,42	182,19	65,36	0	Fratura parcialmente aberta
207,66	44,33	26,32	0	Fratura
208,12	30,73	16,66	0	Foliação ou bandamento
208,42	39,22	15,98	0	Foliação ou bandamento
208,81	23,7	13,18	0	Fratura
208,83	35,36	9,97	0	Foliação ou bandamento
208,85	37,64	9,97	0	Fratura
209,08	61,51	38,45	0	Fratura
209,3	50,76	5,58	0	Fratura interconectadas
209,3	278,88	21,33	3	Zona de fraturamento principal
209,43	90,16	13,54	0	Fratura
210,46	265,87	28,08	0	Fratura interconectadas
210,48	26,09	19,36	0	Fratura interconectadas
210,55	12,24	26,32	0	Fratura
212,13	185,55	63,99	0	Fratura parcialmente aberta
212,4	178,01	56,93	0	Fratura parcialmente aberta
212,47	30,5	22,61	0	Fratura parcialmente aberta
214,29	28,37	17,35	0	Fratura parcialmente aberta
214,63	22,92	8,88	0	Fratura
215,25	40,66	13,89	0	Fratura aberta
215,83	75,77	12,83	0	Fratura
216,26	184,98	55,67	2	Fratura francamente aberta
217,53	80,07	28,66	0	Foliação ou bandamento
218,49	125,78	17,69	0	Foliação ou bandamento
219,16	46,28	21,97	0	Fratura aberta
219,44	63,25	20,35	0	Fratura aberta
220,16	19,13	58,11	0	Fratura aberta
220,4	164,46	5,21	0	Fratura parcialmente aberta
220,48	358,14	4,09	0	Fratura parcialmente aberta
220,59	309,91	22,93	0	Fratura parcialmente aberta
220,97	286,55	25,41	0	Foliação ou bandamento
221,75	181,06	57,58	0	Fratura aberta
222,34	186,28	59,7	0	Fratura aberta
222,59	75,64	11,05	0	Fratura
222,82	262,94	22,93	0	Foliação ou bandamento
222,9	51,79	13,18	0	Foliação ou bandamento
222,97	65,66	7,05	0	Fratura
223,14	12,7	5,21	0	Fratura parcialmente aberta
224,14	298,11	21,33	0	Fratura parcialmente aberta
224,45	45,17	15,63	0	Fratura aberta
225,6	34,18	4,84	0	Fratura aberta
226,85	136,92	5,21	0	Fratura
231,39	103,58	67,98	0	Fratura parcialmente aberta
232,77	188,9	61,33	2	Fratura francamente aberta
235,78	277,28	47,72	0	Foliação ou bandamento
236,16	299,2	45,43	0	Fratura parcialmente aberta

236,31	97,25	19,36	0	Foliação ou bandamento
236,38	113,04	24,49	0	Fratura parcialmente aberta
236,43	349,02	4,84	0	Foliação ou bandamento
237,8	188,03	59,22	2	Fratura francamente aberta
238,53	290,76	37,05	0	Foliação ou bandamento
238,8	304,26	40,23	0	Foliação ou bandamento
238,97	301,73	37,75	0	Foliação ou bandamento
239,17	114,98	40,45	0	Fratura
239,18	299,2	42,94	0	Foliação ou bandamento
239,51	296,13	35,84	0	Fratura parcialmente aberta
239,87	218,06	17,69	0	Foliação ou bandamento
240,22	103,27	16,66	0	Fratura
241,23	116,25	38,45	0	Fratura
241,28	114,93	41,51	0	Fratura parcialmente aberta
241,41	112,99	35,35	0	Fratura parcialmente aberta
242,27	4,33	75,26	0	Fratura parcialmente aberta
242,33	106,19	49,82	0	Fratura parcialmente aberta
242,44	107,11	42,54	0	Fratura
242,78	114,21	30,36	0	Fratura parcialmente aberta
243,27	191,51	58,32	0	Fratura aberta
243,88	297,29	35,35	0	Foliação ou bandamento
244,87	278,13	33,05	0	Foliação ou bandamento
246,87	33,1	14,94	0	Fratura parcialmente aberta
247,39	284,62	4,47	0	Foliação ou bandamento
247,47	335,09	12,83	0	Fratura
247,58	332,69	14,94	0	Fratura parcialmente aberta
248,07	115,33	45,61	0	Foliação ou bandamento
248,66	115,16	21,97	0	Foliação ou bandamento
249,19	51,47	30,36	0	Fratura parcialmente aberta
249,53	101,83	45,61	0	Foliação ou bandamento
249,66	86,16	61,83	0	Fratura aberta
249,8	339,67	67,72	0	Fratura interconectadas
249,88	357,74	62,32	25	Zona de fraturamento principal
250,04	98,79	59,7	25	Zona de fraturamento principal
250,98	288,58	64,14	0	Foliação ou bandamento
251,29	156,68	23,56	25	Zona de fraturamento principal
251,97	144,19	17,69	0	Fratura aberta
252,22	295,55	33,83	4	Zona de fraturamento principal
252,68	182,37	46,33	0	Fratura francamente aberta
253,52	288,58	37,75	0	Fratura aberta
254,29	191,51	35,1	0	Fratura parcialmente aberta
254,45	136,22	14,94	0	Fratura parcialmente aberta
254,88	13,28	29,8	0	Fratura parcialmente aberta

