

**PROJETO DE MONITORAMENTO GEOTÉCNICO, INSTALAÇÃO DE  
INSTRUMENTAÇÃO GEOTÉCNICA E LAUDO DE ESTABILIDADE DO  
MACIÇO DE RESÍDUOS DO ATERRO SANITÁRIO DE MURIAÉ/MG**

*Município de Muriaé, MG*

**PRF-MRE-INS-EST-REL-F  
JUNHO DE 2020**

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2 LOCALIZAÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>3 ATIVIDADES REALIZADAS.....</b>	<b>8</b>
<b>4 INSPEÇÃO TÉCNICA REALIZADA .....</b>	<b>9</b>
<b>5 CLASSIFICAÇÃO DOS RISCOS GEOTÉCNICOS .....</b>	<b>10</b>
<b>6 MARCOS SUPERFICIAIS .....</b>	<b>13</b>
<b>6.1 Setorização dos Marcos Superficiais.....</b>	<b>14</b>
<b>6.2 Velocidade de Deslocamento.....</b>	<b>16</b>
<b>6.3 Ângulo de Deslocamento .....</b>	<b>24</b>
6.3.1 Análise Bidimensional Plana (x,y) .....	24
6.3.2 Análise Tridimensional Espacial (x,y,z) .....	27
6.3.3 Comportamentos Deformacionais Geral e Local .....	28
<b>6.4 Resultados do Comportamento dos Marcos Superficiais.....</b>	<b>29</b>
<b>7 PIEZÔMETROS .....</b>	<b>36</b>
<b>8 ANÁLISE DE ESTABILIDADE.....</b>	<b>40</b>
<b>8.1 Geometria .....</b>	<b>40</b>
<b>8.2 Método de Análise .....</b>	<b>41</b>
<b>8.3 Superfícies de Ruptura.....</b>	<b>42</b>
<b>8.4 Pressões de Líquidos e Gases – Poropressões.....</b>	<b>44</b>
<b>8.5 Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento dos materiais.....</b>	<b>45</b>
8.5.1 Parâmetros de resistência ao cisalhamento dos resíduos domiciliares .....	45
8.5.2 Parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais provenientes de limpeza de ruas e domicílios após a ocorrência de chuvas intensas e enchentes .....	48
8.5.3 Parâmetros de resistência dos solos compactados, naturais e de interface adotados na análise de estabilidade .....	50

8.5.4 Síntese dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais adotados nas hipóteses assumidas .....	50
<b>8.6 Peso Específico dos Resíduos .....</b>	<b>51</b>
<b>8.7 Resultados Obtidos .....</b>	<b>52</b>
<b>8.8 Interpretação dos Resultados Obtidos .....</b>	<b>54</b>
<b>9 CONCLUSÕES.....</b>	<b>57</b>
<b>10 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>64</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Aterro Sanitário de Muriaé/MG (Fonte: Google Earth, sem escala). ....	7
Figura 6-1. Setorização do Aterro Sanitário Municipal de Muriaé.....	15
Figura 6-2 - Exemplo de Comportamento Direcional de Marco Superficial instalado em região voltada para o Ocidente.....	25
Figura 6-3 - Exemplo de Comportamento Direcional de Marco Superficial instalado em região voltada para o Oriente. ....	26
Figura 6-4 - Esquema do Comportamento Deformacional Desejável da direção resultante dos marcos superficiais. ....	27
Figura 6-5 - Esquema do Comportamento Deformacional Não Desejável da direção resultante dos marcos superficiais.....	28
Figura 7-1. Perfil esquemático de Piezômetro tipo “ <i>stand pipe</i> ” ou <i>Geotech</i> . ....	37
Figura 8-1 - Locação das seções críticas de análise de estabilidade (sem escala).....	41
Figura 8-2. Locação da região com ocorrências de trincas no aterro sanitário, no âmbito da inspeção técnica realizada em maio de 2020. ....	43
Figura 8-3. Locação da área em que foram dispostos resíduos provenientes da limpeza de vias públicas e domicílios após a enchente ocorrida em janeiro de 2020 (sem escala). ...	49

Muriaé, 30 de junho de 2020.

Ao

DEMSUR

Departamento Municipal de Saneamento Urbano

CNPJ: 02.318.396/0001-45 Muriaé-MG

A/C Engº Darllan Vieira Resende – Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos

*Ref.: Projeto de Monitoramento Geotécnico, Instalação de Instrumentação Geotécnica e Laudo de Estabilidade no Maciço de Resíduos do Aterro Sanitário de Muriaé/MG.*

## 1 INTRODUÇÃO

Neste relatório é apresentado o registro da instalação dos marcos superficiais e piezômetros tipo Geotech, assim como, o laudo de estabilidade geotécnica do aterro municipal de resíduos sólidos domiciliares, situado em Muriaé/MG e operado pelo Departamento Municipal de Saneamento - DEMSUR, com a finalidade de verificar as condições geotécnicas do maciço de resíduos, devido ao surgimento de trincas e afloramento de lixiviados.

O referido laudo de estabilidade foi realizado por meio de modelagem matemática e dados obtidos em campo, a partir da leitura dos instrumentos geotécnicos, piezômetros tipo Geotech e marcos superficiais, instalados pela equipe da Geotech, no período de 20 a 23 de maio de 2020. Neste período também foi realizado a leitura dos piezômetros tipo Geotech instalados, assim como foi realizado um treinamento ao corpo técnico da DEMSUR. O laudo de estabilidade também foi elaborado com base nos resultados das leituras dos piezômetros realizadas pelo técnico da DEMSUR e pelo levantamento planialtimétrico e das leituras de marcos superficiais enviadas pela DEMSUR.

## 2 LOCALIZAÇÃO

O empreendimento localiza-se na zona rural do município de Muriaé/MG, distante cerca de 6,0 km do centro do município, sendo que o acesso ao aterro é realizado pela Rodovia BR-356 seguida para a Estrada do Retiro.

As coordenadas UTM do local são E = 775.490, N = 7.664.931.

Na Figura 2-1 apresenta-se o Aterro Sanitário Municipal de Muriaé/MG (Fonte: Google Earth).

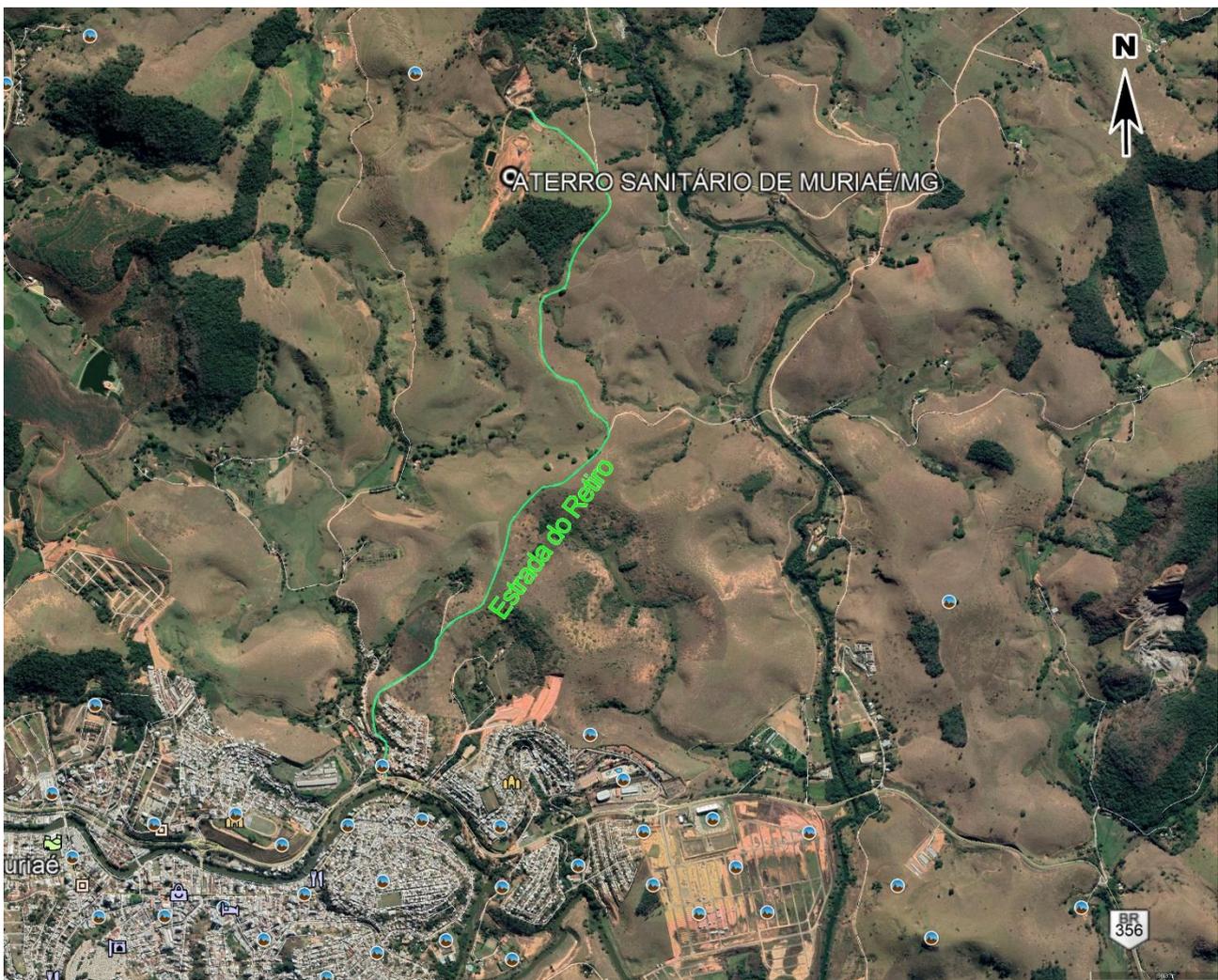


Figura 2-1. Aterro Sanitário de Muriaé/MG (Fonte: Google Earth, sem escala).

### 3 ATIVIDADES REALIZADAS

A seguir são elencadas as atividades realizadas:

- Instalação dos 10 piezômetros tipo Geotech e dos 17 marcos superficiais, dos dias 20 a 23/05/2020;
- Inspeções técnicas no período de 20 a 22/05/2020;
- Leituras iniciais dos piezômetros instalados dos dias 20 a 23/05/2020;
- Interpretação e processamento das leituras de coordenadas de marcos superficiais no período de 03/04/2020 a 18/06/2020;
- Interpretação e processamento das leituras de profundidade de nível de lixiviados nos piezômetros em 2, 9 e 23/06/2020;
- Análise de estabilidade do maciço de resíduos, segundo o levantamento topográfico de 05/06/20, fornecido pelo cliente.

#### 4 INSPEÇÃO TÉCNICA REALIZADA

A visita técnica realizada pela equipe especializada da GEOTECH no período de 20 a 22/05/2020, além do acompanhamento das instalações das instrumentações geotécnicas, teve como objetivo a inspeção técnica visual das condições geotécnicas do Aterro, dando importância à estabilidade do maciço de resíduos e avaliação das condições operacionais, que estão diretamente ligadas ao bom comportamento do maciço.

Durante a visita foram constatados alguns aspectos que são determinantes para a estabilidade geotécnica do maciço de resíduos:

- ✓ Drenagem de lixiviados: foram observados afloramentos de lixiviados nos pés dos taludes, na região próxima aos PZ-02 e PZ-05.
- ✓ Drenagem pluvial: verificou-se a ausência de dispositivos de drenagem pluvial em algumas áreas do aterro sanitário e, em alguns trechos, onde foi implementada, o dispositivo encontra-se assoreado.
- ✓ Cobertura dos resíduos e dos taludes: foi identificado, no platô superior, resíduos sem cobertura de solo. Além disso, em alguns taludes já encerrados, foi identificado a ausência de cobertura através de gramíneas.
- ✓ Drenagem de biogás: verificou-se que alguns drenos de biogás estão comprometidos e não estão funcionando.

No Anexo VI é apresentado o Relatório Fotográfico referente ao período em que foi realizado o acompanhamento das instalações das instrumentações geotécnicas e da inspeção técnica.

## 5 CLASSIFICAÇÃO DOS RISCOS GEOTÉCNICOS

Conforme a norma técnica ABNT NBR 11.682:2009 – Estabilidade de encostas, deve-se primeiramente, enquadrar o evento catastrófico de ruptura do maciço de resíduos Classe II quanto ao nível de criticidade a partir da possibilidade de perdas de vidas humanas, danos materiais e ambientais.

Nesse sentido, conforme os critérios apresentados na Tabela 5-1, considera-se que o nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas é “baixo”, devido a circulação e permanência de pessoas ser restrita na área de jusante. Em relação ao nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais seja de nível médio, segundo a norma ABNT NBR 11.682:2009.

<b>Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas</b>	
<b>Nível de segurança</b>	<b>Critérios</b>
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego intenso
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego moderado
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido

<b>Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais</b>	
<b>Nível de segurança</b>	<b>Critérios</b>
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos
Médio	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados
Baixo	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos

**Tabela 5-1. Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas, danos materiais e danos ambientais (Fonte: Adaptado de NBR 11.682/2009).**

Aplicando-se os critérios supracitados pode-se classificar que o Fator de Segurança, FS, recomendado pela norma ABNT NBR 11.682:2009 é de 1,3 para a área em questão, conforme apresentado na Tabela 5-2 a seguir.

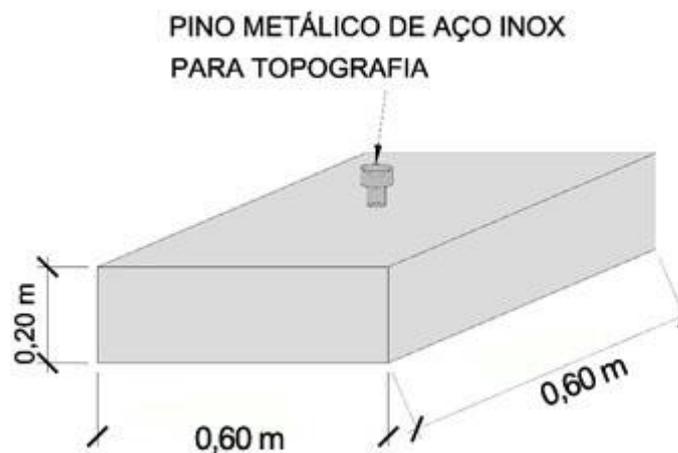
Nível de segurança contra danos a vidas humanas	Nível de segurança contra danos materiais e ambientais		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Tabela 5-2. Fatores de Segurança, FS mínimos para deslizamentos (Fonte: Adaptado de NBR 11.682/2009).

Nesse sentido, a favor da segurança, adotou-se o valor mínimo para o Fator de Segurança, FS de 1,3.

## 6 MARCOS SUPERFICIAIS

Marco superficial é um instrumento que tem a finalidade de registrar, por acompanhamento topográfico, as movimentações da massa de resíduos, através da medição periódica das coordenadas x, y e z, é constituído por uma placa de concreto armado de 0,60 m x 0,60 m x 0,20 m e um pino topográfico, conforme apresentado na figura a seguir. No maciço de resíduos do Aterro Sanitário de Muriaé foram instalados, no período de 20 a 23/05/2020, 17 marcos superficiais.



No aterro já são existentes 29 marcos superficiais, portanto, até o momento são monitorados 46 marcos superficiais, tendo sido analisadas neste relatório 11 medições, conforme a Tabela 6-1.

Leitura	Data	$\Delta t$ (dias)
L1	03/04/20	-
L2	06/04/20	3
L3	13/04/20	7
L4	23/04/20	10
L5	30/04/20	7
L6	07/05/20	7
L7	14/05/20	7
L8	21/05/20	7
L9	28/05/20	7
L10	04/06/20	7
L11	18/06/20	14

Tabela 6-1. Leituras de marco superficial analisadas.

## 6.1 Setorização dos Marcos Superficiais

Para melhor caracterizar e interpretar a evolução dos deslocamentos dos marcos superficiais, no aterro foram designados e nomeados 9 setores. A Tabela 6-2 apresenta distribuição dos marcos superficiais nos setores do aterro.

N1	SW1	SW2	SW3	SW4	SW5	SW7	SW8	SW9
M3	M1	M5	M7	M12	M15	MS15	M19	M10
M26	M2	M6	M8	M13	M16	MS16	MS8	M32
M27			M9	M14	M17	MS17	MS11	M4
M28						MS13	MS12	M25
M29						MS14	M18	MS5
M30							M11	MS6
M31							MS9	MS7
MS1							MS10	
MS2								
MS3								
M61								
M62								

Tabela 6-2 - Setorização dos Marcos Superficiais.

As regiões correspondentes aos setores descritos na Tabela 6-2 são apresentadas na Figura 6-1, que foi elaborada tendo como base o último levantamento topográfico *as-built* fornecido.

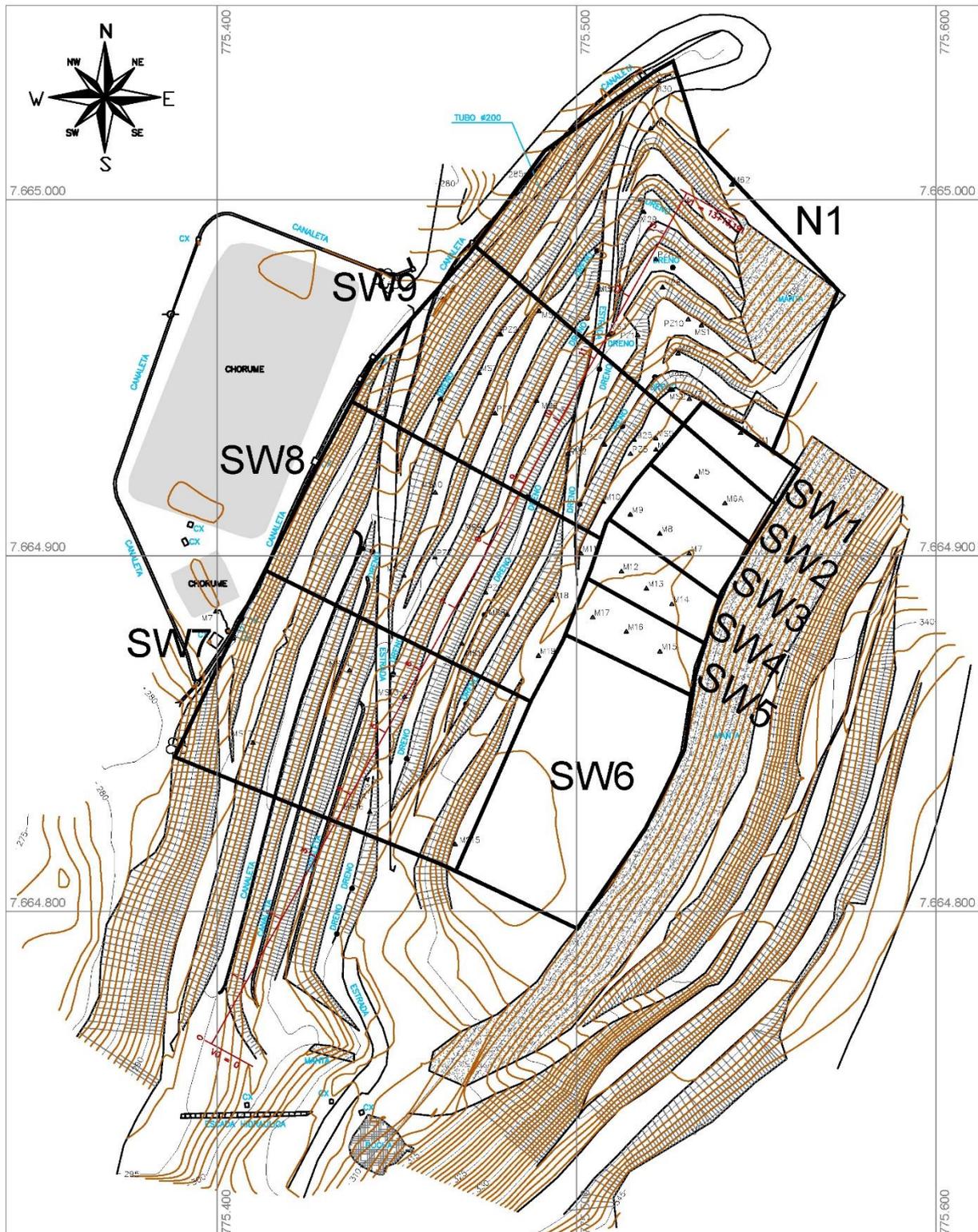


Figura 6-1. Setorização do Aterro Sanitário Municipal de Muriaé.

## 6.2 Velocidade de Deslocamento

Em função das medições realizadas são calculadas as velocidades de deslocamento horizontal e vertical (recalque) para cada marco superficial instalado. Os critérios de segurança para as áreas sobre resíduos em função das velocidades de deslocamento para intervalos mensais de leitura podem ser resumidos conforme a Tabela 6-3.

DESLOCAMENTO VERTICAL			
ADEQUADO	ATENÇÃO	ALERTA	INTERVENÇÃO
$X \leq 20 \text{ mm/dia}$	$20 < X \leq 40 \text{ mm/dia}$	$40 < X \leq 100 \text{ mm/dia}$	$X > 100 \text{ mm/dia}$
DESLOCAMENTO HORIZONTAL			
ADEQUADO	ATENÇÃO	ALERTA	INTERVENÇÃO
$X \leq 10 \text{ mm/dia}$	$10 < X \leq 20 \text{ mm/dia}$	$20 < X \leq 50 \text{ mm/dia}$	$X > 50 \text{ mm/dia}$

Tabela 6-3. Critérios de segurança para velocidades de deslocamento.

Esses valores foram definidos originalmente para periodicidade de leitura com intervalo de 30 dias. Este fato é de suma importância por tratar-se de aterros sanitários com comportamento extremamente peculiares em termos de velocidades, direção e sentido de deslocamentos.

No caso de haver deslocamentos progredindo para as condições de atenção, alerta e intervenção, há a necessidade de análise das seguintes condições em conjunto:

- Caráter e extensão dos fatos, definindo a área de abrangência;
- Verificação de área em operação, atendimento aos projetos e relação com os fatos;
- Verificação da piezometria associada à região e evolução dos resultados dos fatores de segurança;
- Verificação da pluviometria local e vazões de percolados;
- Inspeção técnica na área por técnico especialista; e
- Diagnóstico da ocorrência em conjunto com a operação do aterro e definição de ações corretivas operacionais e de controle.

Dentre as ações que poderão ser definidas após essa análise destacam-se:

- Movimentos de terra e resíduos, alterando conformações consideradas críticas;
- Drenagem de águas superficiais e de percolados com complementação dos sistemas;
- Instalação de drenos de alívio/bombeamento de líquidos, com rebaixamento de níveis piezométricos;
- Alteração da periodicidade das leituras dos instrumentos; e
- Paralisação de atividades de disposição de resíduos local ou globalmente, em função da extensão dos fatos.

Essas medidas são definidas a partir de análise conjunta de todos os dados de instrumentação, inclusive de pluviometria e vazão de percolados, com a inspeção de campo sendo definida como essencial para avaliação das possíveis não conformidades e ações de correção e controle.

Desta forma, dados isolados com indicações duvidosas, devem ser desconsiderados, após a análise conjunta dos diversos fatores, que compõe os procedimentos do monitoramento geotécnico do aterro sanitário.

Na evolução dos critérios apresentados na Tabela 6-3, e de análise global das definições qualitativas de atenção/alerta/intervenção serão associadas a ações correspondentes de acordo com o que realmente venha a acontecer, conforme anteriormente definido.

A Tabela 6-4 resume os resultados das velocidades de deslocamento horizontal e a Tabela 6-5 resume os resultados das velocidades de deslocamento vertical dos marcos superficiais (mm/dia), sendo os intervalos de leitura relativos a um ano. As cores das respectivas tabelas que ilustram cada velocidade são baseadas nos critérios de segurança para velocidades de deslocamento apresentados anteriormente na Tabela 6-3.

Data	06/04/20	13/04/20	23/04/20	30/04/20	07/05/20	14/05/20	21/05/20	28/05/20	04/06/20	18/06/20	
Setor	Marco	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11
N1	M3	1,90	8,37	4,41	-	8,24	-	-	-	-	-
N1	M26	-	7,41	3,79	4,23	6,44	21,17	14,27	5,18	4,47	7,54
N1	M27	-	6,31	3,01	3,56	6,46	19,07	12,81	4,92	4,25	7,35
N1	M28	-	3,62	3,00	2,14	5,72	18,84	15,00	5,62	9,24	7,18
N1	M29	-	2,22	1,09	1,97	2,97	25,12	22,03	3,04	7,99	6,28
N1	M30	-	0,70	1,81	1,03	3,68	34,18	35,55	2,86	8,31	4,99
N1	M31	-	4,25	1,01	1,57	3,77	25,10	24,47	2,88	6,86	5,95
N1	MS1	-	-	-	-	-	-	-	-	4,28	6,30
N1	MS2	-	-	-	-	-	-	-	-	3,88	7,70
N1	MS3	-	-	-	-	-	-	-	-	4,52	4,94
N1	M61	19,16	0,46	0,95	0,80	-	-	-	-	-	-
N1	M62	13,54	0,81	0,65	0,30	6,78	18,82	21,81	1,27	4,64	4,22
SW1	M1	12,20	2,74	1,01	0,95	1,21	13,07	13,60	0,00	5,71	2,99
SW1	M2	10,33	0,74	0,52	0,44	3,99	-	3,11	1,68	7,53	3,54
SW2	M5	4,52	7,05	3,02	2,79	3,78	25,83	17,60	4,89	4,26	6,97
SW2	M6	9,40	2,57	0,54	4,67	4,35	27,23	24,35	2,45	5,93	3,10
SW3	M7	32,97	2,47	0,59	0,75	2,56	29,66	26,93	2,95	7,39	3,91
SW3	M8	10,14	6,44	2,53	2,45	3,65	33,70	24,63	4,06	4,09	6,22
SW3	M9	6,19	6,22	1,82	1,72	5,57	30,45	26,40	4,00	5,20	7,13
SW4	M12	12,71	4,10	1,42	1,59	6,83	34,15	32,04	4,50	6,84	6,23
SW4	M13	16,30	4,25	0,10	1,23	5,50	41,31	32,89	3,25	7,59	3,91
SW4	M14	18,50	3,77	0,83	3,02	3,46	33,82	33,11	3,21	7,73	3,87
SW5	M15	21,87	4,60	0,72	0,62	3,03	43,06	37,98	3,90	8,38	4,50
SW5	M16	26,15	5,31	0,29	-	-	-	-	-	-	-
SW5	M17	21,05	5,94	0,85	1,46	1,45	44,85	37,82	4,03	7,50	-
SW7	MS15	-	-	-	-	-	-	-	-	2,89	5,74
SW7	MS16	-	-	-	-	-	-	-	-	4,01	1,37
SW7	MS17	-	-	-	-	-	-	-	-	5,49	0,70
SW7	MS13	-	-	-	-	-	-	-	-	4,13	1,54
SW7	MS14	-	-	-	-	-	-	-	-	5,29	1,11
SW8	M19	22,37	6,11	1,60	0,97	7,33	46,99	44,90	3,86	7,50	6,76
SW8	MS8	-	-	-	-	-	-	-	-	4,52	0,74
SW8	MS11	-	-	-	-	-	-	-	-	3,80	1,21
SW8	MS12	-	-	-	-	-	-	-	-	4,01	0,94
SW8	M18	20,16	4,73	0,63	1,14	4,54	43,71	38,73	4,79	8,74	6,50
SW8	M11	16,07	5,59	1,45	1,43	7,57	34,55	33,77	4,40	7,47	-
SW8	MS9	-	-	-	-	-	-	-	-	2,84	1,19
SW8	MS10	-	-	-	-	-	-	-	-	3,39	0,27
SW9	M10	12,94	5,88	1,67	2,08	4,25	31,45	27,26	3,61	5,94	6,49
SW9	M32	-	5,53	1,14	2,32	3,24	31,74	27,56	2,00	5,60	6,23
SW9	M4	5,17	7,27	3,01	4,32	9,94	20,91	16,90	4,59	3,40	7,62
SW9	M25	-	6,88	3,27	3,93	8,08	24,33	19,32	4,96	4,75	7,51
SW9	MS5	-	-	-	-	-	-	-	-	3,15	4,79
SW9	MS6	-	-	-	-	-	-	-	-	2,17	1,27
SW9	MS7	-	-	-	-	-	-	-	-	1,93	0,23
SW9	MS4	-	-	-	-	-	-	-	-	0,92	0,31

DESLOCAMENTO HORIZONTAL			
ADEQUADO	ATENÇÃO	ALERTA	INTERVENÇÃO
X ≤ 10 mm/dia	10 < X ≤ 20 mm/dia	20 < X ≤ 50 mm/dia	X > 50 mm/dia

Tabela 6-4. Velocidade de Deslocamento Horizontal dos marcos superficiais (mm/dia).

Data	06/04/20	13/04/20	23/04/20	30/04/20	07/05/20	14/05/20	21/05/20	28/05/20	04/06/20	18/06/20	
Setor	Marco	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11
N1	M3	-5,00	-5,14	-5,00	-	-	-	-	-	-	-
N1	M26	-	-5,43	-5,40	-4,71	-4,86	-4,86	-5,14	-5,29	-4,57	-4,29
N1	M27	-	-5,86	-8,60	-3,43	-4,43	-3,57	-5,29	-5,57	-5,00	-6,57
N1	M28	-	-4,00	-8,70	-0,57	-2,43	-4,57	-3,43	-4,57	-3,14	-6,07
N1	M29	-	-2,00	-5,50	-0,29	2,14	-1,86	0,00	-3,14	-2,86	-2,71
N1	M30	-	-2,86	-5,20	2,86	5,71	-0,71	0,57	0,71	-3,86	-1,14
N1	M31	-	-1,14	-6,00	1,00	-0,29	-1,71	0,00	-2,29	-0,86	-4,36
N1	MS1	-	-	-	-	-	-	-	-	-3,57	-4,71
N1	MS2	-	-	-	-	-	-	-	-	-4,00	-6,86
N1	MS3	-	-	-	-	-	-	-	-	-3,00	-5,29
N1	M61	-4,67	0,29	-7,40	2,71	-	-	-	-	-	-
N1	M62	-3,33	-0,43	-4,60	3,71	5,14	-2,43	-2,29	-0,14	-0,86	-1,29
SW1	M1	0,00	-3,57	2,20	-0,14	0,43	-0,57	-0,14	-0,43	-0,14	-0,14
SW1	M2	0,00	0,29	-0,70	0,14	0,43	-	-0,36	-0,43	-0,14	-0,14
SW2	M5	-2,67	-2,71	-3,10	-2,86	-1,71	-4,14	-2,86	-2,86	-2,29	-6,43
SW2	M6	-0,67	-0,29	-0,60	-0,43	-0,71	-1,29	-0,57	-0,71	-0,71	-0,50
SW3	M7	-5,33	-1,00	-1,20	-1,43	-0,86	-2,00	-1,00	-0,86	0,00	-1,14
SW3	M8	-1,67	-1,71	-2,20	-2,71	-0,86	-4,57	-2,43	-1,86	-1,57	-1,57
SW3	M9	-4,00	-2,86	-3,90	-3,86	-3,14	-3,86	-3,43	-3,29	-3,29	-2,71
SW4	M12	-3,00	-2,86	-2,60	-2,29	-1,86	-2,29	-2,29	-2,29	-2,00	-1,71
SW4	M13	-13,67	4,00	-0,70	-0,57	-0,14	-1,14	-0,71	-1,00	-0,86	-0,50
SW4	M14	-0,67	-1,57	-1,10	-0,43	-0,86	-1,00	-0,71	-0,86	-1,00	-0,64
SW5	M15	-1,00	-1,14	-0,70	-0,86	-0,43	-0,71	-0,43	-0,71	-0,71	-0,50
SW5	M16	-0,67	-1,14	-1,00	-	-	-	-	-	-	-
SW5	M17	-2,33	-2,29	-2,40	-2,00	-1,71	-2,29	-2,14	-2,14	-2,00	-
SW7	MS15	-	-	-	-	-	-	-	-	-14,14	-1,79
SW7	MS16	-	-	-	-	-	-	-	-	-4,57	-1,07
SW7	MS17	-	-	-	-	-	-	-	-	-8,14	1,50
SW7	MS13	-	-	-	-	-	-	-	-	-7,43	-2,21
SW7	MS14	-	-	-	-	-	-	-	-	-7,57	0,79
SW8	M19	-3,33	-3,43	-3,20	-2,14	-2,86	-2,71	-2,71	-2,71	-2,86	-2,57
SW8	MS8	-	-	-	-	-	-	-	-	-8,14	-6,21
SW8	MS11	-	-	-	-	-	-	-	-	-6,43	-5,07
SW8	MS12	-	-	-	-	-	-	-	-	-5,29	-3,64
SW8	M18	-4,33	-3,71	-3,80	-3,14	-3,14	-3,43	-3,43	-3,29	-3,43	-3,36
SW8	M11	-4,00	-3,57	-3,90	-3,86	-3,43	-3,71	-3,71	-4,00	-3,86	-
SW8	MS9	-	-	-	-	-	-	-	-	-4,57	-5,43
SW8	MS10	-	-	-	-	-	-	-	-	-4,29	-3,21
SW9	M10	-4,33	-4,71	-3,60	-4,57	-3,57	-3,86	-4,00	-4,29	-3,71	-3,57
SW9	M32	-	-0,71	-5,20	1,57	-3,86	-3,29	-1,00	-3,86	0,57	-4,57
SW9	M4	-2,67	-4,43	-4,30	-4,00	-3,86	-4,29	-4,14	-4,14	-3,86	-3,50
SW9	M25	-	-4,57	-4,20	-4,29	-3,86	-4,00	-4,14	-4,14	-4,00	-3,71
SW9	MS5	-	-	-	-	-	-	-	-	-3,00	-6,64
SW9	MS6	-	-	-	-	-	-	-	-	-3,43	-5,64
SW9	MS7	-	-	-	-	-	-	-	-	-2,14	-5,07
SW9	MS4	-	-	-	-	-	-	-	-	-3,00	-5,71

DESLOCAMENTO VERTICAL			
ADEQUADO	ATENÇÃO	ALERTA	INTERVENÇÃO
X ≤ 20 mm/dia	20 < X ≤ 40 mm/dia	40 < X ≤ 100 mm/dia	X > 100 mm/dia

Tabela 6-5. Velocidade de Deslocamento Vertical dos marcos superficiais (mm/dia).

A Tabela 6-4 mostra que, com exceção das leituras L2, L7 e L8, todos os marcos superficiais apresentaram velocidade de deslocamento horizontal adequadas (até 10 mm/dia).

Na leitura L2, com relação aos marcos superficiais que apresentaram velocidade de deslocamento horizontal não adequada, a maior parte apresentou velocidade de atenção (entre 10 e 19 mm/dia).

Nas leituras L7 e L8, com relação aos marcos superficiais que apresentaram velocidade de deslocamento horizontal não adequada, a maior parte apresentou velocidade de alerta (entre 20 e 49 mm/dia).

Com relação ao deslocamento vertical (recalque), em todas as leituras realizadas e para todos os marcos superficiais, segundo a Tabela 6-5, todas as velocidades registradas são adequadas, inferiores a 20 mm/dia.

Velocidade Horizontal	Marco	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11
Média N1 = 7,73 mm/dia	M3	1,90	8,37	4,41	-	8,24	-	-	-	-	-
	M26	-	7,41	3,79	4,23	6,44	21,17	14,27	5,18	4,47	7,54
	M27	-	6,31	3,01	3,56	6,46	19,07	12,81	4,92	4,25	7,35
	M28	-	3,62	3,00	2,14	5,72	18,84	15,00	5,62	9,24	7,18
	M29	-	2,22	1,09	1,97	2,97	25,12	22,03	3,04	7,99	6,28
	M30	-	0,70	1,81	1,03	3,68	34,18	35,55	2,86	8,31	4,99
	M31	-	4,25	1,01	1,57	3,77	25,10	24,47	2,88	6,86	5,95
	MS1	-	-	-	-	-	-	-	-	4,28	6,30
	MS2	-	-	-	-	-	-	-	-	3,88	7,70
	MS3	-	-	-	-	-	-	-	-	4,52	4,94
	M61	19,16	0,46	0,95	0,80	-	-	-	-	-	-
M62	13,54	0,81	0,65	0,30	6,78	18,82	21,81	1,27	4,64	4,22	
Média SW1 = 4,49 mm/dia	M1	12,20	2,74	1,01	0,95	1,21	13,07	13,60	0,00	5,71	2,99
	M2	10,33	0,74	0,52	0,44	3,99	-	3,11	1,68	7,53	3,54
Média SW2 = 8,27 mm/dia	M5	4,52	7,05	3,02	2,79	3,78	25,83	17,60	4,89	4,26	6,97
	M6	9,40	2,57	0,54	4,67	4,35	27,23	24,35	2,45	5,93	3,10
Média SW3 = 10,09 mm/dia	M7	32,97	2,47	0,59	0,75	2,56	29,66	26,93	2,95	7,39	3,91
	M8	10,14	6,44	2,53	2,45	3,65	33,70	24,63	4,06	4,09	6,22
	M9	6,19	6,22	1,82	1,72	5,57	30,45	26,40	4,00	5,20	7,13
Média SW4 = 11,27 mm/dia	M12	12,71	4,10	1,42	1,59	6,83	34,15	32,04	4,50	6,84	6,23
	M13	16,30	4,25	0,10	1,23	5,50	41,31	32,89	3,25	7,59	3,91
	M14	18,50	3,77	0,83	3,02	3,46	33,82	33,11	3,21	7,73	3,87
Média SW5 = 12,97 mm/dia	M15	21,87	4,60	0,72	0,62	3,03	43,06	37,98	3,90	8,38	4,50
	M16	26,15	5,31	0,29	-	-	-	-	-	-	-
	M17	21,05	5,94	0,85	1,46	1,45	44,85	37,82	4,03	7,50	-
Média SW7 = 3,23 mm/dia	MS15	-	-	-	-	-	-	-	-	2,89	5,74
	MS16	-	-	-	-	-	-	-	-	4,01	1,37
	MS17	-	-	-	-	-	-	-	-	5,49	0,70
	MS13	-	-	-	-	-	-	-	-	4,13	1,54
	MS14	-	-	-	-	-	-	-	-	5,29	1,11
Média SW8 = 10,70 mm/dia	M19	22,37	6,11	1,60	0,97	7,33	46,99	44,90	3,86	7,50	6,76
	MS8	-	-	-	-	-	-	-	-	4,52	0,74
	MS11	-	-	-	-	-	-	-	-	3,80	1,21
	MS12	-	-	-	-	-	-	-	-	4,01	0,94
	M18	20,16	4,73	0,63	1,14	4,54	43,71	38,73	4,79	8,74	6,50
	M11	16,07	5,59	1,45	1,43	7,57	34,55	33,77	4,40	7,47	-
	MS9	-	-	-	-	-	-	-	-	2,84	1,19
	MS10	-	-	-	-	-	-	-	-	3,39	0,27
Média SW9 = 8,00 mm/dia	M10	12,94	5,88	1,67	2,08	4,25	31,45	27,26	3,61	5,94	6,49
	M32	-	5,53	1,14	2,32	3,24	31,74	27,56	2,00	5,60	6,23
	M4	5,17	7,27	3,01	4,32	9,94	20,91	16,90	4,59	3,40	7,62
	M25	-	6,88	3,27	3,93	8,08	24,33	19,32	4,96	4,75	7,51
	MS5	-	-	-	-	-	-	-	-	3,15	4,79
	MS6	-	-	-	-	-	-	-	-	2,17	1,27
	MS7	-	-	-	-	-	-	-	-	1,93	0,23
	MS4	-	-	-	-	-	-	-	-	0,92	0,31

Tabela 6-6. Intensidade e média das velocidades de deslocamento horizontal (mm/dia).

Velocidade Vertical	Marco	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11
Média N1 = 3,56 mm/dia	M3	-5,00	-5,14	-5,00	-	-	-	-	-	-	-
	M26	-	-5,43	-5,40	4,71	4,86	4,86	5,14	5,29	4,57	4,29
	M27	-	-5,86	-8,60	3,43	4,43	3,57	5,29	5,57	5,00	6,57
	M28	-	-4,00	-8,70	0,57	2,43	4,57	3,43	4,57	3,14	6,07
	M29	-	-2,00	-5,50	0,29	2,14	1,86	0,00	3,14	2,86	2,71
	M30	-	-2,86	-5,20	2,86	5,71	0,71	0,57	0,71	3,86	1,14
	M31	-	-1,14	-6,00	1,00	0,29	1,71	0,00	2,29	0,86	4,36
	MS1	-	-	-	-	-	-	-	-	3,57	4,71
	MS2	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00	6,86
	MS3	-	-	-	-	-	-	-	-	3,00	5,29
	M61	-4,67	0,29	-7,40	2,71	-	-	-	-	-	-
M62	-3,33	-0,43	-4,60	3,71	5,14	2,43	2,29	0,14	0,86	1,29	
Média SW1 = 0,55 mm/dia	M1	0,00	-3,57	2,20	0,14	0,43	0,57	0,14	0,43	0,14	0,14
	M2	0,00	0,29	-0,70	0,14	0,43	-	0,36	0,43	0,14	0,14
Média SW2 = 1,91 mm/dia	M5	-2,67	-2,71	-3,10	2,86	1,71	4,14	2,86	2,86	2,29	6,43
	M6	-0,67	-0,29	-0,60	0,43	0,71	1,29	0,57	0,71	0,71	0,50
Média SW3 = 2,34 mm/dia	M7	-5,33	-1,00	-1,20	1,43	0,86	2,00	1,00	0,86	0,00	1,14
	M8	-1,67	-1,71	-2,20	2,71	0,86	4,57	2,43	1,86	1,57	1,57
	M9	-4,00	-2,86	-3,90	3,86	3,14	3,86	3,43	3,29	3,29	2,71
Média SW4 = 1,84 mm/dia	M12	-3,00	-2,86	-2,60	2,29	1,86	2,29	2,29	2,29	2,00	1,71
	M13	-13,67	4,00	-0,70	0,57	0,14	1,14	0,71	1,00	0,86	0,50
	M14	-0,67	-1,57	-1,10	0,43	0,86	1,00	0,71	0,86	1,00	0,64
Média SW5 = 1,33 mm/dia	M15	-1,00	-1,14	-0,70	0,86	0,43	0,71	0,43	0,71	0,71	0,50
	M16	-0,67	-1,14	-1,00	-	-	-	-	-	-	-
	M17	-2,33	-2,29	-2,40	2,00	1,71	2,29	2,14	2,14	2,00	-
Média SW7 = 4,92 mm/dia	MS15	-	-	-	-	-	-	-	-	14,14	1,79
	MS16	-	-	-	-	-	-	-	-	4,57	1,07
	MS17	-	-	-	-	-	-	-	-	8,14	1,50
	MS13	-	-	-	-	-	-	-	-	7,43	2,21
	MS14	-	-	-	-	-	-	-	-	7,57	0,79
Média SW8 = 3,84 mm/dia	M19	-3,33	-3,43	-3,20	2,14	2,86	2,71	2,71	2,71	2,86	2,57
	MS8	-	-	-	-	-	-	-	-	8,14	6,21
	MS11	-	-	-	-	-	-	-	-	6,43	5,07
	MS12	-	-	-	-	-	-	-	-	5,29	3,64
	M18	-4,33	-3,71	-3,80	3,14	3,14	3,43	3,43	3,29	3,43	3,36
	M11	-4,00	-3,57	-3,90	3,86	3,43	3,71	3,71	4,00	3,86	-
	MS9	-	-	-	-	-	-	-	-	4,57	5,43
	MS10	-	-	-	-	-	-	-	-	4,29	3,21
Média SW9 = 3,82 mm/dia	M10	-4,33	-4,71	-3,60	4,57	3,57	3,86	4,00	4,29	3,71	3,57
	M32	-	-0,71	-5,20	1,57	3,86	3,29	1,00	3,86	0,57	4,57
	M4	-2,67	-4,43	-4,30	4,00	3,86	4,29	4,14	4,14	3,86	3,50
	M25	-	-4,57	-4,20	4,29	3,86	4,00	4,14	4,14	4,00	3,71
	MS5	-	-	-	-	-	-	-	-	3,00	6,64
	MS6	-	-	-	-	-	-	-	-	3,43	5,64
	MS7	-	-	-	-	-	-	-	-	2,14	5,07
	MS4	-	-	-	-	-	-	-	-	3,00	5,71

Tabela 6-7. Intensidade e média das velocidades de deslocamento vertical (mm/dia).



### 6.3 Ângulo de Deslocamento

Na análise de comportamento do aterro sanitário através da observação de movimentação dos marcos superficiais, além da velocidade de deslocamento, são realizadas Análises Bidimensional Plana (x,y) e Tridimensional Espacial (x,y,z), para cada instrumento instalado relativo ao período analisado, de forma a definir as direções de deslocamento e os ângulos relativos às inclinações dos taludes (inclinação do talude local e inclinação média da seção interceptante).

#### 6.3.1 Análise Bidimensional Plana (x,y)

Com relação a movimentação bidimensional, em algumas situações pontuais alguns marcos superficiais podem apresentar um comportamento que “foge” do esperado logicamente por se deslocarem para a parte interna do aterro, no sentido contrário da inclinação do talude em que estão localizados. Esta condição pode ser chamada de Comportamento Direcional Contra Talude. Em caso contrário, se o marco superficial apresentar um deslocamento bidimensional “para fora” do aterro, no mesmo sentido da inclinação do talude em que está localizado, pode-se dizer, para efeito de análise, que o mesmo apresenta Comportamento Direcional Normal.

Desta forma são obtidos os valores dos ângulos para Análise Bidimensional, denominados  $\Theta$ , para todos os marcos superficiais, sendo apresentados posteriormente na Tabela 6-11. O valor do ângulo  $\Theta$  é comparado com  $\Theta_{MAX}$  e  $\Theta_{MIN}$  que irá orientar o comportamento do marco superficial, de acordo com os exemplos a seguir apresentados.

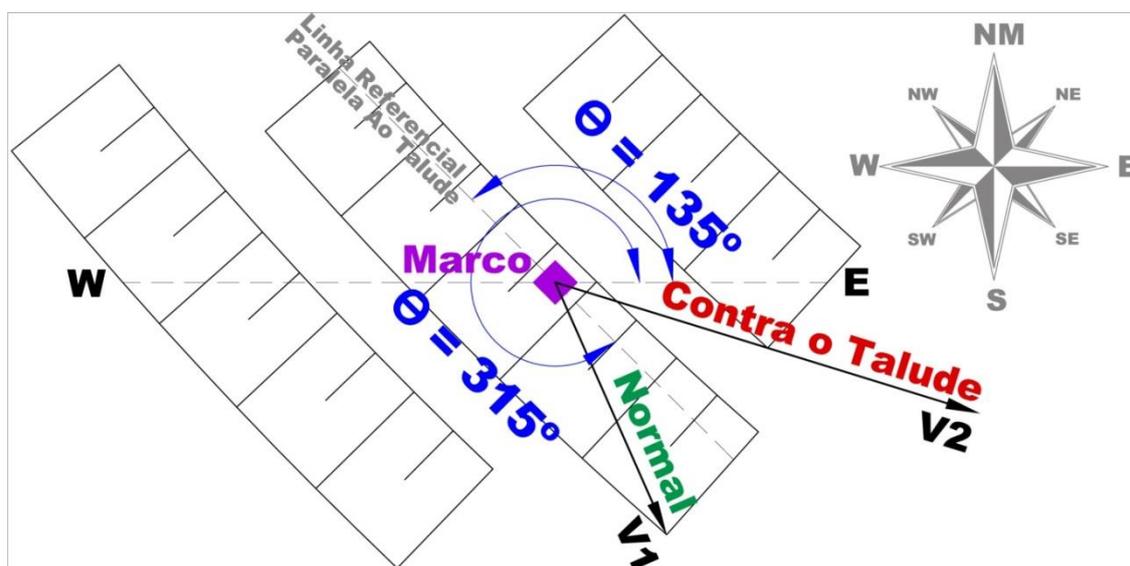


Figura 6-2 - Exemplo de Comportamento Direcional de Marco Superficial instalado em região voltada para o Ocidente.

A Figura 6-2, acima, ilustra um marco superficial instalado em região onde os taludes estão voltados para o Ocidente<sup>1</sup>. No exemplo ilustrado, o talude por sobre o qual está instalado o marco superficial, no ponto de instalação, possui  $\Theta = 135^\circ$  em comparação com linha horizontal W-E. Para este exemplo, todos os resultados de vetores com ângulos  $135^\circ \leq \Theta < 315^\circ$  implicarão em marcos superficiais com Comportamento Direcional Normal, pois, como demonstra a Figura 6-2, esta situação apresenta o marco superficial “descendo” os taludes. De modo contrário, se os resultados obtidos dos vetores apresentarem ângulos  $\Theta < 135^\circ$  ou  $\Theta \geq 315^\circ$ , o marco superficial estaria “contra” o talude. Para efeito de comparação no mesmo exemplo, e que pode ser observado no,  $\Theta_{\text{MIN}} = 135^\circ$  é o mínimo valor de ângulo  $\Theta$  para que o Comportamento Direcional deste marco superficial seja considerado Normal, até o valor máximo  $\Theta_{\text{MAX}}$  de  $315^\circ$ . Ou seja,  $\Theta_{\text{MIN}}$  e  $\Theta_{\text{MAX}}$  são os extremos do intervalo de comparação.

<sup>1</sup> Consideram-se voltados para Ocidente taludes que possuam ângulo  $90^\circ \leq \Theta < 270^\circ$  em relação à linha horizontal W-E (Oeste-Leste).

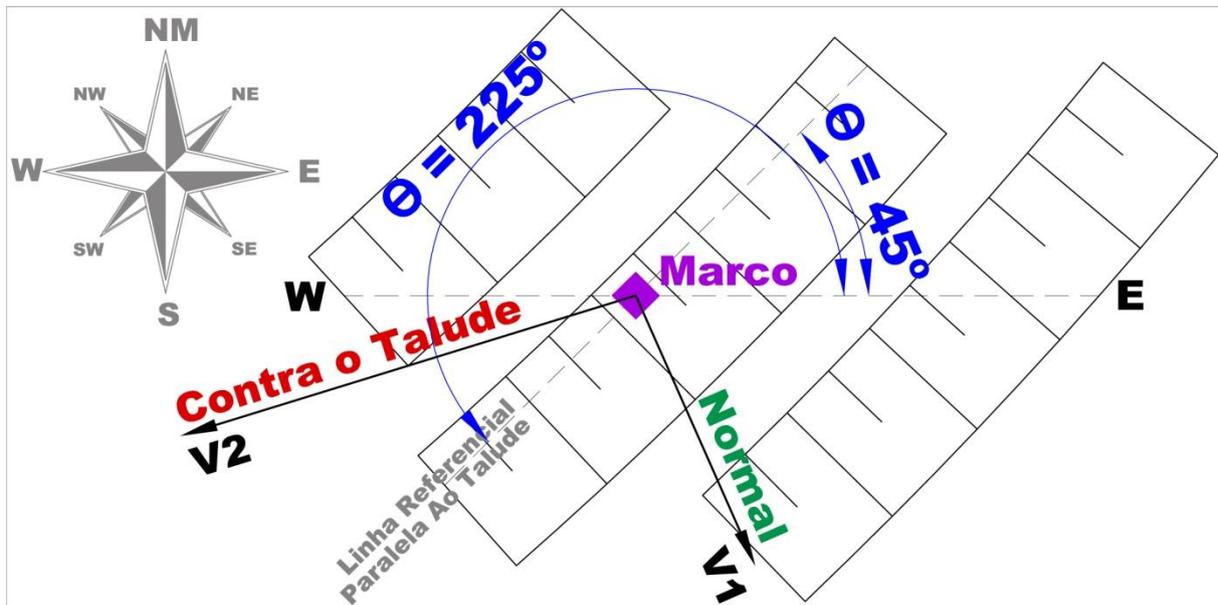


Figura 6-3 - Exemplo de Comportamento Direcional de Marco Superficial instalado em região voltada para o Oriente.

A Figura 6-3, acima, ilustra um marco superficial instalado em região onde os taludes estão voltados para o Oriente<sup>2</sup>. No exemplo ilustrado, o talude por sobre o qual está instalado o marco superficial, no ponto de instalação, possui  $\Theta = 45^\circ$  em comparação com linha horizontal W-E. Para este exemplo, todos os resultados de vetores com ângulos  $\Theta < 45^\circ$  ou  $\Theta \geq 225^\circ$  implicarão em marcos superficiais com Comportamento Direcional Normal, pois, como demonstra a Figura 6-3, esta situação apresenta o marco superficial “descendo” os taludes. De modo contrário, se os resultados obtidos dos vetores apresentarem ângulos  $45^\circ \leq \Theta < 225^\circ$ , o marco superficial estaria “contra” o talude. Para efeito de comparação no mesmo exemplo, e que pode ser observado na Tabela 6-11,  $\Theta_{\text{MIN}} = 45^\circ$  é o mínimo valor de ângulo  $\Theta$  para que o Comportamento Direcional deste marco superficial seja considerado Contra Talude, até o valor máximo  $\Theta_{\text{MAX}}$  de  $225^\circ$ . Ou seja,  $\Theta_{\text{MIN}}$  e  $\Theta_{\text{MAX}}$  são os extremos do intervalo de comparação e ainda, marcos instalados no Ocidente tem interpretação inversa aos marcos superficiais instalados no Oriente.