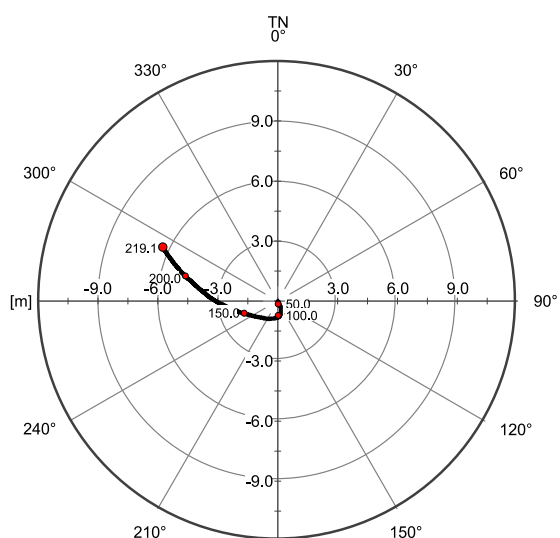
POÇO W1346 - Dados Estruturais				
ProFratura, (m)	Dip Direction (°)	Dip (°)	Abertura (mm)	Descrição
63,32	101,77	47,63	0	Fratura

66,71	182,67	19,16	0	Fratura
69,54	60,37	15,56	3	Foliação ou bandamento
69,59	58,77	17,16	2	Foliação ou bandamento
69,82	24,37	13,43	2	Fratura
70,13	337,57	31,64	8	Zona de fraturamento principal
71,37	312,37	29,18	20	Zona de fraturamento principal
71,47	316,87	25,57	20	Zona de fraturamento principal
74,15	332,47	62,18	0	Fratura
74,27	325,77	63,12	0	Fratura
75,12	324,77	52,17	0	Fratura
75,37	322,27	54,6	0	Fratura
75,52	327,07	51,22	0	Fratura
75,82	250,57	20,75	0	Foliação ou bandamento
77,62	239,07	8,21	0	Foliação ou bandamento
77,93	174,07	13,43	0	Foliação ou bandamento
78,18	302,17	15,78	0	Foliação ou bandamento
80,8	68,37	28,84	0	Foliação ou bandamento
81,26	71,57	31,37	0	Foliação ou bandamento
81,59	107,17	35,8	0	Foliação ou bandamento
82,03	327,07	14,71	0	Fratura
82,72	100,87	35,32	25	Foliação ou bandamento
83,25	303,17	46,18	15	Zona de fraturamento principal
83,36	322,57	42,19	3	Fratura interconectadas
83,43	85,17	19,53	1	Fratura interconectadas
83,48	96,67	33,55	2	Fratura interconectadas
83,62	332,47	38,92	0	Fratura parcialmente aberta
83,75	291,97	44,21	0	Fratura parcialmente aberta
83,87	313,37	40,43	0	Fratura parcialmente aberta
83,95	310,47	48,43	0	Fratura parcialmente aberta
84,03	314,27	53,38	0	Fratura parcialmente aberta
85,05	321,57	28,84	0	Fratura parcialmente aberta
86,33	85,17	30,58	0	Fratura parcialmente aberta
86,51	94,17	30,84	0	Foliação ou bandamento
88,44	342,97	52,77	0	Foliação ou bandamento
89,7	6,57	48,66	0	Zona de fraturamento principal
91,25	331,47	40,43	0	Fratura francamente aberta
96,22	308,27	43,35	0	Foliação ou bandamento
96,89	262,97	38,03	0	Foliação ou bandamento
97,76	234,67	28,84	0	Foliação ou bandamento
98,38	341,97	42,61	30	Foliação ou bandamento
98,63	322,57	33,82	0	Foliação ou bandamento
98,91	311,37	32,72	0	Foliação ou bandamento
99,22	310,47	38,03	0	Foliação ou bandamento
99,57	302,47	33,55	0	Foliação ou bandamento
103,53	92,87	37,73	35	Foliação ou bandamento
104,61	101,17	27,39	10	Foliação ou bandamento
104,72	103,97	30,84	10	Foliação ou bandamento
109,44	350,57	25,33	0	Foliação ou bandamento

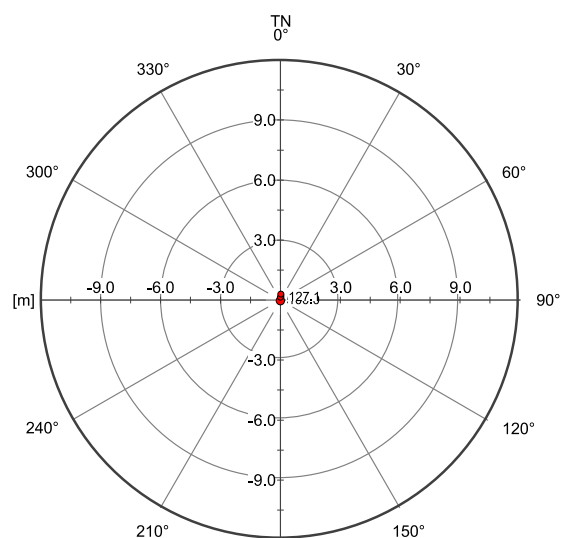
110,39	28,87	22,14	0	Foliação ou bandamento
118,08	282,07	34,57	0	Foliação ou bandamento
120,54	350,87	26,48	0	Fratura parcialmente aberta
126,83	145,07	8,21	20	Foliação ou bandamento
127,44	295,77	24,35	0	Foliação ou bandamento
129,31	271,87	38,22	50	Foliação ou bandamento
130,46	343,27	77,76	0	Fratura parcialmente aberta
131,11	145,17	25,9	0	Foliação ou bandamento
143,72	290,07	34,29	3	Fratura parcialmente aberta
147,6	139,37	36,08	2	Fratura
151,28	104,37	33,55	0	Foliação ou bandamento
152,91	103,07	71,05	0	Fratura parcialmente aberta
155,34	262,97	39,32	0	Foliação ou bandamento
155,65	288,77	40,23	0	Foliação ou bandamento
156,13	285,27	43,35	0	Foliação ou bandamento
156,76	285,57	44	0	Foliação ou bandamento
156,99	289,77	46,07	0	Foliação ou bandamento
160,77	67,37	39,62	0	Foliação ou bandamento
161,1	88,37	40,03	0	Foliação ou bandamento
161,37	352,67	76,28	0	Fratura
162,4	100,17	40,64	30	Fratura aberta
162,69	96,37	59,54	0	Foliação ou bandamento
165,69	278,87	33,27	0	Fratura
167,17	256,57	28,84	0	Foliação ou bandamento
167,25	263,97	28,84	0	Foliação ou bandamento
167,33	251,57	25,57	0	Fratura
167,54	281,17	25,57	0	Foliação ou bandamento
168,67	293,57	37,05	0	Foliação ou bandamento
171,6	271,87	28,84	0	Fratura