Nos dois exemplos, referentes a Figura 6-2 e Figura 6-3, são demonstradas duas hipóteses de vetores, onde é possível observar o vetor  $\vec{V}_1$  “a favor” do talude, com Comportamento

<sup>2</sup> Consideram-se voltados para Oriente taludes que possuam ângulo  $\Theta < 90^\circ$  ou  $270^\circ \leq \Theta < 360^\circ$  em relação à linha horizontal W-E (Oeste-Leste).

Direcional Normal, e o vetor  $\vec{V}_2$  “contra” o talude, com Comportamento Direcional Contra o Talude.

### 6.3.2 Análise Tridimensional Espacial (x,y,z)

Em termos de Análise Tridimensional, com relação aos deslocamentos horizontais e verticais, pode-se obter no período o ângulo  $\alpha$ , produzido com o vetor de deslocamento resultante total e o vetor de deslocamento vertical (recalque z). Esta análise está condicionada ao comportamento direcional dos marcos superficiais, sendo aplicada somente para os casos de Comportamento Direcional Normal, obtidos na Análise Bidimensional Plana, devido ao fato da instabilidade de taludes se manifestar na direção de inclinação dos taludes.

A partir do valor do ângulo  $\alpha$  pode-se tirar duas conclusões sobre a tendência da movimentação do maciço:

**Situação 1:** quando  $\alpha \leq 45^\circ$ , com o deslocamento horizontal menor que o vertical. Neste caso tem-se uma provável condição de estabilidade, o que se caracteriza como um Comportamento Deformacional Desejável, de acordo com a Figura 6-4.

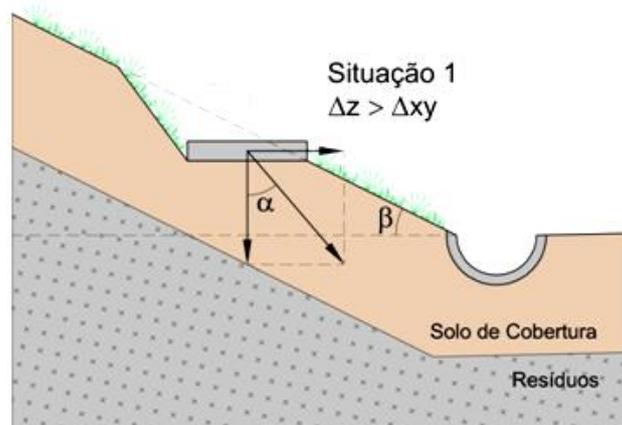
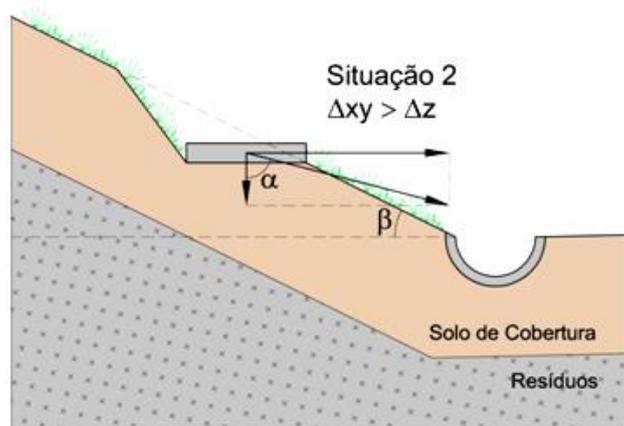


Figura 6-4 - Esquema do Comportamento Deformacional Desejável da direção resultante dos marcos superficiais.

**Situação 2:** quando  $\alpha > 45^\circ$ , com o deslocamento horizontal maior que o vertical. Neste caso, deve-se observar o valor do ângulo médio de inclinação do talude local com a

horizontal,  $\beta$ , de forma a avaliar a tendência da movimentação, comparando  $\alpha$  com  $90^\circ - \beta$ . Uma condição potencial de instabilidade da massa, e eventual surgimento de trincas de tração refletidas pelo marco superficial analisado, ocorrerá quando  $\alpha \geq 90^\circ - \beta$ , o que se caracteriza como um Comportamento Deformacional Não Desejável. Cabe salientar que este comportamento também depende da magnitude dos deslocamentos, observada a tabela dos parâmetros de alerta para velocidades de deslocamento apresentada anteriormente. Esta condição é apresentada a seguir na Figura 6-5.



**Figura 6-5 - Esquema do Comportamento Deformacional Não Desejável da direção resultante dos marcos superficiais.**

### 6.3.3 Comportamentos Deformacionais Geral e Local

As considerações de Comportamento Deformacional descritas acima, como já citado, tem como base a comparação dos vetores com o ângulo  $\beta$  de inclinação do talude (Figura 6-4 e a Figura 6-5), sobre o qual o marco superficial está instalado.

Considera-se esta condição de movimentação do marco superficial como Comportamento Deformacional Local, pois compara o ângulo do talude local  $\beta$  com  $\alpha$ , denotando movimentações localizadas de pequenas massas. Assim, cada marco superficial possui ângulo  $\beta$ , que pode ser observado na Tabela 6-12.

O Comportamento Deformacional Geral, em contrapartida, considera o ângulo médio da seção interceptante ao marco superficial,  $\beta_{MED}$ , ou seja, marcos superficiais na mesma

seção possuem ângulos de inclinação de talude iguais. Esta condição permite analisar as movimentações no âmbito geral do setor onde os marcos superficiais estão instalados, buscando condições de movimentações de grandes massas.

Desta maneira pode-se dizer que as análises dos Comportamentos Deformacionais Geral e Local são semelhantes, com a diferença de que a condição Comportamento Deformacional Geral utiliza a comparação de  $\alpha$  com  $\beta_{MED}$ , e a condição Comportamento Deformacional Local utiliza a comparação de  $\alpha$  com  $\beta$  (Figura 6-4 e Figura 6-5).

#### 6.4 Resultados do Comportamento dos Marcos Superficiais

A Tabela 6-10 apresenta a representação gráfica de cores utilizada na interpretação dos resultados das análises bidimensional e tridimensional, baseada nos critérios apresentados anteriormente.

ANÁLISE BIDIMENSIONAL PLANA (x,y)				
COMPORTAMENTO DIRECIONAL NORMAL		COMPORTAMENTO DIRECIONAL CONTRA O TALUDE		
$\theta_{min} \leq \theta < \theta_{max}$		$\theta < \theta_{min}$ OU $\theta \geq \theta_{max}$		
ANÁLISE TRIDIMENSIONAL ESPACIAL (x, y, z)				
COMPORTAMENTO DEFORMACIONAL DESEJÁVEL		COMPORTAMENTO DEFORMACIONAL NÃO DESEJÁVEL		NÃO SE APLICA
Local	$\alpha \leq 45^\circ$ OU $(\alpha > 45^\circ$ E $\alpha < 90^\circ - \beta)$	Local	$\alpha > 45^\circ$ E $\alpha > 90^\circ - \beta)$	$\theta < \theta_{min}$ OU $\theta \geq \theta_{max}$
Geral	$\alpha \leq 45^\circ$ OU $(\alpha > 45^\circ$ E $\alpha < 90^\circ - \beta_{MED})$	Geral	$\alpha > 45^\circ$ E $\alpha > 90^\circ - \beta_{MED})$	

Tabela 6-10. Critérios de classificação dos marcos superficiais e respectivas cores.

Na Tabela 6-11 são apresentados os resultados dos valores dos ângulos  $\Theta$ , obtidos através de Análise Bidimensional Plana para classificação das duas possíveis Situações Direcionais: Comportamento Direcional Normal e Comportamento Direcional Contra o Talude.

Na Tabela 6-12 são apresentados os resultados obtidos dos valores dos ângulos  $\alpha$ , obtidos através de Análise Tridimensional Espacial para classificação das duas possíveis Situações Deformacionais (Comportamento Deformacional Desejável e Comportamento Deformacional Não Desejável) para os marcos superficiais, até a última leitura realizada.

Setor	Marco	Q	Data de Leitura		06/04/20	13/04/20	23/04/20	30/04/20	07/05/20	14/05/20	21/05/20	28/05/20	04/06/20	18/06/20	
			$\Delta t$ (dias)		-	7	10	7	7	7	7	7	7	7	14
			$\theta_{MIN}$	$\theta_{MAX}$	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	
N1	M3	2	43,82°	223,82°	267°	131°	135°	-	141°	-	-	-	-	-	
N1	M26	2	39,12°	219,12°	-	129°	134°	140°	140°	113°	281°	111°	242°	113°	
N1	M27	2	15,43°	195,43°	-	121°	145°	130°	123°	103°	265°	103°	243°	105°	
N1	M28	2	33,15°	213,15°	-	98°	133°	100°	109°	73°	244°	95°	269°	91°	
N1	M29	2	45,92°	225,92°	-	65°	130°	130°	35°	61°	233°	121°	274°	68°	
N1	M30	2	33,57°	213,57°	-	355°	249°	151°	40°	33°	215°	86°	262°	42°	
N1	M31	2	68,60°	248,60°	-	103°	179°	135°	76°	80°	255°	113°	281°	84°	
N1	MS1	2	34,18°	214,18°	-	-	-	-	-	-	-	-	257°	99°	
N1	MS2	2	39,12°	219,12°	-	-	-	-	-	-	-	-	252°	113°	
N1	MS3	2	31,39°	211,39°	-	-	-	-	-	-	-	-	275°	85°	
N1	M61	2	7,71°	187,71°	236°	22°	224°	74°	-	-	-	-	-	-	
N1	M62	1	127,36°	307,36°	223°	224°	264°	93°	66°	23°	218°	55°	234°	44°	
SW1	M1	1	134,90°	314,90°	309°	142°	290°	355°	131°	152°	323°	-	306°	100°	
SW1	M2	1	126,08°	306,08°	297°	87°	227°	75°	268°	-	128°	65°	286°	98°	
SW2	M5	2	49,53°	229,53°	287°	109°	130°	136°	164°	135°	317°	96°	259°	120°	
SW2	M6	2	49,53°	229,53°	309°	61°	200°	325°	293°	148°	329°	103°	285°	105°	
SW3	M7	2	61,08°	241,08°	318°	58°	318°	130°	200°	148°	328°	45°	298°	106°	
SW3	M8	2	61,08°	241,08°	332°	106°	135°	136°	152°	143°	320°	88°	302°	129°	
SW3	M9	2	61,08°	241,08°	294°	115°	136°	144°	144°	135°	311°	95°	282°	119°	
SW4	M12	2	52,21°	232,21°	309°	92°	121°	224°	167°	138°	319°	81°	289°	118°	
SW4	M13	2	52,21°	232,21°	305°	68°	37°	254°	292°	145°	325°	73°	300°	112°	
SW4	M14	2	52,21°	232,21°	325°	82°	20°	258°	156°	152°	331°	70°	310°	110°	
SW5	M15	2	56,27°	236,27°	326°	88°	21°	286°	280°	154°	332°	76°	313°	114°	
SW5	M16	2	56,27°	236,27°	340°	83°	162°	-	-	-	-	-	-	-	
SW5	M17	2	56,27°	236,27°	316°	89°	125°	157°	190°	144°	321°	88°	300°	-	
SW7	MS15	2	70,22°	250,22°	-	-	-	-	-	-	-	-	333°	129°	
SW7	MS16	2	66,00°	246,00°	-	-	-	-	-	-	-	-	311°	101°	
SW7	MS17	2	74,66°	254,66°	-	-	-	-	-	-	-	-	303°	83°	
SW7	MS13	2	56,69°	236,69°	-	-	-	-	-	-	-	-	328°	94°	
SW7	MS14	2	68,42°	248,42°	-	-	-	-	-	-	-	-	319°	68°	
SW8	M19	2	64,00°	244,00°	305°	87°	148°	76°	182°	138°	318°	89°	300°	117°	
SW8	MS8	2	56,59°	236,59°	-	-	-	-	-	-	-	-	354°	139°	
SW8	MS11	2	65,84°	245,84°	-	-	-	-	-	-	-	-	338°	94°	
SW8	MS12	2	60,74°	240,74°	-	-	-	-	-	-	-	-	328°	113°	
SW8	M18	2	56,27°	236,27°	313°	91°	144°	165°	184°	135°	313°	72°	300°	113°	
SW8	M11	2	52,21°	232,21°	296°	96°	123°	223°	152°	133°	312°	94°	293°	-	
SW8	MS9	2	61,74°	241,74°	-	-	-	-	-	-	-	-	308°	47°	
SW8	MS10	2	72,51°	252,51°	-	-	-	-	-	-	-	-	323°	14°	
SW9	M10	2	61,08°	241,08°	307°	124°	143°	189°	149°	129°	305°	93°	273°	118°	
SW9	M32	2	69,85°	249,85°	-	133°	129°	163°	159°	117°	288°	67°	268°	105°	
SW9	M4	2	49,53°	229,53°	286°	124°	126°	131°	139°	126°	300°	104°	268°	119°	
SW9	M25	2	55,28°	235,28°	-	116°	135°	141°	147°	118°	293°	102°	267°	113°	
SW9	MS5	2	49,53°	229,53°	-	-	-	-	-	-	-	-	137°	117°	
SW9	MS6	2	63,75°	243,75°	-	-	-	-	-	-	-	-	321°	138°	
SW9	MS7	2	61,13°	241,13°	-	-	-	-	-	-	-	-	300°	7°	
SW9	MS4	2	45,77°	225,77°	-	-	-	-	-	-	-	-	283°	25°	

ANÁLISE BIDIMENSIONAL PLANA (x,y)	
COMPORTEMENTO DIRECIONAL NORMAL	COMPORTEMENTO DIRECIONAL CONTRA O TALUDE
$\theta_{\min} \leq \theta < \theta_{\max}$	$\theta < \theta_{\min}$ OU $\theta \geq \theta_{\max}$

Tabela 6-11. Comportamento Direcional dos marcos superficiais - Análise Bidimensional Plana (x,y).

Setor	Marco	Q	Data de Leitura		06/04/20	13/04/20	23/04/20	30/04/20	07/05/20	14/05/20	21/05/20	28/05/20	04/06/20	18/06/20
			$\Delta t$ (dias)	$\beta$	-	7	10	7	7	7	7	7	7	7
				90- $\beta$	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11
N1	M3	2	11,22°	78,78°	-	52°	41°	-	-	-	-	-	-	-
N1	M26	2	11,22°	78,78°	-	43°	35°	42°	41°	77°	-	44°	-	55°
N1	M27	2	31,61°	58,39°	-	22°	19°	16°	47°	79°	-	41°	-	27°
N1	M28	2	25,43°	64,57°	-	42°	19°	75°	65°	76°	-	36°	-	32°
N1	M29	2	27,57°	62,43°	-	26°	11°	82°	-	86°	-	44°	-	64°
N1	M30	2	33,43°	56,57°	-	-	-	20°	33°	-	-	76°	-	77°
N1	M31	2	28,33°	61,67°	-	74°	10°	50°	86°	86°	-	38°	-	43°
N1	MS1	2	32,38°	57,62°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42°
N1	MS2	2	11,22°	78,78°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27°
N1	MS3	2	25,50°	64,50°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43°
N1	M61	2	30,69°	59,31°	-	52°	-	16°	-	-	-	-	-	-
N1	M62	1	36,66°	53,34°	-	-	-	5°	41°	83°	-	84°	-	72°
SW1	M1	1	20,75°	69,25°	-	-	-	81°	69°	-	89°	0°	-	87°
SW1	M2	1	20,75°	69,25°	-	67°	-	71°	-	-	-	75°	-	88°
SW2	M5	2	19,96°	70,04°	-	67°	44°	44°	63°	81°	-	54°	-	23°
SW2	M6	2	19,96°	70,04°	-	84°	42°	-	-	87°	-	73°	-	81°
SW3	M7	2	19,22°	70,78°	-	-	-	28°	70°	86°	-	-	-	73°
SW3	M8	2	19,22°	70,78°	-	75°	30°	42°	76°	82°	-	63°	-	75°
SW3	M9	2	19,22°	70,78°	-	63°	25°	24°	56°	83°	-	35°	-	68°
SW4	M12	2	18,24°	71,76°	-	46°	29°	35°	74°	86°	-	60°	-	74°
SW4	M13	2	18,24°	71,76°	-	20°	-	-	-	88°	-	72°	-	83°
SW4	M14	2	18,24°	71,76°	-	65°	-	-	76°	88°	-	75°	-	80°
SW5	M15	2	18,89°	71,11°	-	76°	-	-	-	89°	-	79°	-	84°
SW5	M16	2	18,89°	71,11°	-	78°	16°	-	-	-	-	-	-	-
SW5	M17	2	18,89°	71,11°	-	67°	20°	36°	40°	87°	-	58°	-	-
SW7	MS15	2	38,04°	51,96°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	72°
SW7	MS16	2	19,83°	70,17°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38°
SW7	MS17	2	26,31°	63,69°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25°
SW7	MS13	2	20,85°	69,15°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35°
SW7	MS14	2	24,94°	65,06°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SW8	M19	2	18,67°	71,33°	-	56°	27°	24°	67°	87°	-	45°	-	68°
SW8	MS8	2	24,54°	65,46°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7°
SW8	MS11	2	21,76°	68,24°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13°
SW8	MS12	2	15,18°	74,82°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14°
SW8	M18	2	28,79°	61,21°	-	38°	9°	20°	46°	86°	-	47°	-	59°
SW8	M11	2	21,53°	68,47°	-	50°	20°	20°	63°	84°	-	25°	-	-
SW8	MS9	2	23,56°	66,44°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SW8	MS10	2	23,41°	66,59°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SW9	M10	2	29,05°	60,95°	-	37°	25°	24°	33°	83°	-	40°	-	57°
SW9	M32	2	45,98°	44,02°	-	83°	12°	47°	40°	84°	-	-	-	43°
SW9	M4	2	19,96°	70,04°	-	52°	35°	22°	67°	78°	-	25°	-	63°
SW9	M25	2	10,80°	79,20°	-	48°	38°	43°	61°	81°	-	33°	-	60°
SW9	MS5	2	10,59°	79,41°	-	-	-	-	-	-	-	-	18°	36°
SW9	MS6	2	32,11°	57,89°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13°
SW9	MS7	2	30,76°	59,24°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SW9	MS4	2	26,03°	63,97°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ANÁLISE TRIDIMENSIONAL ESPACIAL (x, y, z)					
COMPORTAMENTO DEFORMACIONAL DESEJÁVEL			COMPORTAMENTO DEFORMACIONAL NÃO DESEJÁVEL		NÃO SE APLICA
Local	$\alpha \leq 45^\circ$ OU ( $\alpha > 45^\circ$ E $\alpha < 90^\circ - \beta$ )		Local	$\alpha > 45^\circ$ E $\alpha > 90^\circ - \beta$	
Geral	$\alpha \leq 45^\circ$ OU ( $\alpha > 45^\circ$ E $\alpha < 90^\circ - \beta_{MED}$ )		Geral	$\alpha > 45^\circ$ E $\alpha > 90^\circ - \beta_{MED}$	
$\theta < \theta_{\min}$ OU $\theta \geq \theta_{\max}$					

Tabela 6-12. Comportamento Deformacional Local dos marcos superficiais obtido em Análise Tridimensional Espacial (x,y,z).

		Data de Leitura			06/04/20	13/04/20	23/04/20	30/04/20	07/05/20	14/05/20	21/05/20	28/05/20	04/06/20	18/06/20
		Δt (dias)			-	7	10	7	7	7	7	7	7	14
Setor	Marco	Q	β <sub>MED</sub>	90-β <sub>MED</sub>	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11
N1	M3	2	13,73°	76,27°	-	52°	41°	-	-	-	-	-	-	-
N1	M26	2	13,73°	76,27°	-	43°	35°	42°	41°	77°	-	44°	-	55°
N1	M27	2	13,73°	76,27°	-	22°	19°	16°	47°	79°	-	41°	-	27°
N1	M28	2	13,73°	76,27°	-	42°	19°	75°	65°	76°	-	36°	-	32°
N1	M29	2	13,73°	76,27°	-	26°	11°	82°	-	86°	-	44°	-	64°
N1	M30	2	13,73°	76,27°	-	-	-	20°	33°	-	-	76°	-	77°
N1	M31	2	13,73°	76,27°	-	74°	10°	50°	86°	86°	-	38°	-	43°
N1	MS1	2	13,73°	76,27°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42°
N1	MS2	2	13,73°	76,27°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27°
N1	MS3	2	13,73°	76,27°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43°
N1	M61	2	13,73°	76,27°	-	52°	-	16°	-	-	-	-	-	-
N1	M62	1	13,73°	76,27°	-	-	-	5°	41°	83°	-	84°	-	72°
SW1	M1	1	20,75°	69,25°	-	-	-	81°	69°	-	89°	0°	-	87°
SW1	M2	1	20,75°	69,25°	-	67°	-	71°	-	-	-	75°	-	88°
SW2	M5	2	19,96°	70,04°	-	67°	44°	44°	63°	81°	-	54°	-	23°
SW2	M6	2	19,96°	70,04°	-	84°	42°	-	-	87°	-	73°	-	81°
SW3	M7	2	19,22°	70,78°	-	-	-	28°	70°	86°	-	-	-	73°
SW3	M8	2	19,22°	70,78°	-	75°	30°	42°	76°	82°	-	63°	-	75°
SW3	M9	2	19,22°	70,78°	-	63°	25°	24°	56°	83°	-	35°	-	68°
SW4	M12	2	18,24°	71,76°	-	46°	29°	35°	74°	86°	-	60°	-	74°
SW4	M13	2	18,24°	71,76°	-	20°	-	-	-	88°	-	72°	-	83°
SW4	M14	2	18,24°	71,76°	-	65°	-	-	76°	88°	-	75°	-	80°
SW5	M15	2	18,89°	71,11°	-	76°	-	-	-	89°	-	79°	-	84°
SW5	M16	2	18,89°	71,11°	-	78°	16°	-	-	-	-	-	-	-
SW5	M17	2	18,89°	71,11°	-	67°	20°	36°	40°	87°	-	58°	-	-
SW7	MS15	2	20,23°	69,77°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	72°
SW7	MS16	2	20,23°	69,77°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38°
SW7	MS17	2	20,23°	69,77°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25°
SW7	MS13	2	19,00°	71,00°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35°
SW7	MS14	2	19,00°	71,00°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SW8	M19	2	18,67°	71,33°	-	56°	27°	24°	67°	87°	-	45°	-	68°
SW8	MS8	2	18,67°	71,33°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7°
SW8	MS11	2	18,67°	71,33°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13°
SW8	MS12	2	18,67°	71,33°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14°
SW8	M18	2	18,89°	71,11°	-	38°	9°	20°	46°	86°	-	47°	-	59°
SW8	M11	2	18,24°	71,76°	-	50°	20°	20°	63°	84°	-	25°	-	-
SW8	MS9	2	18,24°	71,76°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SW8	MS10	2	18,24°	71,76°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SW9	M10	2	19,22°	70,78°	-	37°	25°	24°	33°	83°	-	40°	-	57°
SW9	M32	2	19,22°	70,78°	-	83°	12°	47°	40°	84°	-	-	-	43°
SW9	M4	2	19,96°	70,04°	-	52°	35°	22°	67°	78°	-	25°	-	63°
SW9	M25	2	19,96°	70,04°	-	48°	38°	43°	61°	81°	-	33°	-	60°
SW9	MS5	2	19,96°	70,04°	-	-	-	-	-	-	-	-	18°	36°
SW9	MS6	2	19,96°	70,04°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13°
SW9	MS7	2	19,96°	70,04°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SW9	MS4	2	20,75°	69,25°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ANÁLISE TRIDIMENSIONAL ESPACIAL (x, y, z)					
COMPORTAMENTO DEFORMACIONAL DESEJÁVEL		COMPORTAMENTO DEFORMACIONAL NÃO DESEJÁVEL		NÃO SE APLICA	
Local	$\alpha \leq 45^\circ$ OU ( $\alpha > 45^\circ$ E $\alpha < 90^\circ - \beta$ )	Local	$\alpha > 45^\circ$ E $\alpha > 90^\circ - \beta$ )	$\theta < \theta_{\min}$ OU $\theta \geq \theta_{\max}$	
Geral	$\alpha \leq 45^\circ$ OU ( $\alpha > 45^\circ$ E $\alpha < 90^\circ - \beta_{\text{MED}}$ )	Geral	$\alpha > 45^\circ$ E $\alpha > 90^\circ - \beta_{\text{MED}}$ )		

Tabela 6-13. Comportamento Deformacional Geral dos marcos superficiais obtido em Análise Tridimensional Espacial (x,y,z).

Comportamento Direcional Normal	Leitura	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11
	N1	0	7	6	8	7	6	0	7	0	10
	SW1	0	1	0	2	1	0	1	1	0	2
	SW2	0	2	2	1	1	2	0	2	0	2
	SW3	0	2	2	3	3	3	0	2	0	3
	SW4	0	3	1	1	2	3	0	3	0	3
	SW5	0	3	2	1	1	2	0	2	0	1
	SW7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	SW8	0	3	3	3	3	3	0	3	0	5
	SW9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Soma	0	21	16	19	18	19	1	20	0	30

Tabela 6-14. Contagem de marcos superficiais para as situações estudadas em Análise Bidimensional Plana (x,y) – Comportamento Direcional Normal.

Comportamento Direcional Contra o Talude	Leitura	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11
	N1	3	2	3	0	1	1	7	0	10	0
	SW1	2	1	2	0	1	1	1	0	2	0
	SW2	2	0	0	1	1	0	2	0	2	0
	SW3	3	1	1	0	0	0	3	1	3	0
	SW4	3	0	2	2	1	0	3	0	3	0
	SW5	3	0	1	1	1	0	2	0	2	0
	SW7	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1
	SW8	3	0	0	0	0	0	3	0	6	0
	SW9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Soma	19	4	9	4	5	2	21	1	33	1

Tabela 6-15. Contagem de marcos superficiais para as situações estudadas em Análise Bidimensional Plana (x,y) – Comportamento Direcional Contra o Talude.

Comportamento Deformacional Desejável (Local-Geral)	Leitura	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11
	N1	0-0	6-7	6-6	6-7	4-5	1-1	0-0	5-6	0-0	7-9
	SW1	0-0	1-1	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	1-1	0-0	0-0
	SW2	0-0	1-1	2-2	1-1	1-1	0-0	0-0	1-1	0-0	1-1
	SW3	0-0	1-1	2-2	3-3	2-2	0-0	0-0	2-2	0-0	1-1
	SW4	0-0	3-3	1-1	1-1	0-0	0-0	0-0	1-1	0-0	0-0
	SW5	0-0	1-1	2-2	1-1	1-1	0-0	0-0	1-1	0-0	0-0
	SW7	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	3-3
	SW8	0-0	3-3	3-3	3-3	3-3	0-0	0-0	3-3	0-0	5-5
	SW9	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0
	Soma	0-0	16-17	16-16	15-16	11-12	1-1	0-0	14-15	0-0	17-19

Tabela 6-16. Contagem de marcos superficiais para as situações estudadas em Análise Tridimensional Espacial (x,y,z) – Comportamento Deformacional Desejável.

Comportamento Deformacional Não Desejável (Local-Geral)	Leitura	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11
	N1	0-0	1-0	0-0	2-1	2-1	5-5	0-0	2-1	0-0	3-1
	SW1	0-0	0-0	0-0	2-2	1-1	0-0	1-1	1-1	0-0	2-2
	SW2	0-0	1-1	0-0	0-0	0-0	2-2	0-0	1-1	0-0	1-1
	SW3	0-0	1-1	0-0	0-0	1-1	3-3	0-0	0-0	0-0	2-2
	SW4	0-0	0-0	0-0	0-0	2-2	3-3	0-0	2-2	0-0	3-3
	SW5	0-0	2-2	0-0	0-0	0-0	2-2	0-0	1-1	0-0	1-1
	SW7	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	1-1
	SW8	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	3-3	0-0	0-0	0-0	0-0
	SW9	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0
	<b>Soma</b>	<b>0-0</b>	<b>5-4</b>	<b>0-0</b>	<b>4-3</b>	<b>6-5</b>	<b>18-18</b>	<b>1-1</b>	<b>7-6</b>	<b>0-0</b>	<b>13-11</b>

**Tabela 6-17. Contagem de marcos superficiais para as situações estudadas em Análise Tridimensional Espacial (x,y,z) – Comportamento Deformacional Não Desejável.**

Em função dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

#### Análise Bidimensional Plana (x,y)

- Dos 10 intervalos de leituras analisados, em 7 o número de marcos superficiais que apresentaram Comportamento Direcional Normal foi superior ao número de marcos superficiais com Comportamento Direcional Contra o Talude, a saber, nas leituras L3 a L7, L9 e L11, conforme a Tabela 6-14.
- A maior frequência de resultados de marcos superficiais com Comportamento Direcional Contra o Talude foi registrada no setor N-1, com 10 registros, na leitura L10. Nesta mesma leitura foi registrado o maior número de marcos superficiais com Comportamento Direcional Contra o Talude, com 33 casos no total.

#### Análise Tridimensional Espacial (x,y,z)

- Dos 10 intervalos de leituras analisados, em 6 delas o número de marcos superficiais que apresentaram Comportamento Deformacional Desejável foi superior ao número de marcos superficiais com Comportamento Deformacional Não Desejável, a saber, nas leituras L3 a L6, L9 e L11, conforme a Tabela 6-16.
- A maior frequência de resultados de marcos superficiais com Comportamento Deformacional Não Desejável foi registrada no setor N-1, com 5 registros, na leitura L7. Nesta mesma leitura foi registrado o maior número de marcos

superficiais com Comportamento Direcional Contra o Talude, com 18 casos no total.

- Em todas as leituras observa-se que o número de casos de marcos com Comportamento Não Desejável, de modo Local, sempre é maior ou igual em relação ao modo Geral (ver soma na Tabela 6-16 e na Tabela 6-17), devido ao fato do ângulo  $\beta$  ser, em todos os casos, superior ao ângulo  $\beta_{MED}$ , ângulo médio geral do talude. Assim, a comparação de  $\alpha$  com  $\beta$  reproduz uma situação pontual de deformação, enquanto que a comparação de  $\alpha$  com  $\beta_{MED}$  reproduz uma tendência de deformação geral, possibilitando a interpretação da tendência de deslocamentos de grandes massas de determinada região do aterro.

Com os dados disponíveis, pode-se definir que a magnitude das velocidades de deslocamento horizontal é relativamente baixa no aterro, com exceção dos intervalos de leitura L2, L7 e L8; que a magnitude das velocidades de recalque é relativamente baixa em todos intervalos de leitura; e que os comportamentos direcionais e deformacionais não traduzem preocupações significativas para a estabilidade geotécnica do aterro.

## 7 PIEZÔMETROS

Piezômetros tipo *stand-pipe* tipo Geotech tem a finalidade de registrar dados de níveis piezométricos (metros de coluna de chorume) e pressões de biogás, utilizados para se obter o fator de pressão neutra  $r_u$  no interior da massa de resíduos.

No período de 20 a 23/05/2020 foram instalados 10 piezômetros no maciço de resíduos do aterro sanitário municipal e Muriaé. Nas perfurações, o avanço foi realizado a seco, com ensaio IRP – Índice de Resistência a Penetração em cada metro de perfuração, com a finalidade de determinar os índices de resistência a penetração,  $N_{IRP}$  dos resíduos.

Para preservação dos piezômetros instalados, deverão ser colocados pneus sobrepostos, preenchidos com solo compactado em torno do tubo remanescente, a ser executado pela DEMSUR.

Na Figura 7-1, apresenta-se o perfil esquemático do piezômetro instalado juntamente com a imagem de um sistema de proteção do piezômetro.

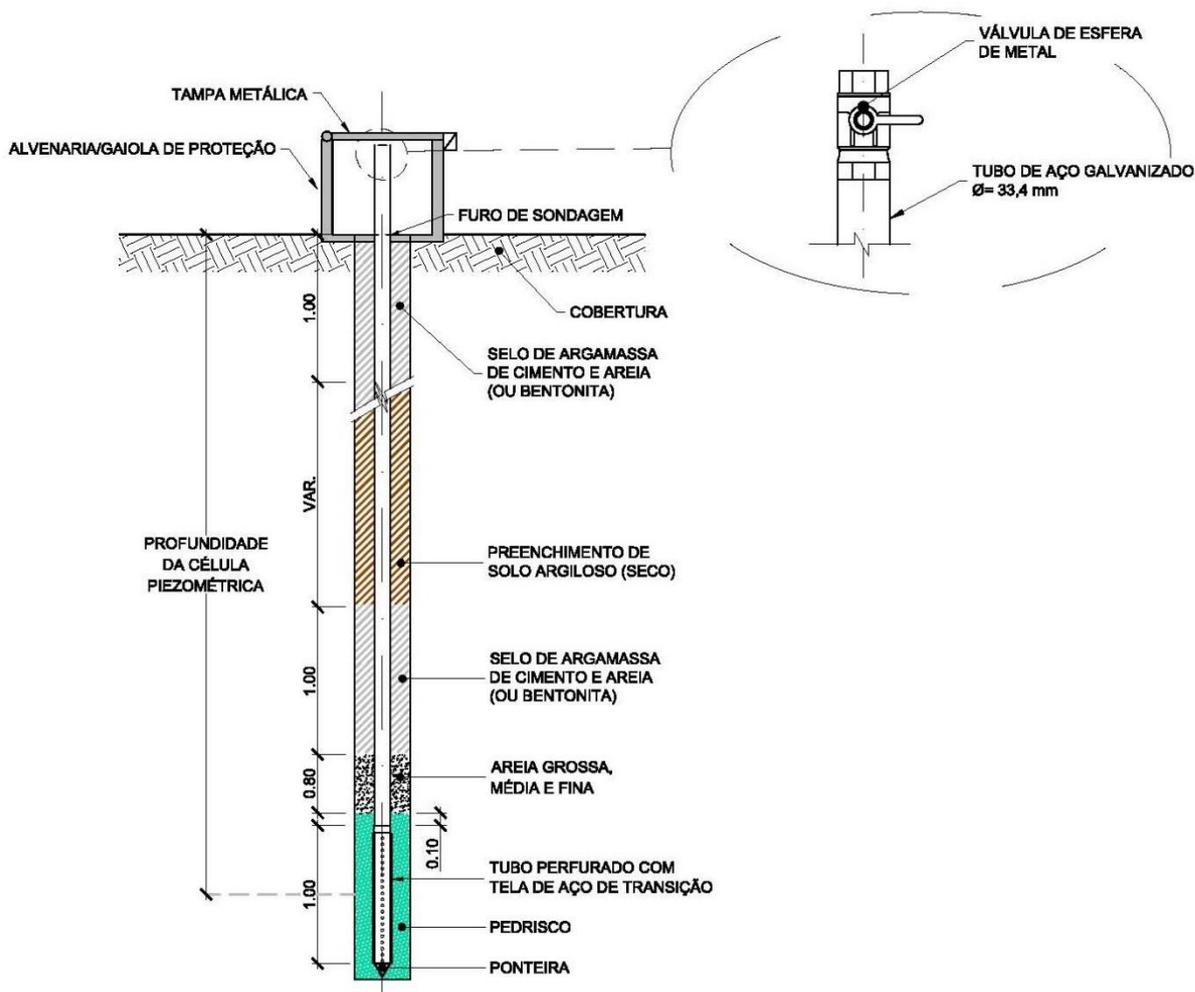


Figura 7-1. Perfil esquemático de Piezômetro tipo “stand pipe” ou Geotech.

As profundidades finais de instalação e das células piezométricas são apresentadas na Tabela 7-1.

Nome	Profundidade do piezômetro (m)	Profundidade da célula piezométrica (m)
PZ-01	7,00	6,50
PZ-02	7,00	6,50
PZ-03	8,00	7,50
PZ-04	9,00	8,50
PZ-05	10,00	9,50
PZ-06	12,00	11,50
PZ-07	8,00	7,50
PZ-08	6,00	5,50
PZ-09	10,00	9,50
PZ-10	8,00	7,50

**Tabela 7-1. Profundidade dos piezômetros e profundidade das células piezométricas.**

No Anexo I, Folha 01/11 e na Figura 8-1 são apresentadas as locações dos piezômetros tipo Geotech instalados e no Anexo III, seus perfis de instalação.

No período de análise do presente relatório foram consideradas quatro leituras dos instrumentos geotécnicos, L0, L1, L2 e L3, nos dias 22/05/2020, 02/06/2020, 09/06/2020 e 23/06/2020, respectivamente. Estando seus resultados apresentados na Tabela 7-2, Tabela 7-3 e na Tabela 7-4, a seguir.

Leitura	Data	PZ-01	PZ-02	PZ-03	PZ-04	PZ-05	PZ-06	PZ-07	PZ-08	PZ-09	PZ-10
L0	22/05/20	1,00	0,94	1,00	0,90	0,95	0,92	1,00	0,90	0,83	0,94
L1	02/06/20	1,00	0,94	1,00	0,90	0,95	0,92	1,00	0,90	0,83	0,94
L2	09/06/20	1,00	0,94	0,94	0,95	0,95	1,00	0,93	0,89	0,94	0,94
L3	23/06/20	1,00	0,95	0,97	0,99	0,96	0,96	0,98	0,96	0,90	0,96

**Tabela 7-2. Medida, em metros, da saliência externa.**

Leitura	Data	PZ-01	PZ-02	PZ-03	PZ-04	PZ-05	PZ-06	PZ-07	PZ-08	PZ-09	PZ-10
L0	22/05/20	5,10	4,90	5,43	2,10	7,90	11,85	7,64	4,74	8,32	6,24
L1	02/06/20	4,36	2,26	5,25	4,68	7,07	10,67	7,37	3,91	8,15	6,00
L2	09/06/20	4,35	3,15	5,44	5,76	7,19	10,54	7,37	3,92	8,19	6,14
L3	23/06/20	4,38	5,48	5,33	5,86	5,29	10,43	7,72	3,99	8,24	6,07

**Tabela 7-3. Profundidade do nível de lixiviados, considerando a saliência externa, em metros.**

Leitura	Data	PZ-01	PZ-02	PZ-03	PZ-04	PZ-05	PZ-06	PZ-07	PZ-08	PZ-09	PZ-10
<b>L0</b>	22/05/20	0,008	0,019	0,013	0,136	0,056	0,004	0,001	0,068	0,079	0,065
<b>L1</b>	02/06/20	0,005	0,090	0,004	0,016	0,021	0,002	0,013	0,006	0,003	0,002
<b>L2</b>	09/06/20	0,002	0,042	0,046	0,002	0,018	0,002	0,004	0,000	0,000	0,000
<b>L3</b>	23/06/20	0,001	0,028	0,015	0,003	0,053	0,001	0,033	0,000	0,000	0,002

**Tabela 7-4. Pressão de biogás, em kgf/cm<sup>2</sup>.**

O fator de pressão neutra constante dentro da massa de resíduos, é denominado de coeficiente  $r_u = u/\gamma z$ , onde  $u$  é a poropressão,  $\gamma$  é o peso específico do material e  $z$  é a altura de material sobre o ponto considerado, usado por Bishop e Morgenstern (1960).

Através dos dados de profundidade das células piezométricas e das leituras de profundidade do nível de lixiviados e pressão de gás nos piezômetros, é possível calcular o coeficiente  $r_u$ , apresentados a seguir, na Tabela 7-5.

Leitura	Data	PZ-01	PZ-02	PZ-03	PZ-04	PZ-05	PZ-06	PZ-07	PZ-08	PZ-09	PZ-10	Média
<b>L0</b>	22/05/20	0,38	0,42	0,43	1,02	0,33	0,05	0,12	0,43	0,29	0,38	<b>0,38</b>
<b>L1</b>	02/06/20	0,49	0,94	0,44	0,57	0,38	0,15	0,17	0,46	0,23	0,33	<b>0,42</b>
<b>L2</b>	09/06/20	0,49	0,72	0,46	0,44	0,36	0,17	0,15	0,45	0,24	0,31	<b>0,38</b>
<b>L3</b>	23/06/20	0,48	0,35	0,44	0,43	0,60	0,18	0,15	0,45	0,23	0,32	<b>0,36</b>
<b>Média</b>		<b>0,47</b>	<b>0,63</b>	<b>0,44</b>	<b>0,56</b>	<b>0,42</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,45</b>	<b>0,24</b>	<b>0,33</b>	

**Tabela 7-5. Coeficiente  $r_u$  dos piezômetros para a leitura em questão.**

## 8 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

A análise de estabilidade realizada reproduz as condições das seções consideradas mais críticas, conforme a situação atual do maciço de resíduos do aterro sanitário, segundo o levantamento topográfico encaminhado pelo cliente em 05 de junho de 2020.

### 8.1 Geometria

A geometria adotada para a análise de estabilidade do maciço de resíduos foi referente a 14 seções analisadas representando a disposição e compactação dos resíduos classe II no aterro sanitário, segundo o levantamento topográfico fornecido pelo cliente. As locações das seções analisadas são apresentadas na Figura 8-1 e na Folha 01/11 do Anexo I.

O traçado dos perfis geológicos-geotécnicos nas seções levantadas e a caracterização dos materiais naturais componentes auxiliaram na definição das geometrias e considerações geotécnicas relativas aos taludes e ao comportamento esperado dos mesmos.

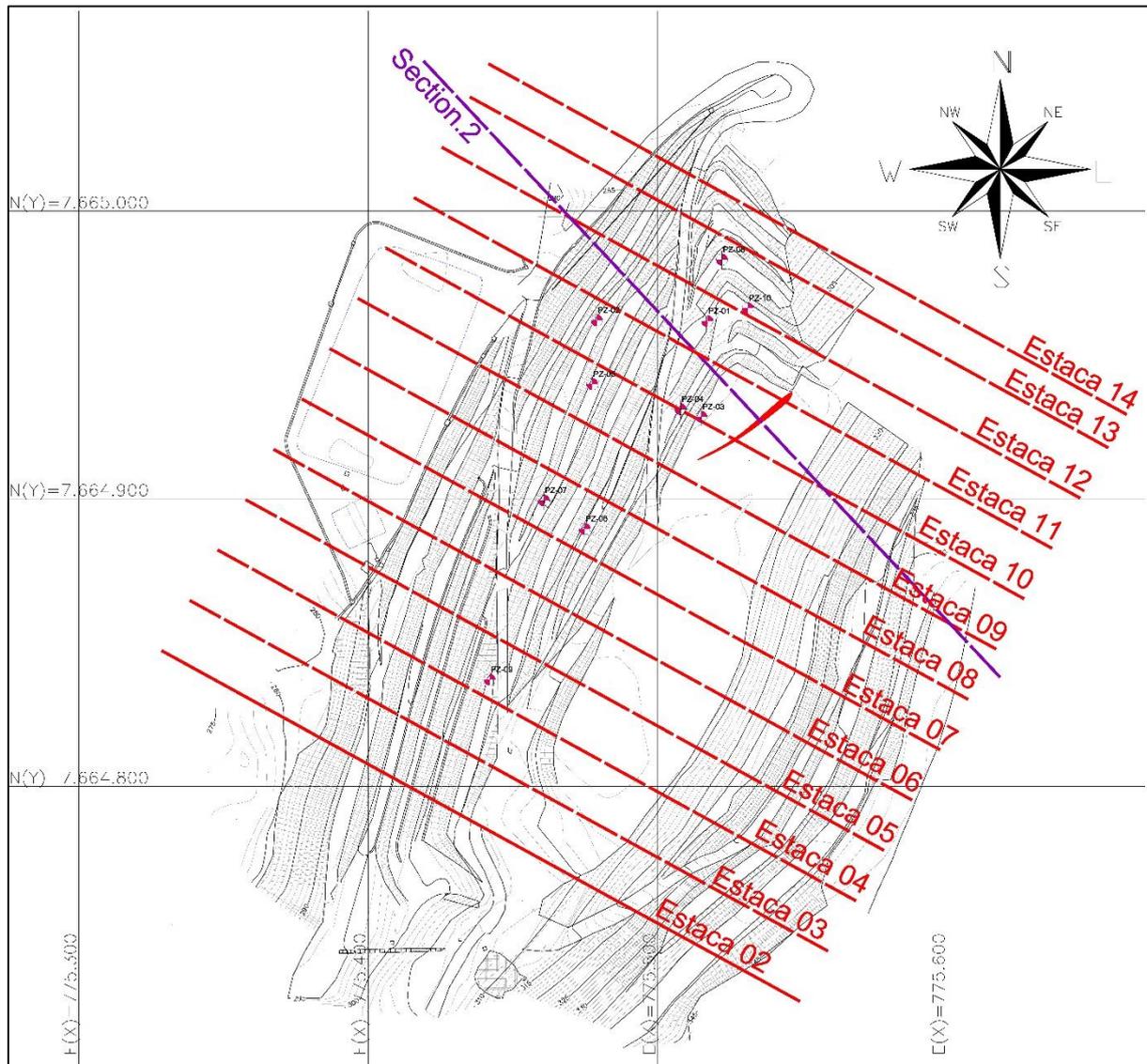


Figura 8-1 - Locação das seções críticas de análise de estabilidade (sem escala).

## 8.2 Método de Análise

Para as análises de estabilidade foi utilizado o método de equilíbrio limite baseado no método das lamelas apresentado por Spencer (1967).

O programa computacional utilizado foi o *Slide*, com consideração de superfícies circulares, possibilidade de representação de vários tipos de materiais, superfícies de rupturas, possibilidades de simulação de poropressões por pontos, excessos de poropressão, linhas

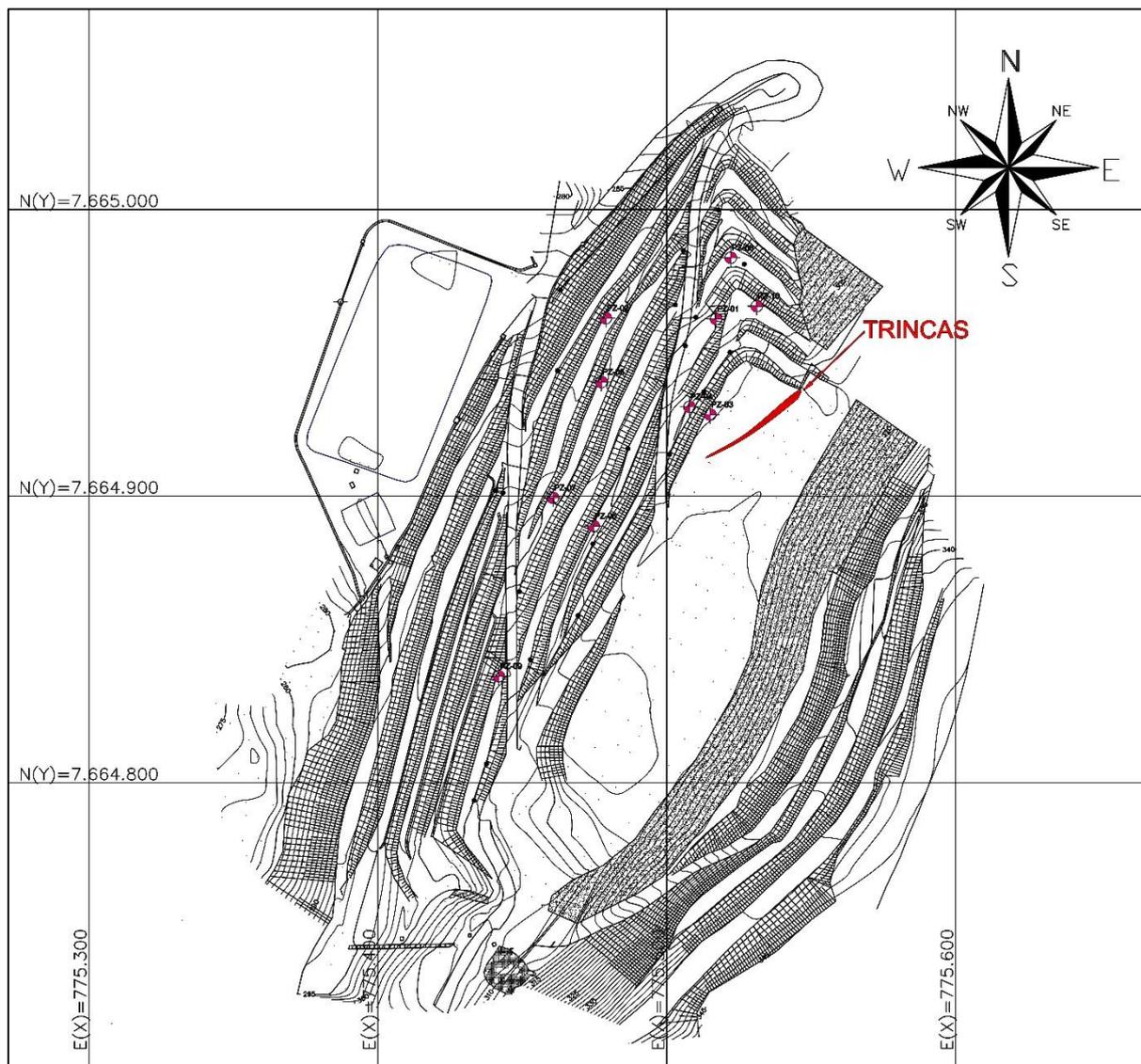
piezométricas e coeficiente  $r_u$  de Bishop e Morgenstern (1960), com pesquisa de superfície crítica, de mínimo fator de segurança.

O software utilizado busca, automaticamente, a superfície de menor fator de segurança, de forma que, em todas as análises, são definidas superfícies mais críticas de cada seção.

### **8.3 Superfícies de Ruptura**

Comumente, em aterros sanitários, as superfícies de ruptura consideradas mais críticas nos estudos estão preferencialmente dentro dos resíduos, resultando tangente aos solos de fundação, considerados mais resistentes que os resíduos, delimitando-se assim, superfícies circulares de rupturas hipotéticas.

Visando identificar o mais provável traçado da superfície de ruptura hipotética, de maior probabilidade de ocorrência, foi realizada vistoria técnica nos dias 20, 21 e 22/05/2020 pelos técnicos da Geotech acompanhados pelos técnicos do DEMSUR. Nesta vistoria foi constatada a ocorrência de trincas no platô superior do aterro, na região Norte do maciço de resíduos, conforme ilustrado na Figura 8-2, a seguir.



**Figura 8-2. Localização da região com ocorrências de trincas no aterro sanitário, no âmbito da inspeção técnica realizada em maio de 2020.**

Através das análises dos projetos pretéritos, análises dos dados obtidos através dos instrumentos geotécnicos (marcos superficiais e piezômetros) e entrevistas com os responsáveis pela implantação e operação do aterro sanitário, pode-se inferir que tal feição de instabilidade poderia ser ocasionada por três situações distintas, sendo elas:

- Recalques diferenciais, localmente restritos, ocasionados pela degradação desigual dos resíduos dispostos devido a sua origem, tipologia, geometria, desempenho dos sistemas de drenagem interna do maciço e compactação empregada;

- Ruptura incipiente dos resíduos, em superfícies circulares, comumente ocorrentes nesses casos; e
- Rupturas não circulares na interface da camada de impermeabilização, solo argiloso/geomembrana, solo utilizado como camada de proteção da geomembrana e a geomembrana de PEAD de 2 mm lisa.

Sendo assim, nesta análise de estabilidade foram estudados dois tipos de superfícies hipotéticas de ruptura, do tipo **circulares** e **não circulares** e os deslocamentos horizontais e verticais obtidos, apresentados no Item 6 marcos superficiais.

#### **8.4 Pressões de Líquidos e Gases – Poropressões**

O desempenho dos sistemas de drenagem de líquidos e gases é a base para a estabilidade dos maciços sanitários, adotando-se critérios de poropressões compatíveis com a concepção e o desempenho destes sistemas. Secundariamente, contribuem para as poropressões os sistemas de cobertura, provisórias e definitivas, além da evolução da frente de trabalho e sistema de drenagem superficial.

O comportamento da massa de resíduos doméstico é peculiar, principalmente, em função do fator “geração de gases” e suas pressões, como tem demonstrado os registros das instrumentações, através de piezômetros e medidas de deformações em aterros sanitários em geral.

A introdução de poropressões de líquidos e gases nos modelos de análise, pontualmente, por intermédio de linhas piezométricas “equivalentes”, ou a relação entre as poropressões de lixiviados e/ou gases e as tensões verticais produzidas pelo peso de resíduos sobre o ponto, coeficiente  $r_u$ , são as formas adequadas para representar o modelo hidrogeotécnico, em função da geometria da massa de resíduos e seus sistemas de drenagem internos.

Na Tabela 8-1 são apresentados os valores calculados dos coeficientes  $r_u$  médio para as seções analisadas do aterro sanitário de Muriaé, considerando as últimas leituras dos piezômetros realizada no dia 23/06/2020, onde foi possível obter por critério de proximidade dos piezômetros às seções analisadas.

Seção	Piezômetros próximos a seção	Coefficiente $r_u$ em 23/06/2020
Estaca 02	Média Geral	0,36
Estaca 03	Média Geral	0,36
Estaca 04	PZ-09	0,23
Estaca 05	PZ-09	0,23
Estaca 06	Média Geral	0,36
Estaca 07	PZ-06 e PZ-07	0,16
Estaca 08	PZ-06 e PZ-07	0,16
Estaca 09	PZ-03, PZ-04 e PZ-05	0,49
Estaca 10	PZ-02, PZ-03, PZ-04 e PZ-05	0,45
Estaca 11	PZ-01, PZ-02, PZ-03, PZ-04 e PZ-05	0,46
Estaca 12	PZ-01 e PZ-10	0,40
Estaca 13	PZ-08	0,45
Estaca 14	Média Geral	0,36
Section.02	PZ-01, PZ-02, PZ-03 e PZ-04	0,42

Tabela 8-1. Piezômetros locados próximos das seções de análise e valores de  $r_u$  considerados nas seções de análise de estabilidade.

O modelo hidrogeotécnico encontrado através das sondagens realizadas no aterro e adotado foi apresentado no artigo técnico “Modelo Reológico de Comportamento de Resíduos e Aterros Sanitários” por Benvenuto & Cipriano (2012).