ANEXO V

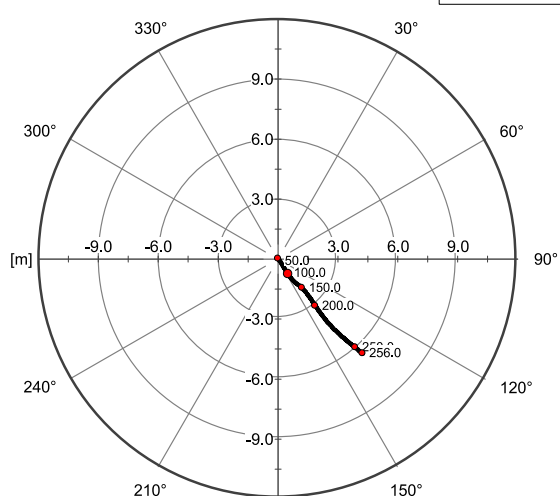
Desvio dos poços



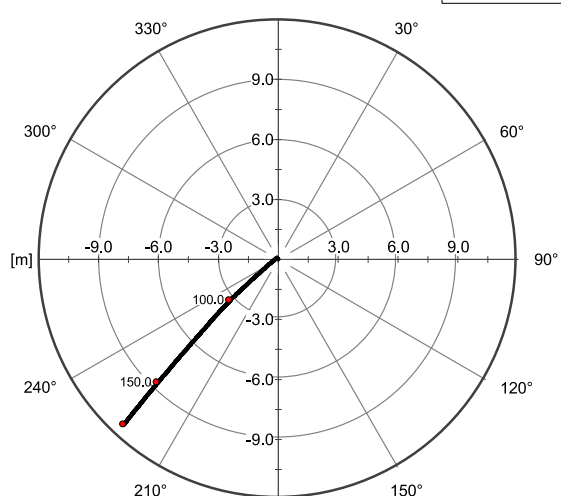
● 50.0m ● W255



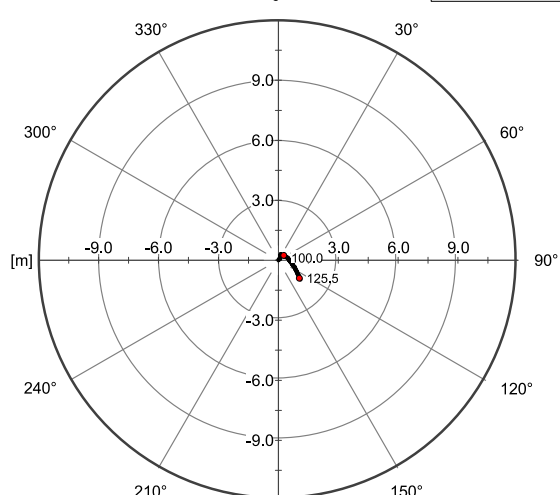
● 50.0m ● W256



● 50.0m ● W1204



● 50.0m ● W1346



● 50.0m ● W1401

Anexo V. Desvio dos poços DAEE 255, 256, 1204, 1346 e 1401. Dados descontínuos obtidos a partir do magnetômetro e acelerômetro da sonda OPTV. Todos os dados fornecidos estão em metros (m).