## 8.5 Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento dos materiais

Apesar da heterogeneidade aparente dos resíduos, os parâmetros de resistência médios que preponderam na estabilidade de grandes massas são os representativos dos maiores volumes, que no caso, são os resíduos de origem domiciliar.

### 8.5.1 Parâmetros de resistência ao cisalhamento dos resíduos domiciliares

Nesse sentido, na análise de estabilidade em questão, foram estudadas duas hipóteses distintas, de modelagem matemática dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos resíduos domiciliares dispostos no aterro segundo o modelo proposto por Benvenuto & Cunha (1991) e Benvenuto & Benvenuto (2012), hipótese 01 e 02, respectivamente.

**Hipótese 01:** De modo conservador, a favor da segurança, foram adotados os valores dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos resíduos iguais aos encontrados na retroanálise de ruptura do Aterro Sanitário Bandeirantes, apresentado por Benvenuto e Cunha (1991, 1992) e no Aterro Sanitário Sítio São João, na ocasião da ruptura, em 2007. Estes parâmetros são adotados como referência para análises de estabilidade em aterros onde as condições operacionais não são conhecidas ou na existência de incertezas operacionais durante toda a operação do aterro.

**Hipótese 02:** Através dos índices obtidos nos ensaios de prospecção no maciço do aterro sanitário de Muriaé, foram estimados os valores dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos resíduos, segundo Benvenuto & Benvenuto (2012).

Desse modo, utilizando-se como referência o índice de resistência a penetração dinâmica médio geral obtido ( $N_{IRP}$  médio = 14 golpes), resultaram os valores de coesão efetiva de 18,2 kPa e ângulo de atrito interno dos resíduos de 28°.

Deve ser considerado que os parâmetros apresentados representam o comportamento médio da massa de resíduos e, a aleatoriedade e variabilidade inerente às peculiaridades dos resíduos a serem dispostos, devem ser consideradas de maneira local, se esse for o caso de análise.

#### *8.5.1.1 Justificativa para a adoção de parâmetros de resistência ao cisalhamento para os resíduos na Hipótese 02*

Conforme descrito anteriormente, no período compreendido entre 20 a 23/05/2020 foram instalados 10 piezômetros no maciço de resíduos do aterro sanitário. A nomenclatura dos piezômetros, profundidades de instalação e sua locação foi mantida conforme orientações do cliente.

Nas perfurações, o avanço foi realizado a seco, com ensaio IRP – Índice de Resistência a Penetração em cada metro de perfuração, com a finalidade de determinar os índices de resistência a penetração,  $N_{IRP}$  dos resíduos, conforme apresentado na Tabela 8-2 a seguir.

		PZ-01	PZ-02	PZ-03	PZ-04	PZ-05	PZ-06	PZ-07	PZ-08	PZ-09	PZ-10
	<b>Cota (m)</b>	305,58	296,53	311,74	309,16	299,32	307,70	299,99	302,26	304,07	306,28
<b>De (m)</b>	<b>Até (m)</b>										
1,00	1,45	12	4	16	8	4	8	5	13	11	8
2,00	2,45	5	8	9	5	5	11	8	16	13	10
3,00	3,45	12	13	4	4	7	14	13	16	8	16
4,00	4,45	20	12	13	9	11	21	22	13	20	26
5,00	5,45	17	10	17	10	9	18	15	18	25	12
6,00	6,45	26	8	16	16	17	20	19		21	17
7,00	7,45			33	13	20	31	26		25	29
8,00	8,45				30	30	12			16	
9,00	9,45					46	17			40	
10,00	10,45						18				
11,00	11,45						17				
<b>NIRP Médio Geral</b>		<b>14 Golpes</b>									

\*Média geral obtida considerando-se somente valores de NIRP < 30

**Tabela 8-2. Índices de resistência à penetração,  $N_{IRP}$ , obtidos nos ensaios realizados no maciço de resíduos do aterro sanitário.**

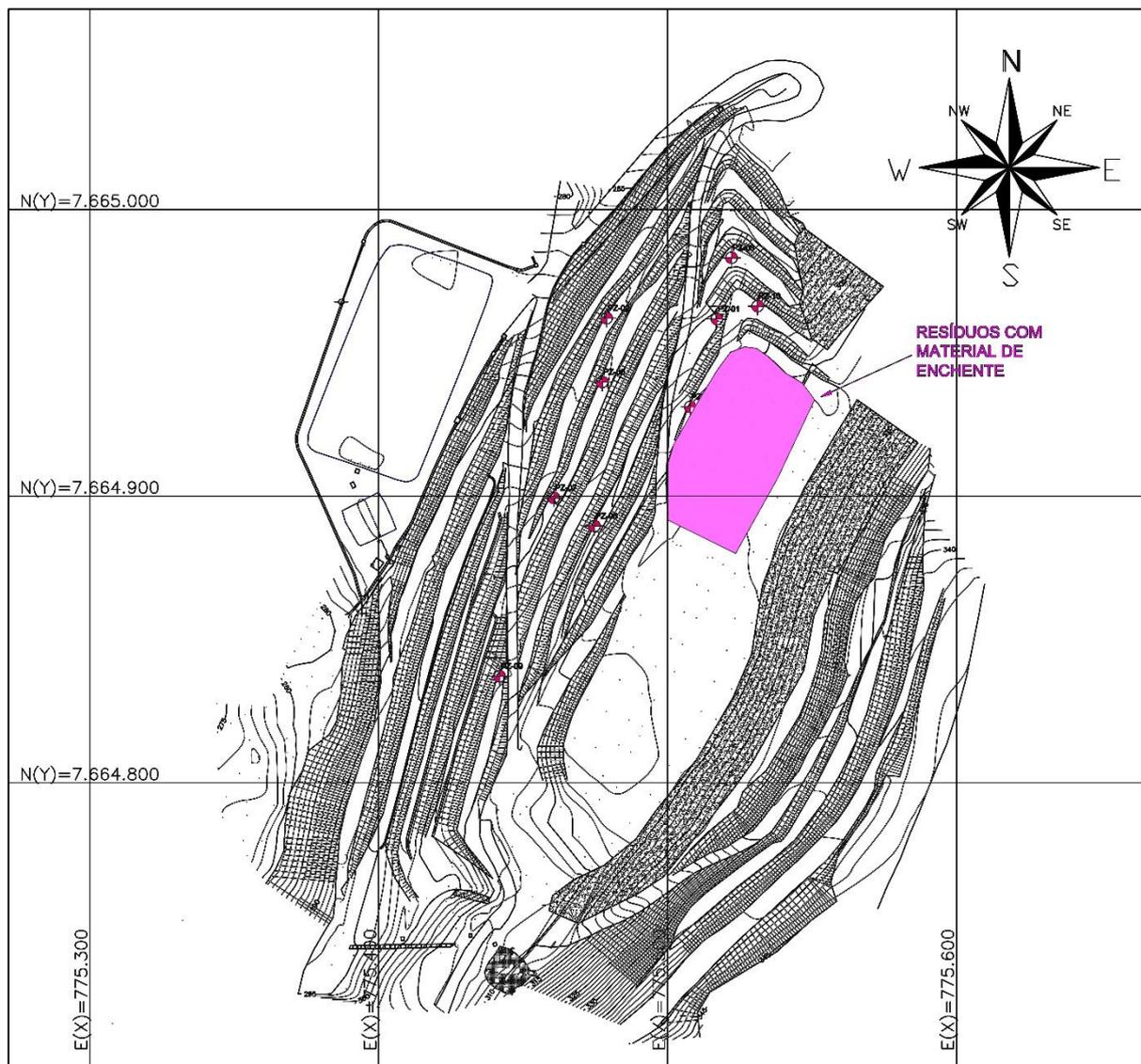
Os valores dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos resíduos foram considerados como sendo a condição atual dos resíduos domiciliares e da compactação usualmente empregada por tratores de esteira tipo D6, adotando-se os parâmetros estimados segundo Benvenuto & Benvenuto (2012).

Assim, para melhor caracterizar geotecnicaamente os maciços de resíduos do aterro sanitário, foram realizadas sondagens geotécnicas à percussão com medidas  $N_{IRP}$ , nas quais resultaram em um índice de resistência a penetração dinâmica médio,  $N_{IRP}$  médio de 14 golpes, como já citado.

Analisando-se os índices de resistência a penetração das sondagens realizadas, considerando que os resíduos são mais drenantes que os solos, e a resistência ao cisalhamento total compõe-se com parcela de atrito e a de coesão, os valores dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos resíduos foram estimados segundo Benvenuto & Benvenuto (2012), com coesão efetiva de 18,2 KPa, e ângulo de atrito de 28°.

#### 8.5.2 Parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais provenientes de limpeza de ruas e domicílios após a ocorrência de chuvas intensas e enchentes

Conforme informações do empreendedor, em janeiro de 2020, foram dispostos resíduos provenientes de limpeza de ruas e domicílios após a ocorrência de chuvas intensas e enchentes. Naquela ocasião, estes materiais eram triados e selecionados, de modo que fossem dispostos no aterro sanitário somente resíduos misturados com materiais volumosos e lama. Na Figura 8-3 a seguir apresenta-se a locação da área em que foram dispostos resíduos, estima-se que esta camada possua cerca de 2 metros de espessura.



**Figura 8-3. Localização da área em que foram dispostos resíduos provenientes da limpeza de vias públicas e domicílios após a enchente ocorrida em janeiro de 2020 (sem escala).**

Segundo o empreendedor, devido a dificuldade de compactação, este material não foi compactado, sendo dispostos resíduos domiciliares sobre estes materiais e assim, compactados conforme as práticas usuais de operação de aterros sanitários.

De modo conservador, a favor da segurança, na análise de estabilidade realizada, para estes resíduos “de enchente” foram adotados os parâmetros resistência ao cisalhamento dos resíduos inferior aos encontrados na retroanálise de ruptura do Aterro Sanitário Bandeirantes, apresentado por Benvenuto e Cunha (1991, 1992), adotando-se valores de coesão efetiva de 10 kPa e ângulo de atrito de 20° e peso específico de 5 kN/m<sup>3</sup>.

Ressalta-se que devido a sua localização de disposição restrita conforme apresentada na Figura 8-3, a adoção do compartimento de resíduos oriundos de enchente foi contemplada somente nas seções “Estaca 09, 10, 11 e Section.02”.

### 8.5.3 Parâmetros de resistência dos solos compactados, naturais e de interface adotados na análise de estabilidade

Em aterros de meia encosta, deve ser levado em consideração na análise de estabilidade, o condicionante geotécnico atribuído a interface da camada de solo argiloso saturado de proteção e a geomembrana de PEAD lisa. No âmbito da concepção do projeto de escavação, foram adotadas declividades dos taludes escavados sem a realização de bermas ou adoção de alternativas tecnológicas que minimizassem este aspecto, associadas ao relativamente baixo confinamento geotécnico do maciço de resíduos contra o solo escavado.

Assim, a superfície de ruptura tende a mobilizar a massa diretamente associada a interface da camada de solo argiloso saturado de proteção e a geomembrana de PEAD lisa. Sendo assim, nesta análise foram adotados os parâmetros de resistência ao cisalhamento da referida interface, resultando-se em valores de coesão efetiva de 3 kPa e ângulo de atrito de 12° e peso específico de 10 kN/m<sup>3</sup> (Vidal, 2007).

Os valores dos solos naturais e compactados foram considerados de acordo com a publicação da ABMS (1993), na ocorrência de solos semelhantes ensaiados no Estado de São Paulo. Na Tabela 8-3 a seguir são apresentados os valores de resistência adotados na análise de estabilidade.

### 8.5.4 Síntese dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais adotados nas hipóteses assumidas

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais, conforme citados e utilizados na análise de estabilidade em questão, são apresentados na tabela a seguir.

Hipóteses	Material	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Referência
Hipótese 01	Resíduo disposto	13,5	22	7	Benvenuto & Cunha, 1991
Hipótese 02	Resíduo disposto	18,2	28	7	Benvenuto & Benvenuto (2012)
Ambas hipóteses	Resíduos oriundos da enchente	10,0	20	5	Adaptado de Benvenuto & Cunha, 1991
Ambas hipóteses	Interface de solo argiloso e Geomembrana de PEAD Lisa	3,0	12	7	Adaptado de Vidal, 2007
Ambas hipóteses	Dique de Solo compactado	20,0	30	19	Cruz et al (1993)
Ambas hipóteses	Solo Residual de rocha	26,0	29	17,6	Pinto et al (1993)

**Tabela 8-3. Parâmetros de resistência ao cisalhamento adotados na análise de estabilidade.**

Onde:

c' = coesão média efetiva;

$\phi'$  = ângulo de atrito médio efetivo;

$\gamma$  = peso específico médio.

## 8.6 Peso Específico dos Resíduos

Para analisar a estabilidade de uma massa de resíduos, além dos parâmetros de resistência, critérios de poropressões e um método de análise, é fundamental o conhecimento do peso específico médio,  $\gamma$ , característico dos resíduos dispostos, após a compactação, sua variação com o peso das camadas superiores de resíduos e com a digestão anaeróbia, que se dá ao longo do tempo.

A compactação realizada com tratores de esteira tipo D6, em condições normais de operação, resulta em valores iniciais médios de peso específico dos resíduos, devendo-se variar este valor, para considerar outras condições devidas ao peso de camadas superiores, aumento e diminuição de teores de lixiviados na massa de resíduos e pressões de gás.

Assim, pode-se obter  $7 \leq \gamma \leq 16$  kN/m<sup>3</sup>, de acordo com a literatura técnica, ao se considerar a variação de umidade dos resíduos por lixiviados, bolsões de biogás e as pressões devidas às profundidades dos resíduos dispostos. No caso em questão, foi adotado o peso específico médio de 7 kN/m<sup>3</sup>, considerando-se os valores obtidos no acompanhamento volumétrico encaminhado pelo interessado.

## 8.7 Resultados Obtidos

Para o maciço de resíduos, nas hipóteses assumidas, pode-se aplicar o modelo matemático, obtendo-se os valores de Fator de Segurança em função do  $r_u$  local para cada seção analisada, conforme apresentados a seguir.

Seção	Piezômetros próximos a seção	Coeficiente $r_u$ em 23/06/2020	Fator de Segurança, FS	
			Hipótese 01 (Benvenuto & Cunha, 1991)	Hipótese 02 (Benvenuto & Benvenuto, 2012)
Estaca 02	Média Geral	0,36	1,8	2,3
Estaca 03	Média Geral	0,36	1,8	2,2
Estaca 04	PZ-09	0,23	1,8	2,3
Estaca 05	PZ-09	0,23	1,8	2,3
Estaca 06	Média Geral	0,36	1,6	2,1
Estaca 07	PZ-06 e PZ-07	0,16	1,9	2,5
Estaca 08	PZ-06 e PZ-07	0,16	1,9	2,5
Estaca 09	PZ-03, PZ-04 e PZ-05	0,49	1,4	1,9
Estaca 10	PZ-02, PZ-03, PZ-04 e PZ-05	0,45	1,7	2,2
Estaca 11	PZ-01, PZ-02, PZ-03, PZ-04 e PZ-05	0,46	1,6	2,1
Estaca 12	PZ-01 e PZ-10	0,40	2,0	2,6
Estaca 13	PZ-08	0,45	3,2	4,2
Estaca 14	Média Geral	0,36	5,0	6,6
Section.02	PZ-01, PZ-02, PZ-03 e PZ-04	0,42	1,7	2,1

**Tabela 8-4. Superfícies Circulares - Valores de Fator de Segurança obtidos para cada seção em função das hipóteses assumidas e coeficientes  $r_u$ .**

Seção	Piezômetros próximos a seção	Coeficiente $r_u$ em 23/06/2020	Fator de Segurança, FS	
			Hipótese 01 (Benvenuto & Cunha, 1991)	Hipótese 02 (Benvenuto & Benvenuto, 2012)
Estaca 02	Média Geral	0,36	1,1	1,2
Estaca 03	Média Geral	0,36	1,1	1,2
Estaca 04	PZ-09	0,23	1,1	1,2
Estaca 05	PZ-09	0,23	1,2	1,3
Estaca 06	Média Geral	0,36	1,0	1,1
Estaca 07	PZ-06 e PZ-07	0,16	1,2	1,3
Estaca 08	PZ-06 e PZ-07	0,16	1,2	1,3
Estaca 09	PZ-03, PZ-04 e PZ-05	0,49	0,9	1,0
Estaca 10	PZ-02, PZ-03, PZ-04 e PZ-05	0,45	1,1	1,2
Estaca 11	PZ-01, PZ-02, PZ-03, PZ-04 e PZ-05	0,46	1,1	1,2
Estaca 12	PZ-01 e PZ-10	0,40	1,3	1,4
Estaca 13	PZ-08	0,45	3,4	3,7
Estaca 14	Média Geral	0,36	17,2	19,3
Section.02	PZ-01, PZ-02, PZ-03 e PZ-04	0,42	1,1	1,2

Tabela 8-5. Superfícies Não Circulares - Valores de Fator de Segurança obtidos para cada seção em função das hipóteses assumidas e coeficientes  $r_u$ .

As seções críticas de análises de estabilidade juntamente com suas superfícies hipotéticas de rupturas circulares e não circulares, juntamente com seus coeficientes  $r_u$  no âmbito da última leitura de instrumentos geotécnicos realizada em 23/06/2020, nas hipóteses assumidas são apresentadas no Anexo IV.

No Anexo V é apresentado o memorial de cálculo da estabilidade.

## 8.8 Interpretação dos Resultados Obtidos

A modelagem apresentada para a estabilidade geotécnica do maciço de resíduos, em suas seções mais críticas, demonstra que as superfícies críticas de ruptura **NÃO** circulares, passando pela interface da camada de solo argiloso saturado e geomembrana de PEAD lisa demonstraram ser mais críticas do que as superfícies de rupturas circulares, corroborando assim a hipótese de que o surgimento das trincas terem sido ocasionadas por uma ruptura incipiente (pré-ruptura) nesta interface e não, exclusivamente, por recalques diferenciais.

Tal fato se deve, na concepção do projeto de escavação executado ter sido contemplado taludes inclinados e extensos, revestidos por geomembrana de PEAD lisa, associados ao ineficiente confinamento geotécnico, sem a adoção de bermas. Assim nesta superfície inclinada, é atribuído um plano de ruptura preferencial de deslizamento, do tipo “block slide”.

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento dos resíduos, no cenário atual, devem ser da ordem dos parâmetros obtidos na Hipótese 02, modelagem proposta por Benvenuto & Benvenuto (2012), que utiliza como referência o índice de resistência a penetração dinâmica médio geral obtido ( $N_{IRP}$  médio = 14 golpes). Visto que, se adotados os parâmetros da hipótese 01, o aterro sanitário já teria rompido.

Os resíduos provenientes de limpeza de ruas e domicílios após a ocorrência de chuvas intensas e enchentes, misturados com lama não condicionam as pseudo-rupturas, pois não participam de forma proporcionalmente significativa na composição da resistência dos resíduos em suas superfícies críticas.

Os recalques observados nos marcos superficiais estão associados às movimentações de ruptura e são de posição localizada junto à criticidade das seções, muito mais do que de recalques por adensamento da camada de enchente.

Em geral, em aterros sanitários deste tipo, salvo os condicionantes geotécnicos, se projetados e operados dentro das condições de projeto, apresentam no interior do maciço de resíduos valores médios de  $r_u$  da ordem de 0,20 a 0,30. Ressalta-se que os piezômetros PZ-01, PZ-03, PZ-04, PZ-05, PZ-08 e PZ-10, localizados próximos a trinca, apresentaram

valores de  $r_u$  observados relativamente altos, em média geral igual a 0,45, contribuindo assim para a diminuição dos Fatores de Segurança obtidos. Estes valores de  $r_u$  obtidos podem ser atribuídos a ineficiência do sistema de drenagem interna do maciço de resíduos associado ao ineficiente sistema de drenagem pluvial (provisório e definitivo) e do sistema de cobertura definitiva das áreas encerradas do aterro.

Embora não identificadas altas pressões de gases nos piezômetros, pode-se notar que estas pressões são contribuintes para a oclusão do sistema de drenagem de lixiviados, bloqueando sua percolação para níveis mais profundos.

A modelagem matemática da estabilidade, em suas hipóteses assumidas, com a consideração de parâmetros de resistência ao cisalhamento dos resíduos dispostos, distintos, denota que a situação mais provável de acontecimento no cenário atual do aterro sanitário seja de rupturas não circulares, com parâmetros segundo Benvenuto & Benvenuto (2012), obtidos através das sondagens realizadas no maciço de resíduos. Portanto, utilizando-se esta simulação pode-se obter equações lineares definidas para as seções de estudo. As equações das retas para cada seção são apresentadas na Tabela 8-6, juntamente com seus coeficientes de  $r_u$  hipotéticos nos cenários de Alerta (FS=1,3) e de Ruptura (FS = 1,0), segundo a Norma ABNT – NBR 11.682/09 “Estabilidade de encostas”, para estabilidade de longo período, bem como sua redução de coeficiente  $r_u$  para o nível aceitável (FS=1,3).

Seção	Equação Linear da reta	Coeficiente ru em 23/06/2020	Coeficiente ru		*Redução de coeficiente ru
			Desejável (FS=1,3)	Ruptura (FS=1,0)	
Estaca 02	FS= -1,0656 x ru + 1,607	0,36	0,29	0,57	↓ 0,07
Estaca 03	FS= -1,096 x ru + 1,587	0,36	0,26	0,54	↓ 0,10
Estaca 04	FS= -1,0951 x ru + 1,465	0,23	0,15	0,42	↓ 0,08
Estaca 05	FS= -1,1479 x ru + 1,542	0,23	0,21	0,47	↓ 0,02
Estaca 06	FS= -1,1680 x ru + 1,542	0,36	0,21	0,46	↓ 0,15
Estaca 07	FS= -1,1899 x ru + 1,537	0,16	0,20	0,45	OK
Estaca 08	FS= -1,1589 x ru + 1,497	0,16	0,17	0,43	OK
Estaca 09	FS= -1,1509 x ru + 1,528	0,49	0,20	0,46	↓ 0,29
Estaca 10	FS= -1,2404 x ru + 1,807	0,45	0,41	0,65	↓ 0,04
Estaca 11	FS= -1,2228 x ru + 1,784	0,46	0,40	0,64	↓ 0,06
Estaca 12	FS= -1,3374 x ru + 1,926	0,40	0,47	0,69	OK
Estaca 13	FS= -3,8789 x ru + 5,426	0,45	1,06	1,14	OK
Estaca 14	FS= -17,392 x ru + 25,567	0,36	1,40	1,41	OK
Section.02	FS= -1,1330 x ru + 1,6840	0,42	0,34	0,60	↓ 0,09

\* Redução de coeficiente ru para se adequar ao FS =1,3 no âmbito da análise de estabilidade realizada em junho de 2020

Tabela 8-6. Equações das retas para cada seção analisada e coeficientes r<sub>u</sub> segundo a norma ABNT NBR 13.896:97.

## 9 CONCLUSÕES

Perante as incertezas de todos os parâmetros e hipóteses adotadas, que contribuem, ora pra mais e ora pra menos, compondo os resultados pode-se ter uma conclusão de maior probabilidade de ocorrência em relação à realidade, que tenta-se entender e demonstrar.

Perante os resultados encontrados podemos estabelecer as conclusões para encaminhar o relatório deste trabalho no diagnóstico das ocorrências:

- Trata-se de uma ruptura incipiente (pré-ruptura) e não somente recalques como se podia supor.
- A superfície de escavação inclinada de base revestida de geomembrana de PEAD de 2 mm lisa fornece uma superfície preferencial de deslizamento, entre o solo de proteção e os resíduos.
- As superfícies críticas são compostas provavelmente por planos e/ou pequenos semicírculos e maiores planos, sempre condicionados pela geomembrana lisa em plano extenso e inclinado nos taludes de escavação da base, contribuindo em grande proporção para as superfícies de ruptura não circulares.
- Corroborar-se a isto que as superfícies circulares, em geral ocorrentes nos resíduos, internamente à sua massa, apresentam fatores de segurança superiores aos das superfícies planares, independentes dos parâmetros de resistência adotados e das poropressões existentes.
- As pressões de gases têm alguma influência na composição quantitativa nas poropressões internas, porém muito mais como bloqueio à drenagem do chorume, ocluindo a sua percolação, para os níveis mais baixos e gerando os bolsões de gases e lixiviados.
- As poropressões estão muito altas devido aos lixiviados, o que diminuem os fatores de segurança e condicionam e explicam as deformações horizontais pré-rupturas, “empurrando” a massa apoiada no solo/geomembrana, para regiões de menos rigidez, ou seja a região do dique e a área desconfinada ao Norte.

- Os parâmetros de resistência média dos resíduos devem estar da ordem dos obtidos através de correlações com os Índices de Resistência a Penetração de campo, aqui denominados **N<sub>IRP</sub>**, conforme apresentado nas rupturas não circulares simuladas, onde o fator de segurança se aproxima da unidade.
- Os materiais de enchente não condicionam as pseudo-rupturas, pois não participam de forma proporcionalmente significativa na composição da resistência dos resíduos em suas superfícies críticas, mesmo com adoção de resistências minoradas e as poropressões adotadas nas regiões do maciço.
- Assim, os recalques estão associados às movimentações de ruptura e são preferencialmente, de posição localizada, junto às seções críticas, muito mais do que de recalques por adensamento desigual da camada de enchente ou de diferenças entre os desníveis de resíduos existentes entre os dois platôs de escavação já utilizados.
- A análise dos deslocamentos horizontais dos marcos superficiais, novos e antigos, fecham as conclusões destas evidências, onde a velocidade dos deslocamentos ou os seus valores absolutos nos períodos considerados, para aqueles Marcos Superficiais situados sobre a projeção do plano inclinado dos taludes de escavação ou próximos, são superiores em magnitude e em número de ocorrências, do que os situados sobre as superfícies dos planos horizontais de base e da primeira berma escavada, revestidos com a geomembrana de PEAD lisa.
- Analisando as curvas de isorecalques observa-se que o máximo recalque nos períodos de medidas comuns ocorre sobre a projeção do plano inclinado (em amarelo), quase junto ao seu pé de escavação, deslocado para o setor Norte, onde há assim o maior abatimento, estando a trinca principal localizada, na maior parte, sobre a projeção do plano inclinado. Isto evidencia mais uma vez que o deslizamento do aterro tende a se espalhar na direção do menor confinamento geotécnico do maciço, conforme já evidenciavam os deslocamentos horizontais.