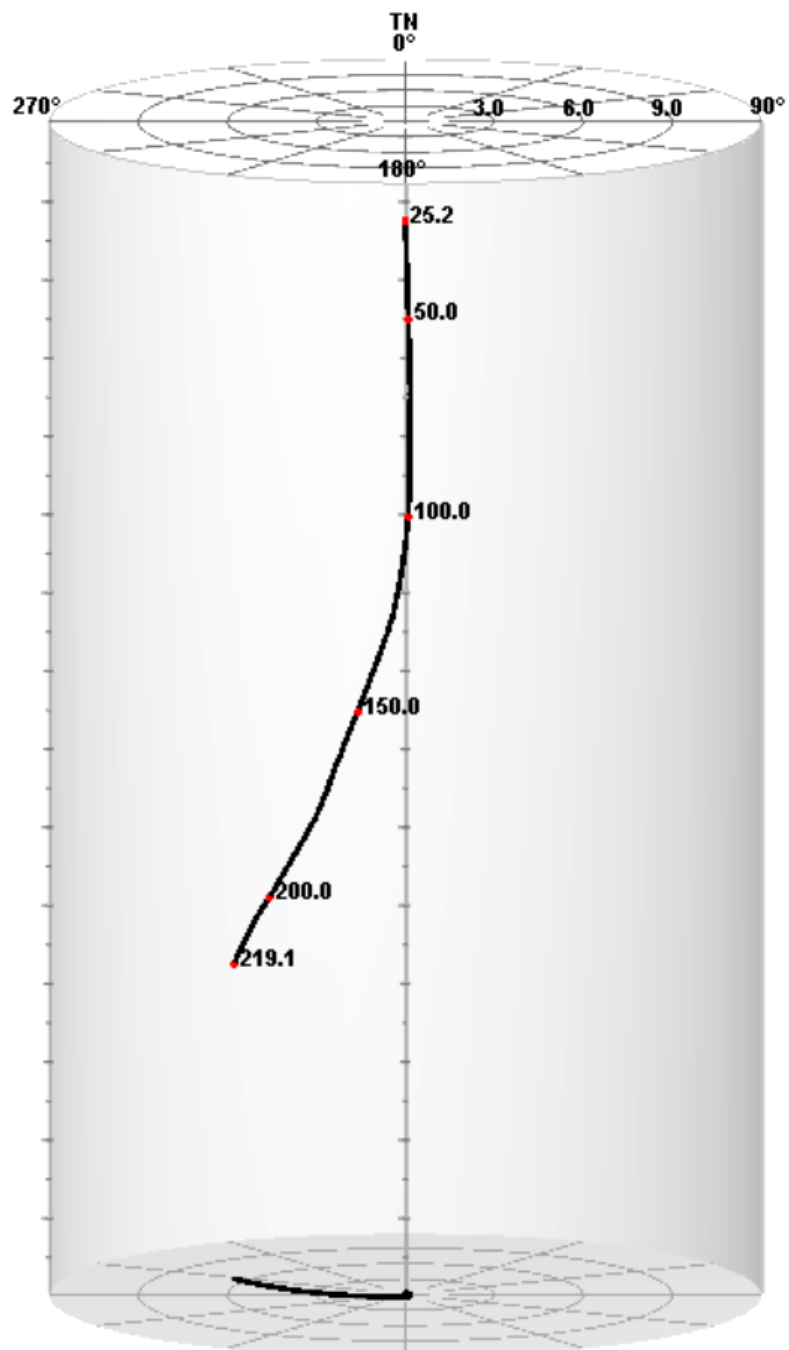


Figura 1. Desvio do poço DAEE 255. Dados descontínuos obtidos a partir do magnetômetro e acelerômetro da sonda OPTV. Todos os dados fornecidos estão em metros (m).

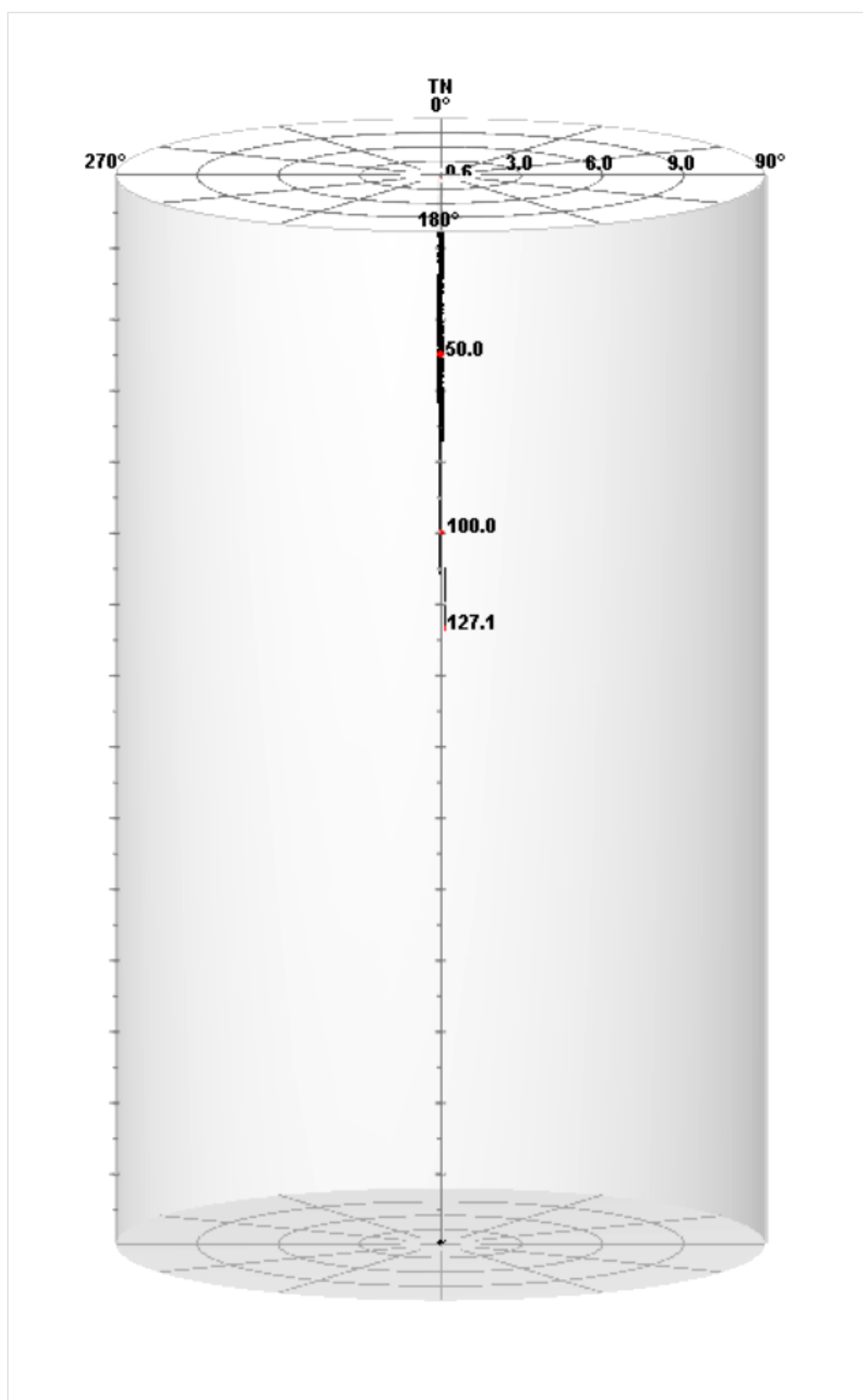


Figura 2. Desvio do poço DAE 256. Dados descontínuos obtidos a partir do magnetômetro e acelerômetro da sonda OPTV. Todos os dados fornecidos estão em metros (m).