Para uma retomada mais rápida da operação, perante essas evidências, pode-se concluir e definir, conforme segue a sequência das ações numeradas de 1 a 10:

1. É necessário baixar os níveis de poropressões, valores de Rus, das regiões das seções consideradas mais críticas. Drenos, de biogás e de lixiviados, devidamente projetados e/ou poços de bombeamento de lixiviados devem ser implementados urgentemente.
2. Drenagem superficial precisa ser implantada com canaletas, caixas de passagem e descidas de águas, mesmo que provisórias, com o uso de geomembranas.
3. Coberturas provisórias são essenciais para o período chuvoso, bem como o desvio de contribuição de águas de montante, superiores ao aterro precisam ser desviadas através de uma macrodrenagem. A utilização de geomembranas deve ser implementada nessas coberturas provisórias
4. A continuidade de disposição de resíduos para os níveis superiores, junto aos taludes de solo atuais com geomembranas instaladas, bem como o setor Norte, o qual deve ser priorizado, deve ser reformulada, com recuos, escavações suplementares, uso de geomembranas texturizadas e/ou reforços geossintéticos e proteções adequadas com geotêxtil resistente - uso de geogrelha de forma a sustentar o atrito dos resíduos com esses planos. Note-se que o preenchimento do setor Norte com resíduos, de forma devidamente projetada e executada criará um apoio para os deslocamentos ocorrentes, não sem antes baixar as poropressões de lixiviados como definido no item 1.
5. Estes 4 itens acima viabilizam a continuidade da disposição de resíduos de forma segura e agora, monitorada pelos instrumentos existentes.
6. É necessário a execução de um projeto de adequação, nas áreas onde ainda não há resíduos dispostos e o licenciamento ambiental permita ser utilizado.
7. Existem locais onde é possível operar, mas o risco de desabamentos e as inadequações de implantação não permitem o seu uso, devido aos riscos aos acessos, a menos que se reduzam os valores das poropressões e proceda-se à continuidade do monitoramento periódico. Assim, as regiões Norte, Sul e central do aterro poderão ser usadas para continuidade da disposição de resíduos se viabilizadas as devidas ações de preparo e execução de proteções ambientais como

- definido no item anterior, porém viabilizado um acesso seguro, que não esteja sujeito ao abalroamento por deslizamento de resíduos sobre o tráfego de funcionários e equipamentos.
8. A região movimentada deve ficar sem novas sobre-elevações, com recuos da região fragilizada até que outras medidas locais possam ser adotadas. Distância de recuo pode ser estimada, porém necessita-se de segurança nos acessos e adoção das outras medidas já citadas, prioritariamente, a referente ao item 1, destas ações.
  9. A lagoa de chorume deve ser mantida rebaixada no seu nível mínimo possível, elaborando-se um plano de emergência no caso de abalroamento por eventual deslizamento de resíduos, com segurança, para os funcionários e não contaminação dos recursos hídricos à jusante (lagoas de retenção, mesmo que sem revestimento – minimização de solos contaminados, etc.), separando as águas pluviais dos lixiviados em situações de emergência de eventuais acidentes.
  10. Serão necessários recursos financeiros, para as obras elencadas priorizando-se a redução das poropressões, drenagem pluvial - macro e micro drenagem - redução das infiltrações, mudanças de *design* e monitoramento geotécnico contínuo durante as obras. A elaboração de projetos específicos concatenados é essencial, definindo um cronograma de atuação e acompanhamento dos resultados pelo DEMSUR.

## 10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os trabalhos realizados concluiu-se que ações e medidas complementares definidas deverão ser adotadas para a normalização da operação e a garantia da estabilidade geotécnica do aterro sanitário de Muriaé, existindo espaço ainda suficiente para a continuidade da disposição.

Os sistemas de drenagem interna e os condicionantes construtivos levaram aos processos de instabilização e as ações definidas são o meio mais prático de recuperar o aterro em sua operação orientada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.419:** Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 07p.

\_\_\_\_\_, ABNT. **NBR 11.682:** Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_, ABNT. **NBR 13.896:** Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 12p.

BENVENUTO C. et al. **A Metodologia Geotécnica Aplicada à Disposição dos Resíduos Sólidos.** In: GEOAMBIENTAL SEMINÁRIO SOBRE GEOTECNIA DE ATERROS PARA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS - ÊNFASE EM ATERROS SANITÁRIOS, 1994, Rio de Janeiro, RJ. COPPE-UFRJ, 1994.

BENVENUTO C.; CIPRIANO, M. A. **Modelo reológico de comportamento de resíduos e aterros sanitários, segundo critérios de projeto e operação atuais no Brasil.** Revista Limpeza Pública, São Paulo, Edição 74. Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública – ABLP, 2010.

BENVENUTO C. **Monitoramento Geotécnico e a estabilidade dos aterros sanitários.** Revista Limpeza Pública, São Paulo, Edição 77. Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública – ABLP, 2011.

BENVENUTO C.; BENVENUTO M. **Ensaio mecânicos em resíduos sólidos urbanos: as teorias e as finalidades práticas.** Revista Limpeza Pública, São Paulo, Edição 81. Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública – ABLP, 2012.

BENVENUTO, C., MORETTI, M. E BENVENUTO, M. **Fluxo de resíduos sólidos domiciliares em aterros sanitários no Brasil e análise de risco em áreas urbanas.** Revista Limpeza Pública, Edição 93. Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública – ABLP, 2016.

BENVENUTO, C., MORETTI, M. E BENVENUTO, M. **Instrumentação geotécnica e monitoramento da estabilidade de aterros sanitários.** Revista Limpeza Pública, Edição 101. Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública – ABLP, 2019.

BISHOP, A. W; MORGENSTERN, N. (1960) **Stability coefficients for Earth Slopes – Geothécnique** – N. 4 – Vol. X.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Resíduos Sólidos Domésticos: Tratamento e Disposição Final**. São Paulo: CETESB, 1994.

CRUZ, P. T.; Ferreira, R. C. **Aterros Compactados, em Solos do Interior de São Paulo**, São Paulo: ABMS e USP/SC, 1993, p. 279.

DEL GRECCO, O. & OGGERI, C. **Geotechnical Parameters of Sanitary Wastes**. In: SARDINIA, 1993, Sardinia, Itália. IV International Landfill Symposium.

DEL GRECCO, O. & OGGERI C. **Shear Resistance Tests on Municipal Solid Wastes**. In: First International Congress on Environmental Geotechnics, Edmonton, Canadá, 1994.

GUIDICINI, C. E NIEBLE, C.M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1976.

KÖELSCH, F. **Material Values for Some Mechanical Properties of Domestic Waste**. In: SARDINIA, 1995, Sardinia, Itália, 1995. Fifth International Landfill Symposium.

LAMBE, T. W. & WHITMAN, R. V. **Soil Mechanics**. Massachusetts Institute of Technology. New York, 1969.

SHARMA, H. D. E LEWIS, S. P. **Waste Containment System, Waste Stabilization, and Landfills - Design and Evaluation**, John Wiley Sons, Inc. pp 534 - 1994.

SPENCER, E. **A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-slice Forces**, Géotechnique, 17 (1) : 11-26, Mar., 1967.

TERZAGHI, K **Theoretical Soil Mechanics**, John Wiley & Sons, New York,1943.

VIDAL. I. G. **Atrito de Interface & Geomembranas de PEAD**. Simpósio Brasileiro de Geossintéticos – Junho de 2007. Recife, PE.

## **ANEXOS**

**Anexo I – Folhas**

**Anexo II - Gráficos de Deslocamentos, Velocidade dos Deslocamentos, Recalques e Velocidade dos Recalques dos Marcos Superficiais**

**Anexo III - Perfis de Instalação dos Piezômetros com Ensaio IRP**

**Anexo IV - Seções Críticas da Análises de Estabilidade**

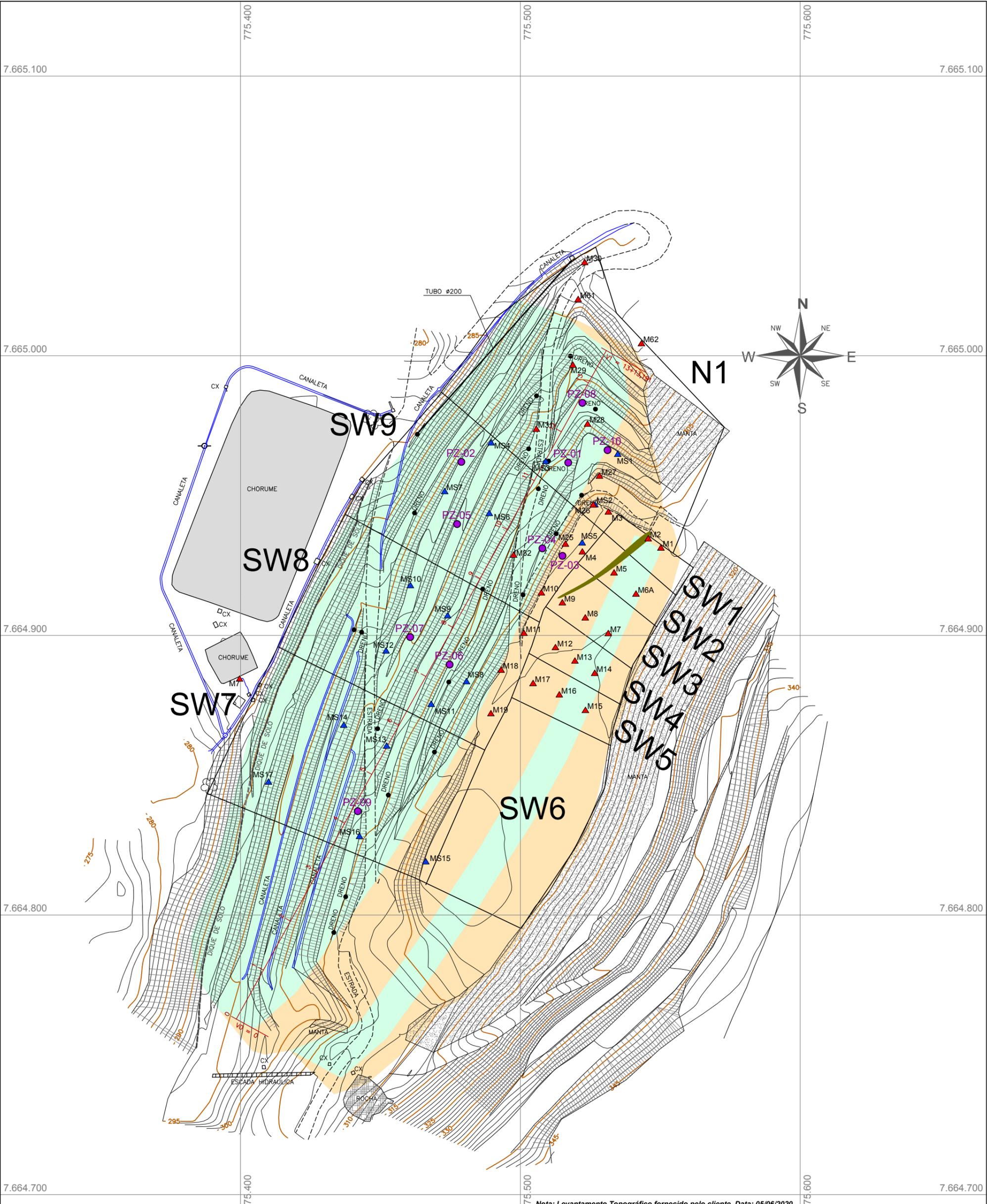
**Anexo V - Memorial de Cálculo de Estabilidade**

**Anexo VI - Relatório Fotográfico**

**Anexo VII - Anotação de Responsabilidade Técnica**

**Anexo I – Folhas**

Z:\Tecnico\2020\PM Muriae\A16\Marco\Proj\REF-MRE-MGT-C1-OP-A-11.dwg, 01/07/2020 19:28:41  
ISO full bleed A3 (297,00 x 420,00 MM), 1

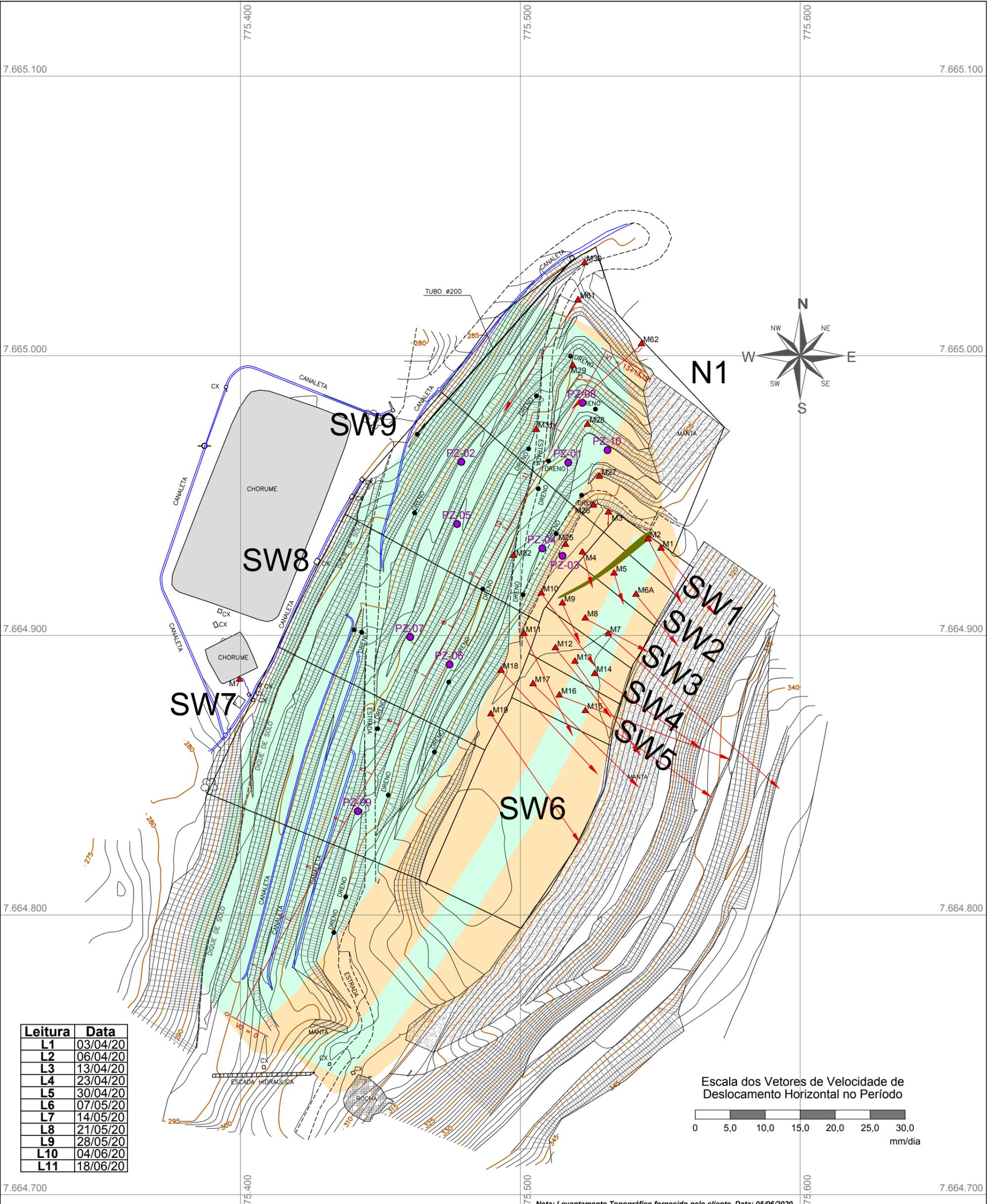


LEGENDA	
	333 Curvas de Nível
	M19 Marcos Superficiais Existentes
	MS14 Marcos Superficiais Geotech
	PZ-07 Piezômetros Tipo Geotech
	SW-4 Setorização do Aterro
Nota: Levantamento Topográfico fornecido pelo cliente. Data: 05/06/2020.	

LEGENDA	
	Berma / Platô de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Taludes de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Região com ocorrência de trincas no platô superior do aterro

 DE@SUR DEP. MUN. DE SANEAMENTO URBANO		 GEOTECH GEOTECNIA AMBIENTAL CONSULTORIA E PROJETOS Tel. (011) 3742-0804 www.geotech.srv.br	
ENG.: MARCELO BENVENUTO		Levantamento Planialtimétrico (05/06/20) e Instrumentação Geotécnica	
FOLHA Nº 01/13	ESC.: 1:1.250	DATA: Junho de 2020	REV: 0

Z:\Tecnico\2020\PM Muriae\A16\Marco\Proj\PRE-MRE-MGT-C1-OP-A-11.dwg, 02/07/2020 19:28:41  
ISO full bleed A3 (297,00 x 420,00 MM), 1



Leitura	Data
L1	03/04/20
L2	06/04/20
L3	13/04/20
L4	23/04/20
L5	30/04/20
L6	07/05/20
L7	14/05/20
L8	21/05/20
L9	28/05/20
L10	04/06/20
L11	18/06/20

Escala dos Vetores de Velocidade de Deslocamento Horizontal no Período  
0 5,0 10,0 15,0 20,0 25,0 30,0 mm/dia

Nota: Levantamento Topográfico fornecido pelo cliente. Data: 05/06/2020.

LEGENDA	
	333 Curvas de Nivel
	M19 Marcos Superficiais Existentes
	PZ-07 Piezômetros Tipo Geotech
	SW-4 Setorização do Aterro
	MS-00 Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Normal (x,y)
	MS-00 Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Contra o Talude (x,y)

LEGENDA	
	Berma / Platô de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Taludes de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Região com ocorrência de trincas no platô superior do aterro

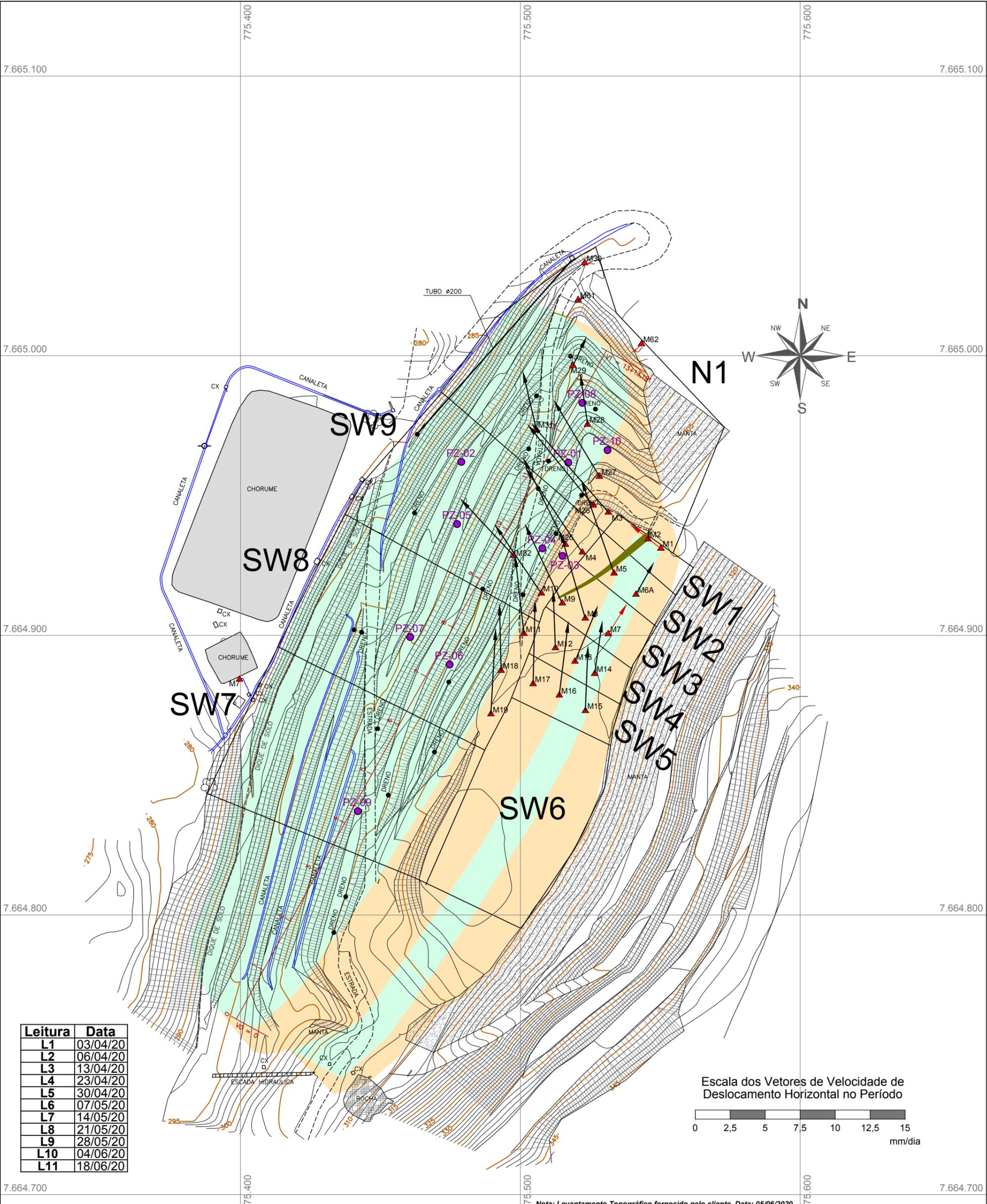
DEP. MUN. DE SANEAMENTO URBANO

**GEOTECH**  
 GEOTECNIA AMBIENTAL  
 CONSULTORIA E PROJETOS  
 Tel. (011) 3742-0804  
 www.geotech.srv.br

Projeto de Monitoramento Geotécnico, Instalação Geotécnica e Laudo de Estabilidade do Aterro Sanitário de Muriae - MG

ENG.:	Vetores de Deslocamento Horizontal no intervalo de leituras L1-L2		
MARCELO BENVENUTO	ESC.:	DATA:	REV:
FOLHA Nº	1:1.250	Junho de 2020	0
02/13			

Z:\Tecnico\2020\PM Muriae\Atas\Marco\Proj\PRE-MGT-C-TOP-A-11.dwg, 03/02/2020 19:28:51  
ISO full bleed A3 (297,00 x 420,00 MM), 1



Leitura	Data
L1	03/04/20
L2	06/04/20
L3	13/04/20
L4	23/04/20
L5	30/04/20
L6	07/05/20
L7	14/05/20
L8	21/05/20
L9	28/05/20
L10	04/06/20
L11	18/06/20

Escala dos Vetores de Velocidade de Deslocamento Horizontal no Período  
0 2,5 5 7,5 10 12,5 15 mm/dia

Nota: Levantamento Topográfico fornecido pelo cliente. Data: 05/06/2020.

LEGENDA	
	Curvas de Nivel
	Marcos Superficiais Existentes
	Piezômetros Tipo Geotech
	Setorização do Aterro
	Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Normal (x,y)
	Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Contra o Talude (x,y)

LEGENDA	
	Berma / Platô de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Taludes de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Região com ocorrência de trincas no platô superior do aterro

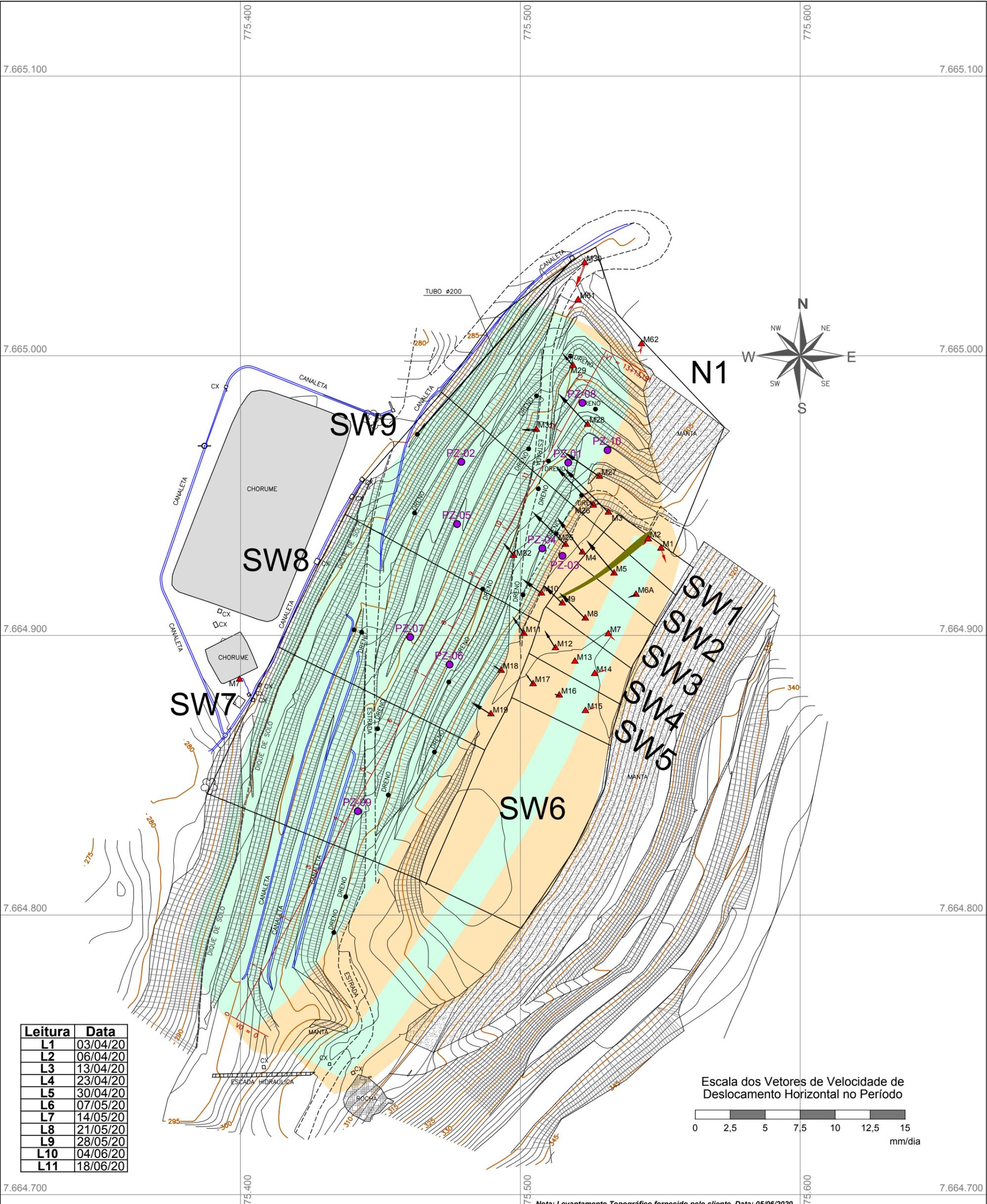
**DE@SUR**  
DEP. MUN. DE SANEAMENTO URBANO

**GEOTECH**  
GEOTECNIA AMBIENTAL  
CONSULTORIA E PROJETOS  
Tel. (011) 3742-0804  
www.geotech.srv.br

Projeto de Monitoramento Geotécnico, Instalação Geotécnica e Laudo de Estabilidade do Aterro Sanitário de Muriae - MG

ENG.: MARCELO BENVENUTO	Vetores de Deslocamento Horizontal no intervalo de leituras L2-L3		
FOLHA Nº 03/13	ESC.: 1:1.250	DATA: Junho de 2020	REV: 0

Z:\Tecnico\2020\PM Muriae\A16\Marco\Proj\PRE-MRE-MGT-C1-OP-A-11.dwg 04/02/2020 19:28:51  
ISO full bleed A3 (297,00 x 420,00 MM), 1



Leitura	Data
L1	03/04/20
L2	06/04/20
L3	13/04/20
L4	23/04/20
L5	30/04/20
L6	07/05/20
L7	14/05/20
L8	21/05/20
L9	28/05/20
L10	04/06/20
L11	18/06/20

Escala dos Vetores de Velocidade de Deslocamento Horizontal no Período

Nota: Levantamento Topográfico fornecido pelo cliente. Data: 05/06/2020.