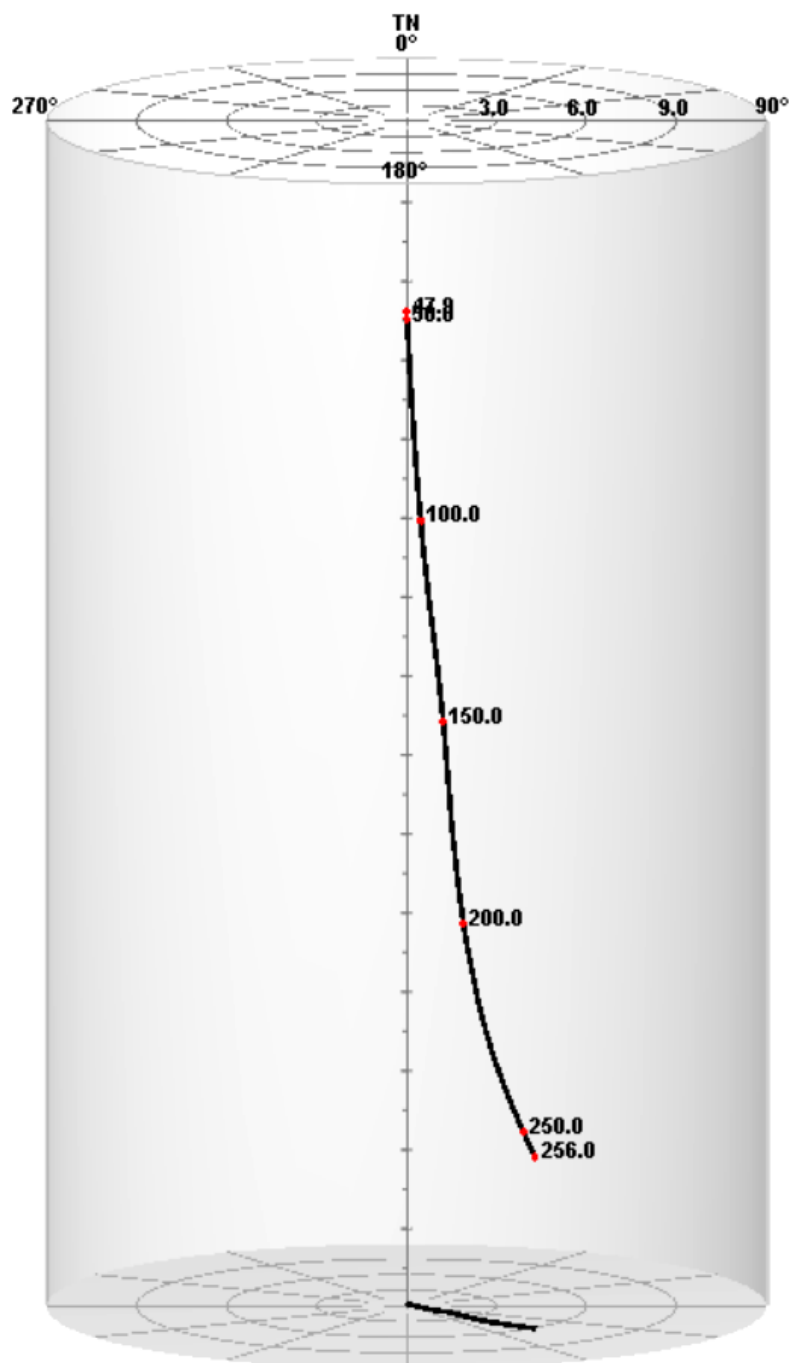


Figura 3. Desvio do poço DAEE 1204. Dados descontínuos obtidos a partir do magnetômetro e acelerômetro da sonda OPTV. Todos os dados fornecidos estão em metros (m).

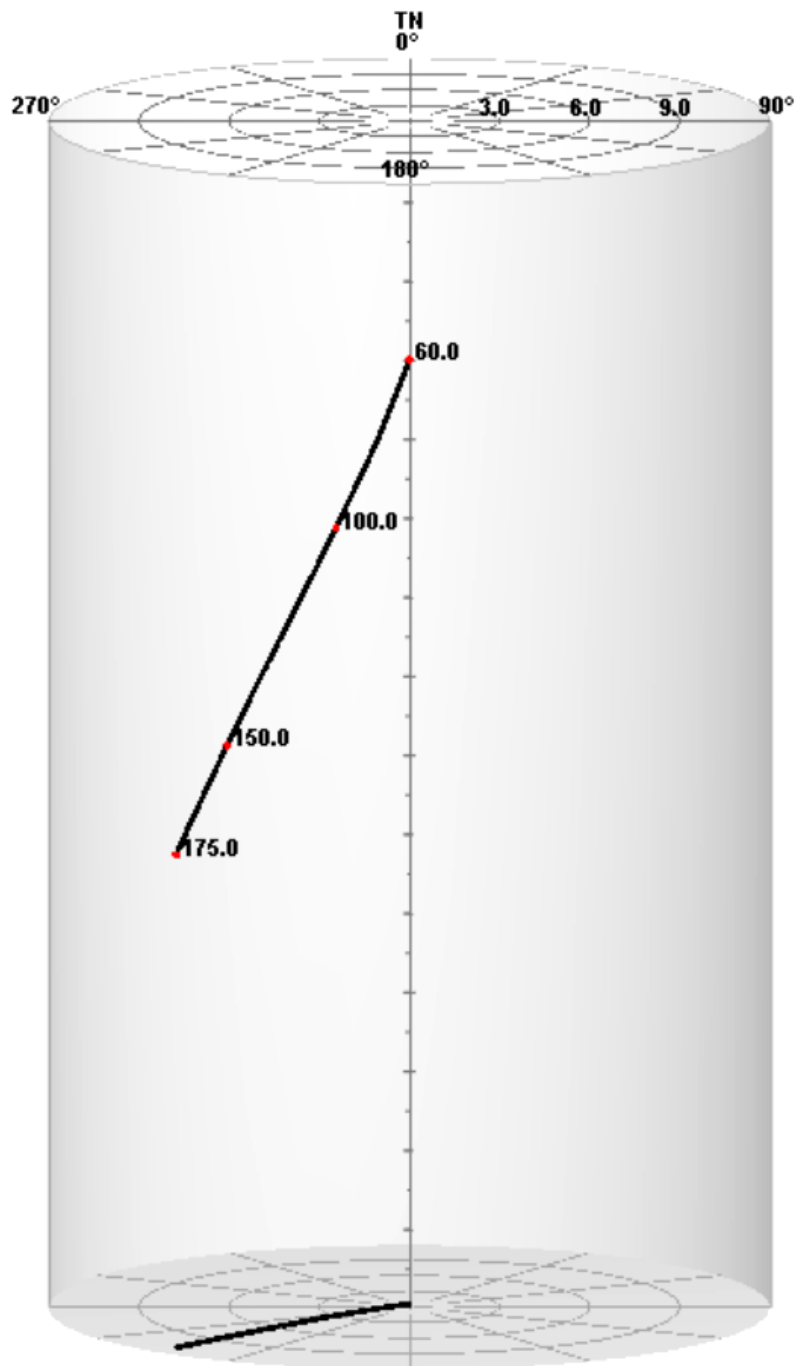


Figura 4. Desvio do poço DAEE 1346. Dados descontínuos obtidos a partir do magnetômetro e acelerômetro da sonda OPTV. Todos os dados fornecidos estão em metros (m).