LEGENDA	
	Curvas de Nivel
	Marcos Superficiais Existentes
	Piezômetros Tipo Geotech
	Setorização do Aterro
	Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Normal (x,y)
	Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Contra o Talude (x,y)

LEGENDA	
	Berma / Platô de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Taludes de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Região com ocorrência de trincas no platô superior do aterro

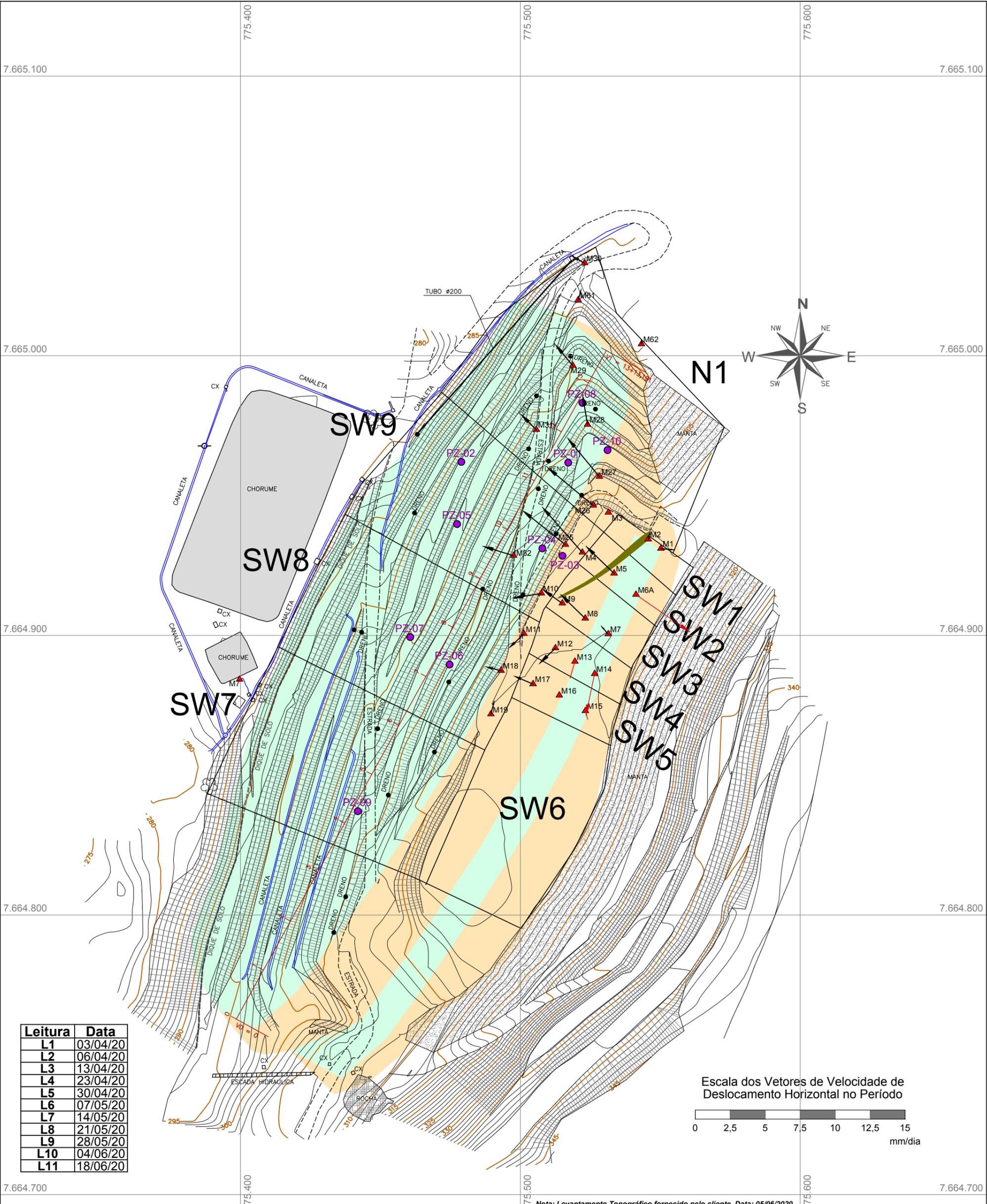
DEP. MUN. DE SANEAMENTO URBANO

**GEOTECH**  
 GEOTECNIA AMBIENTAL  
 CONSULTORIA E PROJETOS  
 Tel. (011) 3742-0804  
 www.geotech.srv.br

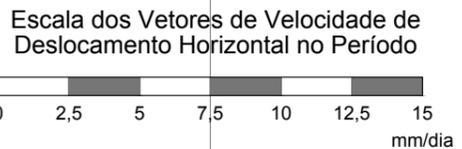
Projeto de Monitoramento Geotécnico, Instalação Geotécnica e Laudo de Estabilidade do Aterro Sanitário de Muriae - MG

ENG.:	Vetores de Deslocamento Horizontal no intervalo de leituras L3-L4		
MARCELO BENVENUTO	ESC.:	DATA:	REV:
FOLHA Nº	04/13	1:1.250	Junho de 2020
			0

Z:\Tecnico\2020\PM Muriae\A16\Marco\Proj\PRE-MRE-MGT-C1-OP-A-11.dwg, 05/02/2020 19:29:51  
ISO full bleed A3 (297,00 x 420,00 MM), 1



Leitura	Data
L1	03/04/20
L2	06/04/20
L3	13/04/20
L4	23/04/20
L5	30/04/20
L6	07/05/20
L7	14/05/20
L8	21/05/20
L9	28/05/20
L10	04/06/20
L11	18/06/20



Nota: Levantamento Topográfico fornecido pelo cliente. Data: 05/06/2020.

LEGENDA	
	333 Curvas de Nivel
	M19 Marcos Superficiais Existentes
	PZ-07 Piezômetros Tipo Geotech
	MS-00 Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Normal (x,y)
	MS-00 Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Contra o Talude (x,y)

LEGENDA	
	Berma / Platô de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Taludes de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Região com ocorrência de trincas no platô superior do aterro

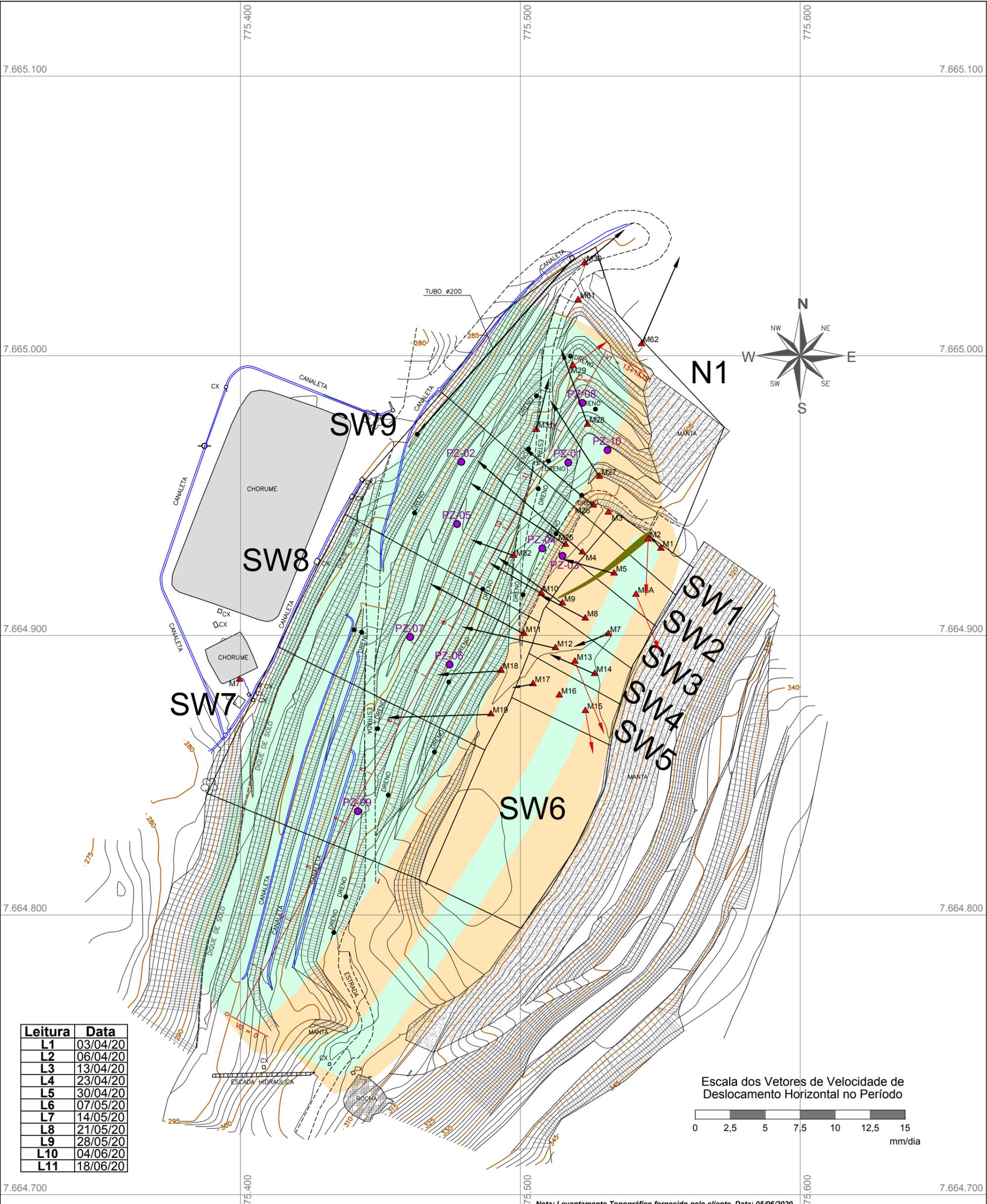
**DE SUR**  
DEP. MUN. DE SANEAMENTO URBANO

**GEOTECH**  
GEOTECNIA AMBIENTAL  
CONSULTORIA E PROJETOS  
Tel. (011) 3742-0804  
www.geotech.srv.br

Projeto de Monitoramento Geotécnico, Instalação Geotécnica e Laudo de Estabilidade do Aterro Sanitário de Muriae - MG

ENG.: MARCELO BENVENUTO	Vetores de Deslocamento Horizontal no intervalo de leituras L4-L5		
FOLHA Nº 05/13	ESC.: 1:1.250	DATA: Junho de 2020	REV: 0

Z:\Tecnico\2020\PM Muriae\A16\Marco\Proj\PRE-MRE-MGT-C1-OP-A-11.dwg, 06/02/2020 19:29:51  
ISO full bleed A3 (297,00 x 420,00 MM), 1



Leitura	Data
L1	03/04/20
L2	06/04/20
L3	13/04/20
L4	23/04/20
L5	30/04/20
L6	07/05/20
L7	14/05/20
L8	21/05/20
L9	28/05/20
L10	04/06/20
L11	18/06/20

Nota: Levantamento Topográfico fornecido pelo cliente. Data: 05/06/2020.

LEGENDA	
	Curvas de Nivel
	Marcos Superficiais Existentes
	Piezômetros Tipo Geotech
	Setorização do Aterro
	Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Normal (x,y)
	Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Contra o Talude (x,y)

LEGENDA	
	Berma / Platô de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Taludes de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Região com ocorrência de trincas no platô superior do aterro

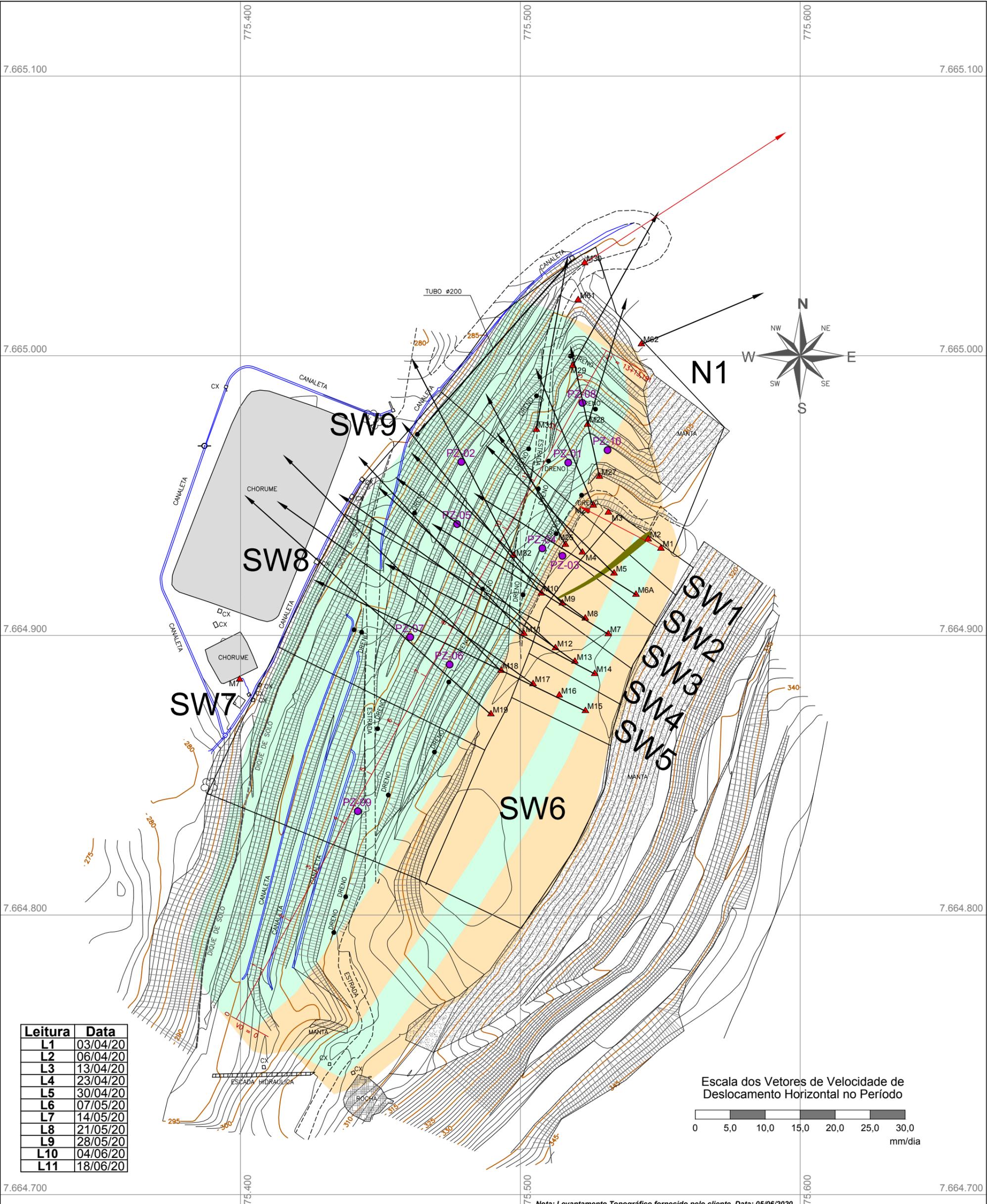
**DE@SUR**  
DEP. MUN. DE SANEAMENTO URBANO

**GEOTECH**  
GEOTECNIA AMBIENTAL  
CONSULTORIA E PROJETOS  
Tel. (011) 3742-0804  
www.geotech.srv.br

Projeto de Monitoramento Geotécnico, Instalação Geotécnica e Laudo de Estabilidade do Aterro Sanitário de Muriae - MG

ENG.:	Vetores de Deslocamento Horizontal no intervalo de leituras L5-L6		
MARCELO BENVENUTO	ESC.:	DATA:	REV:
FOLHA Nº	06/13	1:1.250	Junho de 2020
			0

Z:\Tecnico\2020\PM Muriae\Atas\Marco\Proj\PRE-MRE-MGT-C1-OP-A-11.dwg, 07/02/2020 19:29:51  
ISO full bleed A3 (297,00 x 420,00 MM), 1



Leitura	Data
L1	03/04/20
L2	06/04/20
L3	13/04/20
L4	23/04/20
L5	30/04/20
L6	07/05/20
L7	14/05/20
L8	21/05/20
L9	28/05/20
L10	04/06/20
L11	18/06/20

Escala dos Vetores de Velocidade de Deslocamento Horizontal no Período  
0 5,0 10,0 15,0 20,0 25,0 30,0 mm/dia

Nota: Levantamento Topográfico fornecido pelo cliente. Data: 05/06/2020.

LEGENDA	
	333 Curvas de Nivel
	M19 Marcos Superficiais Existentes
	PZ-07 Piezômetros Tipo Geotech
	SW-4 Setorização do Aterro
	MS-00 Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Normal (x,y)
	MS-00 Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Contra o Talude (x,y)

LEGENDA	
	Berma / Platô de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Taludes de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Região com ocorrência de trincas no platô superior do aterro

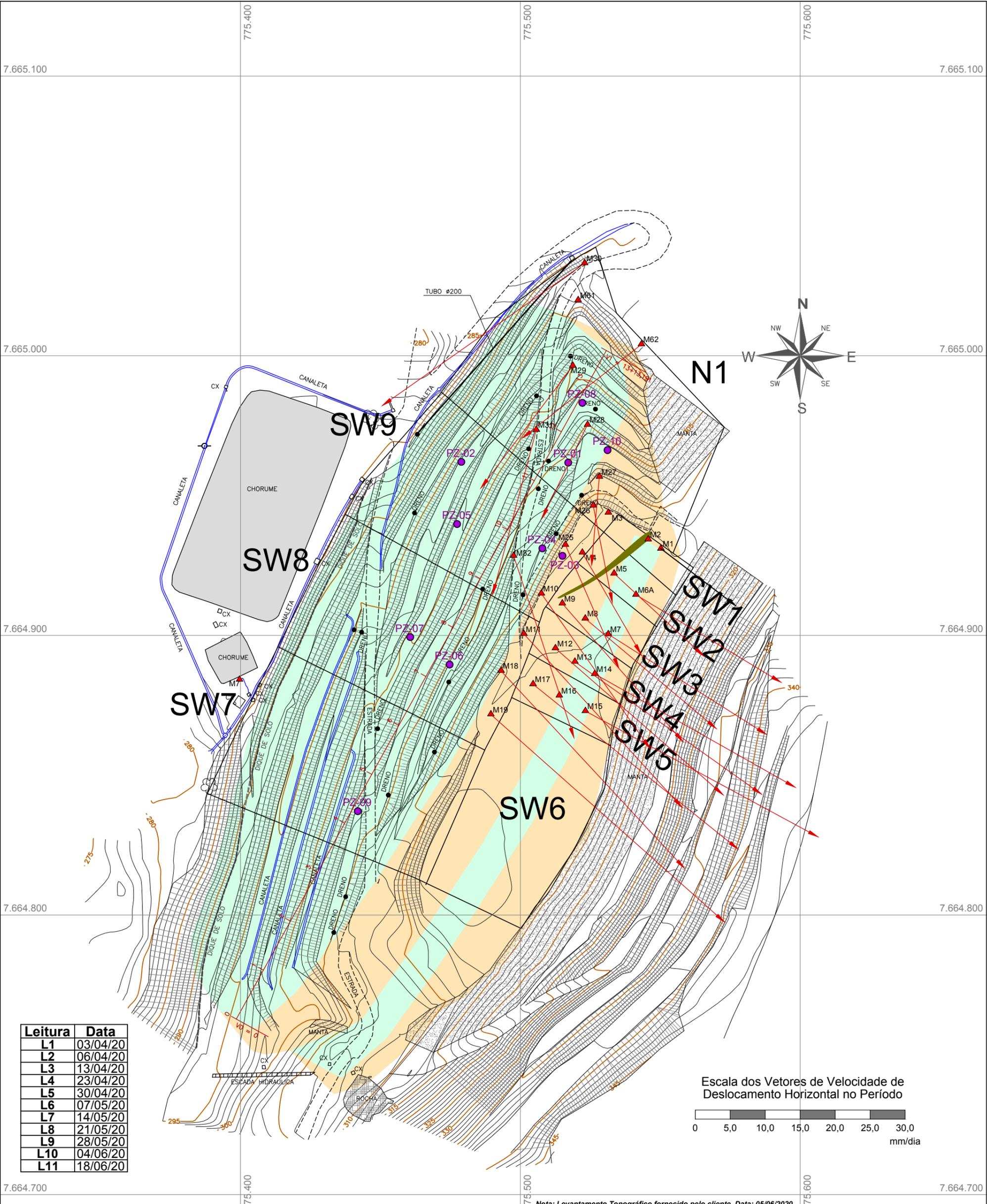
**DE@SUR**  
DEP. MUN. DE SANEAMENTO URBANO

**GEOTECH**  
GEOTECNIA AMBIENTAL  
CONSULTORIA E PROJETOS  
Tel. (011) 3742-0804  
www.geotech.srv.br

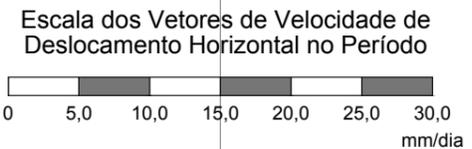
Projeto de Monitoramento Geotécnico, Instalação Geotécnica e Laudo de Estabilidade do Aterro Sanitário de Muriae - MG

ENG.: MARCELO BENVENUTO	Vetores de Deslocamento Horizontal no intervalo de leituras L6-L7		
FOLHA Nº 07/13	ESC.: 1:1.250	DATA: Junho de 2020	REV: 0

Z:\Tecnico\2020\PM Muriae\A16\Marco\Proj\PRE-MRE-MGT-C1-OP-A-11.dwg, 08/02/2020 19:29:11, ISO full bleed A3 (297,00 x 420,00 MM), 1



Leitura	Data
L1	03/04/20
L2	06/04/20
L3	13/04/20
L4	23/04/20
L5	30/04/20
L6	07/05/20
L7	14/05/20
L8	21/05/20
L9	28/05/20
L10	04/06/20
L11	18/06/20



Nota: Levantamento Topográfico fornecido pelo cliente. Data: 05/06/2020.

LEGENDA	
	Curvas de Nivel
	Marcos Superficiais Existentes
	Piezômetros Tipo Geotech
	Setorização do Aterro
	Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Normal (x,y)
	Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Contra o Talude (x,y)

LEGENDA	
	Berma / Platô de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Taludes de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Região com ocorrência de trincas no platô superior do aterro

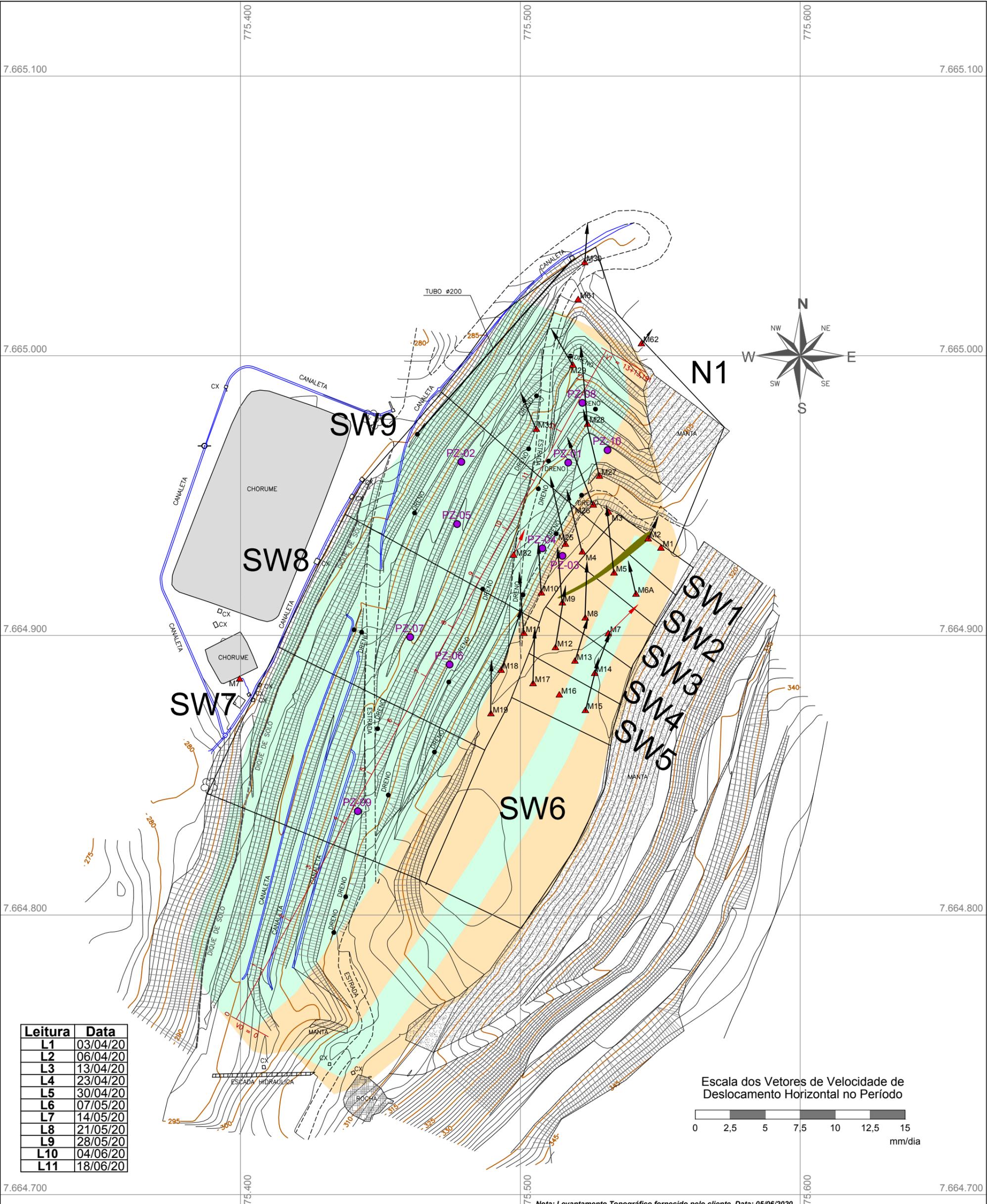
**DE@SUR**  
DEP. MUN. DE SANEAMENTO URBANO

**GEOTECH**  
GEOTECNIA AMBIENTAL  
CONSULTORIA E PROJETOS  
Tel. (011) 3742-0804  
www.geotech.srv.br

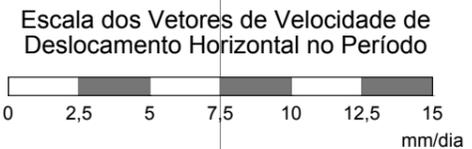
Projeto de Monitoramento Geotécnico, Instalação Geotécnica e Laudo de Estabilidade do Aterro Sanitário de Muriae - MG

ENG.: MARCELO BENVENUTO	Vetores de Deslocamento Horizontal no intervalo de leituras L7-L8		
FOLHA Nº 08/13	ESC.: 1:1.250	DATA: Junho de 2020	REV: 0

Z:\Tecnico\2020\PM Muriae\Atas\Marco\Proj\PRE-MRE-MGT-C1-OP-A-11.dwg, 09/02/2020 19:29:21  
ISO full bleed A3 (297,00 x 420,00 MM), 1



Leitura	Data
L1	03/04/20
L2	06/04/20
L3	13/04/20
L4	23/04/20
L5	30/04/20
L6	07/05/20
L7	14/05/20
L8	21/05/20
L9	28/05/20
L10	04/06/20
L11	18/06/20



Nota: Levantamento Topográfico fornecido pelo cliente. Data: 05/06/2020.