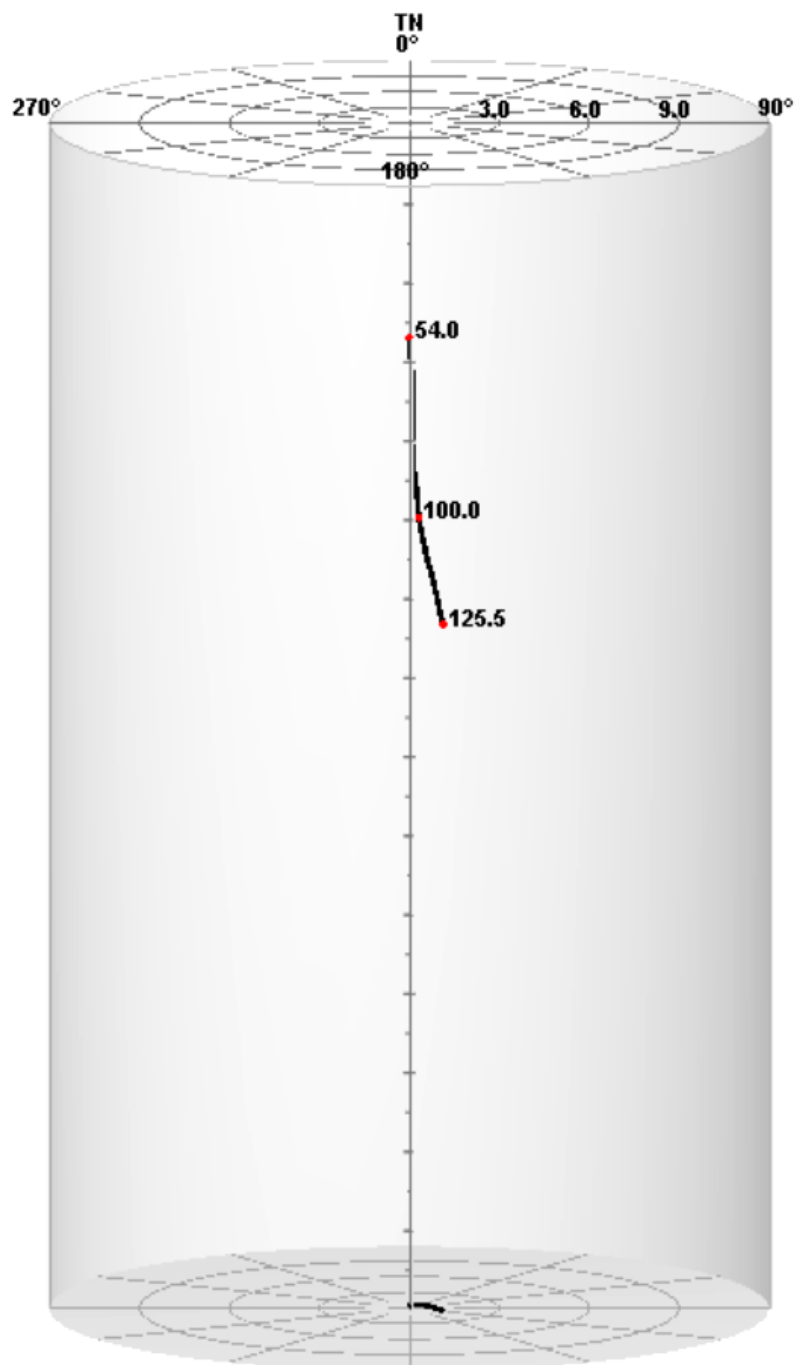


Figura 5. Desvio do poço DAEE 1401. Dados descontínuos obtidos a partir do magnetômetro e acelerômetro da sonda OPTV. Todos os dados fornecidos estão em metros (m).