LEGENDA	
	333 Curvas de Nivel
	M19 Marcos Superficiais Existentes
	PZ-07 Piezômetros Tipo Geotech
	MS-00 Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Normal (x,y)
	MS-00 Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Contra o Talude (x,y)

LEGENDA	
	Berma / Platô de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Taludes de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Região com ocorrência de trincas no platô superior do aterro

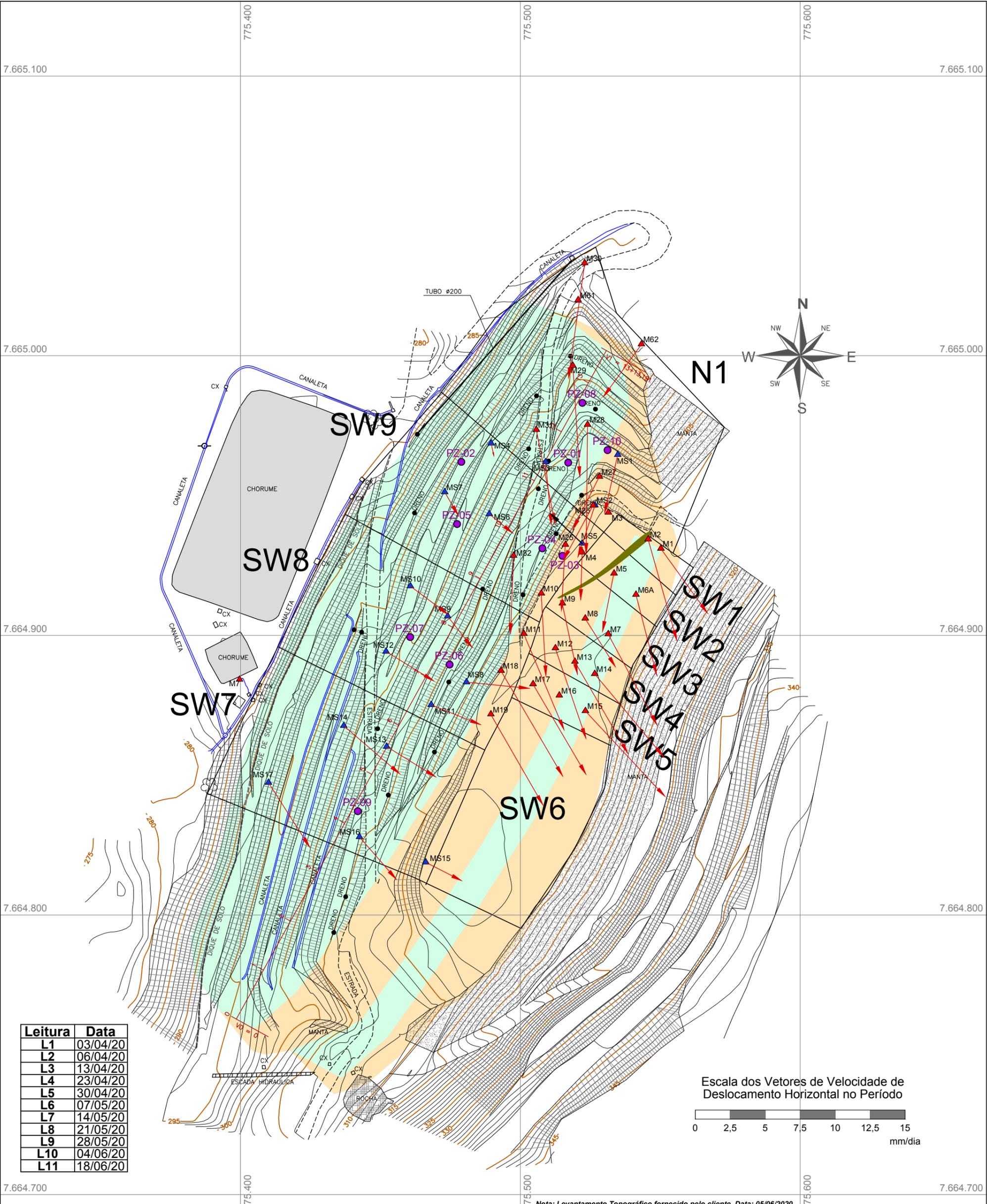
**DE@SUR**  
DEP. MUN. DE SANEAMENTO URBANO

**GEOTECH**  
GEOTECNIA AMBIENTAL  
CONSULTORIA E PROJETOS  
Tel. (011) 3742-0804  
www.geotech.srv.br

Projeto de Monitoramento Geotécnico, Instalação Geotécnica e Laudo de Estabilidade do Aterro Sanitário de Muriae - MG

ENG.: MARCELO BENVENUTO	Vetores de Deslocamento Horizontal no intervalo de leituras L8-L9		
FOLHA Nº 09/13	ESC.: 1:1.250	DATA: Junho de 2020	REV: 0

Z:\Tecnico\2020\PM Muriae\Atas\Marco\Projeto\REF-MRE-MGT-C-TOP-A-11.dwg, 10.02.07/2020 19:29:21  
ISO full bleed A3 (297,00 x 420,00 MM), 1



Leitura	Data
L1	03/04/20
L2	06/04/20
L3	13/04/20
L4	23/04/20
L5	30/04/20
L6	07/05/20
L7	14/05/20
L8	21/05/20
L9	28/05/20
L10	04/06/20
L11	18/06/20

Escala dos Vetores de Velocidade de Deslocamento Horizontal no Período  
0 2,5 5 7,5 10 12,5 15 mm/dia

Nota: Levantamento Topográfico fornecido pelo cliente. Data: 05/06/2020.

LEGENDA	
	Curvas de Nivel
	Marcos Superficiais Existentes
	Marcos Superficiais Geotech
	Setorização do Aterro
	Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Normal (x,y)
	Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Contra o Talude (x,y)

LEGENDA	
	Berma / Platô de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Taludes de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Região com ocorrência de trincas no platô superior do aterro
	Piezômetros Tipo Geotech

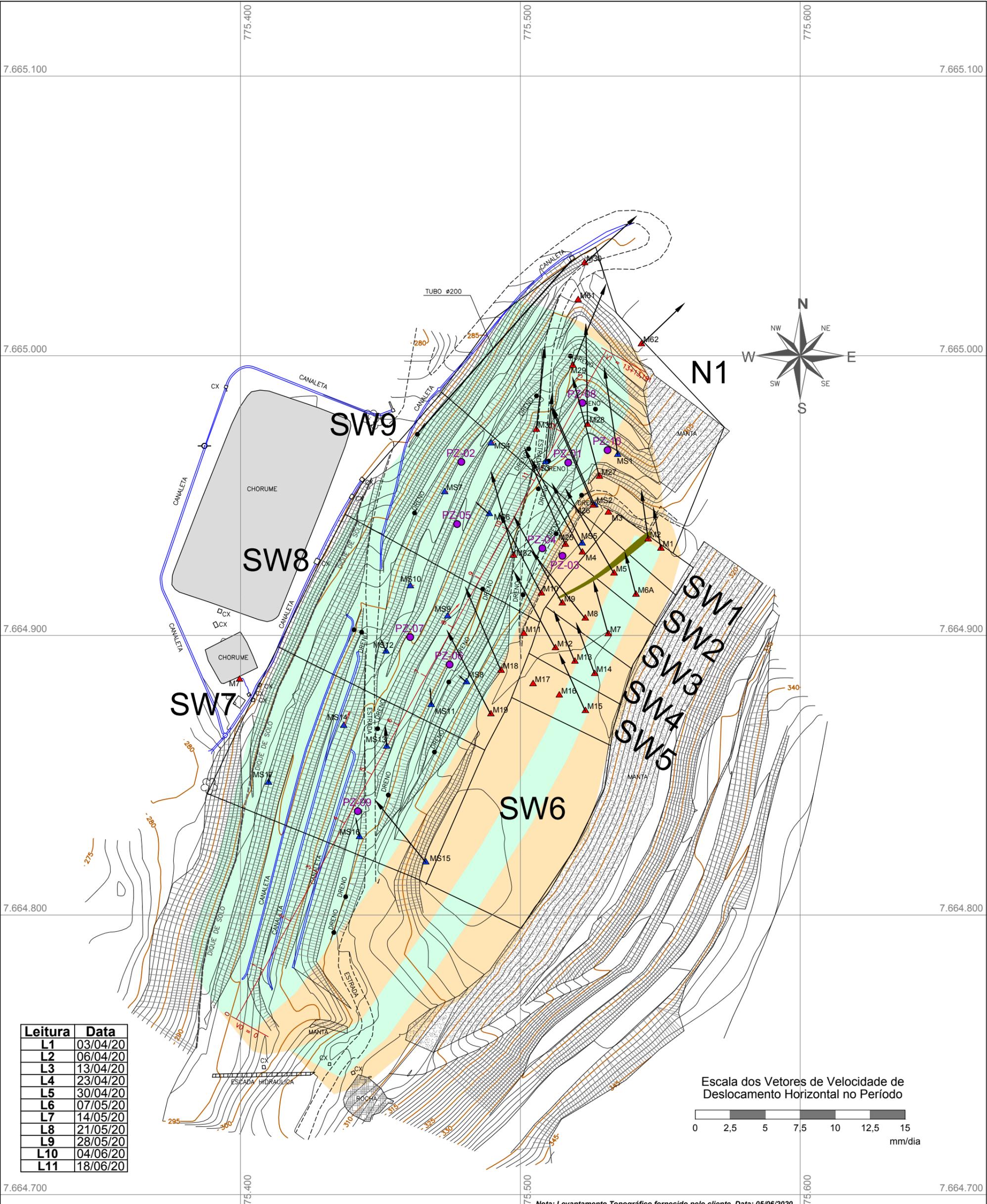
DEP. MUN. DE SANEAMENTO URBANO

GEOTECNIA AMBIENTAL  
 CONSULTORIA E PROJETOS  
 Tel. (011) 3742-0804  
 www.geotech.srv.br

Projeto de Monitoramento Geotécnico, Instalação Geotécnica e Laudo de Estabilidade do Aterro Sanitário de Muriae - MG

ENG.:	Vetores de Deslocamento Horizontal no intervalo de leituras L9-L10		
MARCELO BENVENUTO	ESC.:	DATA:	REV:
FOLHA Nº	10/13	1:1.250	Junho de 2020
			0

Z:\Tecnico\2020\PM Muriae\Atas\Marco\Proj\PRE-MGT-C-1\TOP-A-11.dwg, 11/02/2020 19:29:53  
ISO full bleed A3 (297,00 x 420,00 MM), 1



Leitura	Data
L1	03/04/20
L2	06/04/20
L3	13/04/20
L4	23/04/20
L5	30/04/20
L6	07/05/20
L7	14/05/20
L8	21/05/20
L9	28/05/20
L10	04/06/20
L11	18/06/20

Escala dos Vetores de Velocidade de Deslocamento Horizontal no Período  
0 2,5 5 7,5 10 12,5 15 mm/dia

Nota: Levantamento Topográfico fornecido pelo cliente. Data: 05/06/2020.

LEGENDA	
	333 Curvas de Nivel
	M19 Marcos Superficiais Existentes
	MS14 Marcos Superficiais Geotech
	SW-4 Setorização do Aterro
	MS-00 Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Normal (x,y)
	MS-00 Vetor de Deslocamento Horizontal - Comportamento Direcional Contra o Talude (x,y)

LEGENDA	
	Berma / Platô de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Taludes de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Região com ocorrência de trincas no platô superior do aterro
	PZ-07 Piezômetros Tipo Geotech

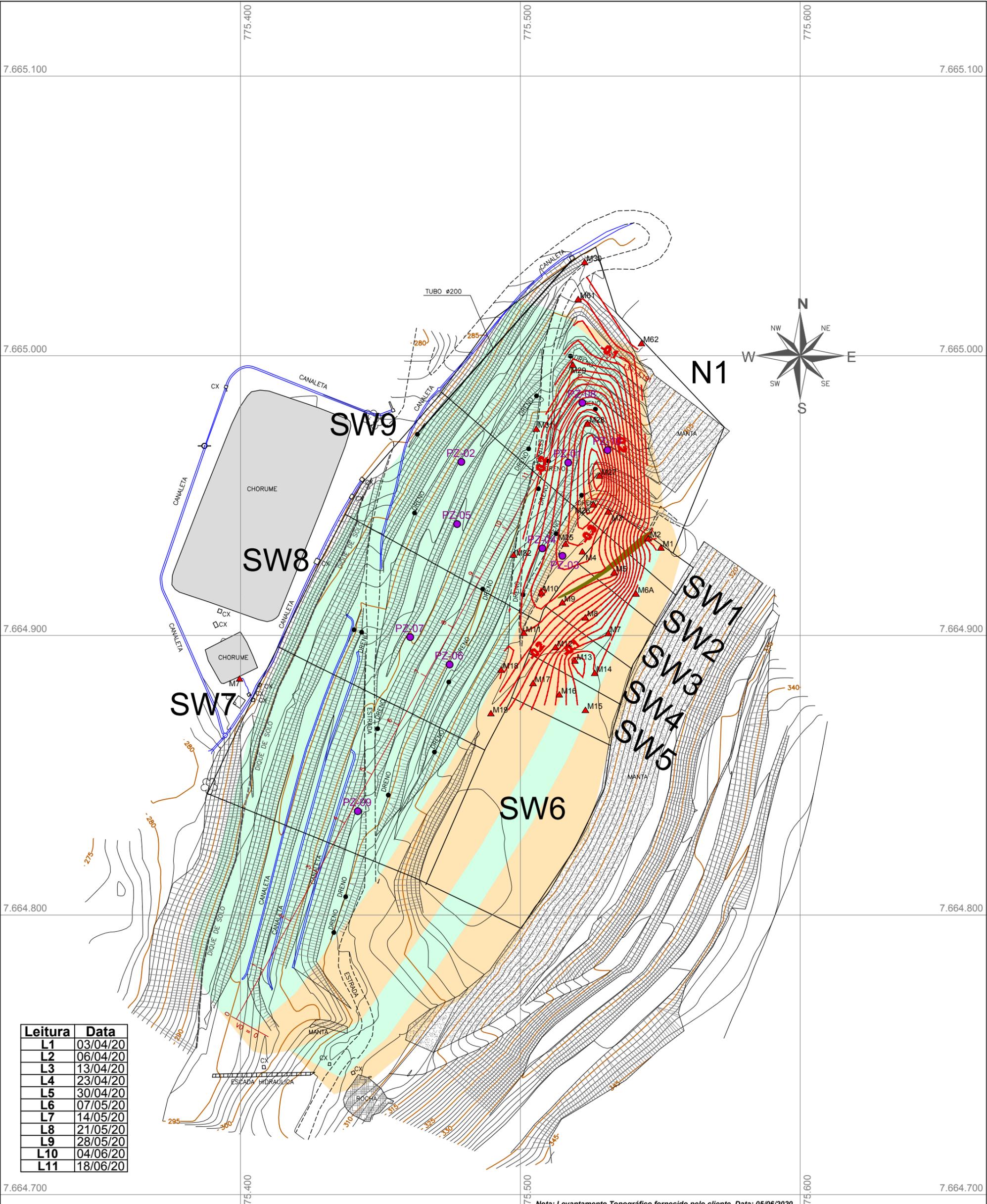
DEP. MUN. DE SANEAMENTO URBANO

**GEOTECH**  
 GEOTECNIA AMBIENTAL  
 CONSULTORIA E PROJETOS  
 Tel. (011) 3742-0804  
 www.geotech.srv.br

Projeto de Monitoramento Geotécnico, Instalação Geotécnica e Laudo de Estabilidade do Aterro Sanitário de Muriae - MG

ENG.:	Vetores de Deslocamento Horizontal no intervalo de leituras L10-L11		
MARCELO BENVENUTO	ESC.:	DATA:	REV:
FOLHA Nº	11/13	1:1.250	Junho de 2020
			0

Z:\Tecnico\2020\PM Muriae\Atas\Marco\Proj\REF-MRE-MGT-C1-OP-A-11.dwg, 12/02/2020 19:29:53  
ISO full bleed A3 (297,00 x 420,00 MM), 1



Leitura	Data
L1	03/04/20
L2	06/04/20
L3	13/04/20
L4	23/04/20
L5	30/04/20
L6	07/05/20
L7	14/05/20
L8	21/05/20
L9	28/05/20
L10	04/06/20
L11	18/06/20

Nota: Levantamento Topográfico fornecido pelo cliente. Data: 05/06/2020.

LEGENDA	
	Curvas de Nível
	Marcos Superficiais Existentes
	Piezômetros Tipo Geotech
	Setorização do Aterro
	Região com ocorrência de trincas no platô superior do aterro
	Curvas de Isothermal - intervalo de leituras L2-L11

LEGENDA	
	Berma / Platô de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Taludes de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)

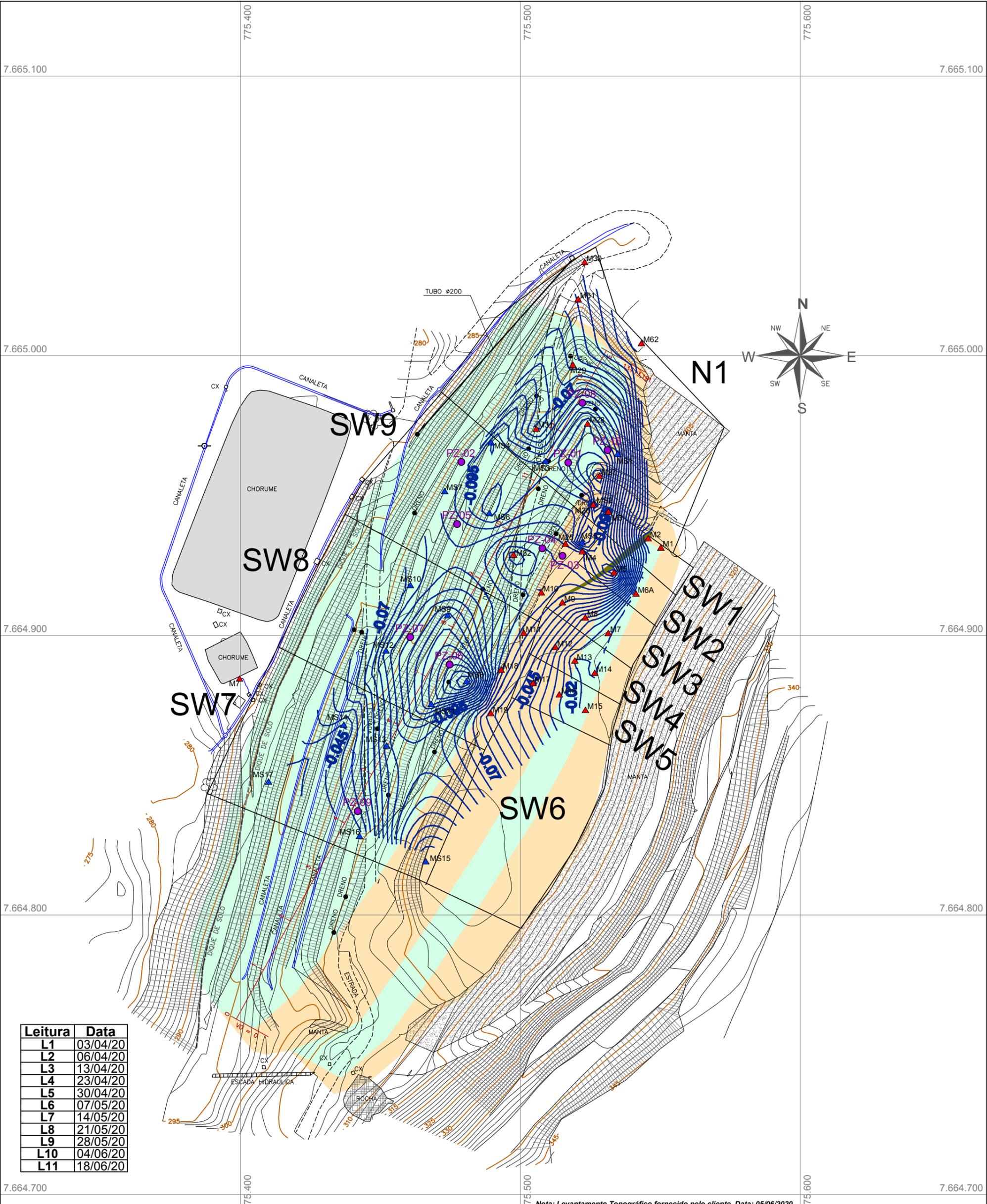
DEP. MUN. DE SANEAMENTO URBANO

**GEOTECH**  
GEOTECNIA AMBIENTAL  
CONSULTORIA E PROJETOS  
Tel. (011) 3742-0804  
www.geotech.srv.br

Projeto de Monitoramento Geotécnico, Instalação Geotécnica e Laudo de Estabilidade do Aterro Sanitário de Muriae - MG

ENG.: MARCELO BENVENUTO	Mapa de Curvas de Isothermal Intervalo de Leituras L2-L11		
FOLHA Nº 12/13	ESC.: 1:1.250	DATA: Junho de 2020	REV: 0

Z:\Tecnico\2020\PM Muriae\Atas\Marco\Proj\REF-MRE-MGT-C-TOP-A-11.dwg - 13/02/2020 19:29:41  
ISO full bleed A3 (297,00 x 420,00 MM), 1



Leitura	Data
L1	03/04/20
L2	06/04/20
L3	13/04/20
L4	23/04/20
L5	30/04/20
L6	07/05/20
L7	14/05/20
L8	21/05/20
L9	28/05/20
L10	04/06/20
L11	18/06/20

Nota: Levantamento Topográfico fornecido pelo cliente. Data: 05/06/2020.

LEGENDA	
	Curvas de Nível
	Marcos Superficiais Existentes
	Piezômetros Tipo Geotech
	Setorização do Aterro
	Região com ocorrência de trincas no platô superior do aterro
	Curvas de Isorescalque - intervalo de leituras L9-L11

LEGENDA	
	Berma / Platô de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Taludes de Escavação (Relatório e Plano de Controle Ambiental 2010)
	Piezômetros Tipo Geotech

DEP. MUN. DE SANEAMENTO URBANO

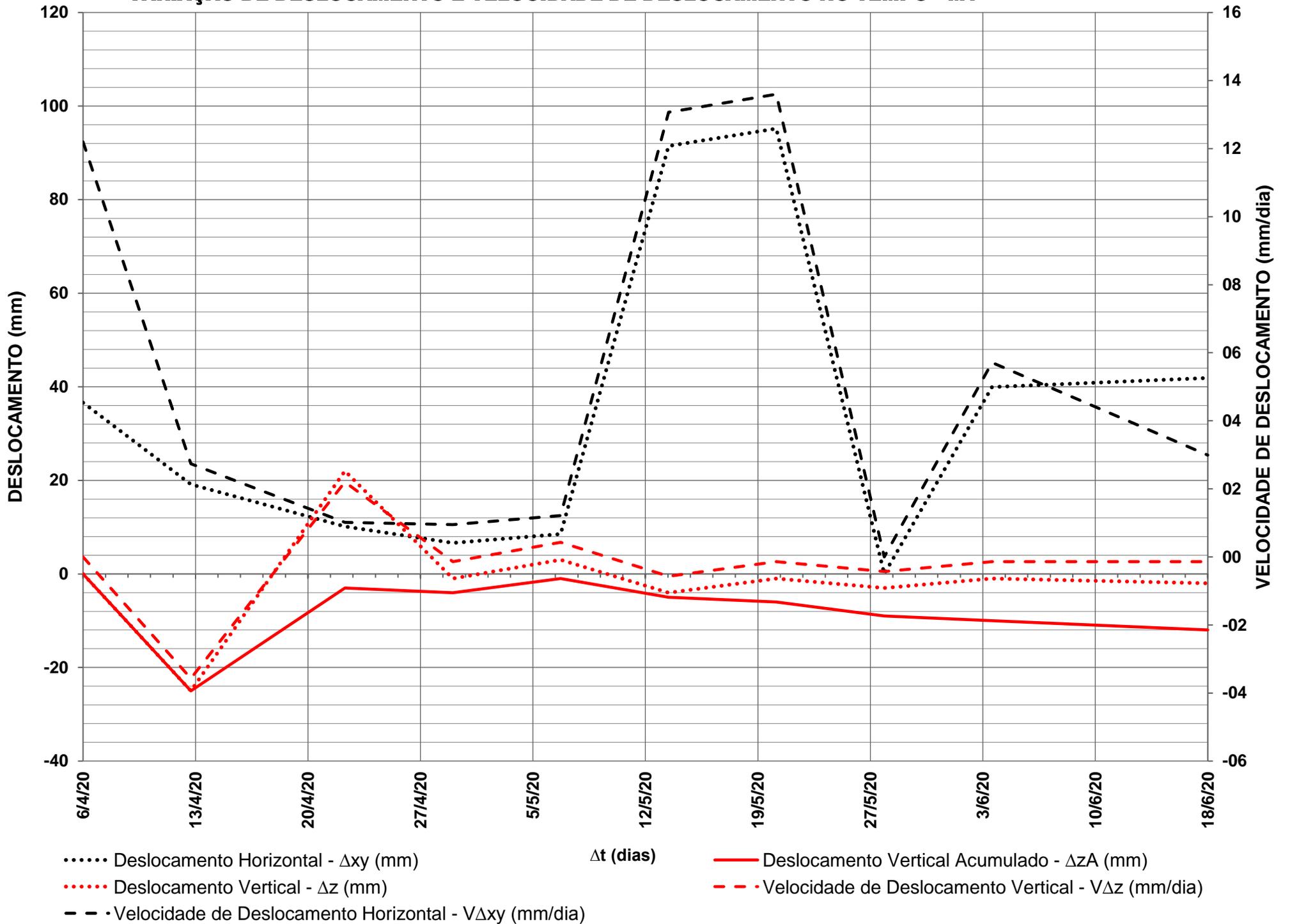
**GEOTECH**  
 GEOTECNIA AMBIENTAL  
 CONSULTORIA E PROJETOS  
 Tel. (011) 3742-0804  
 www.geotech.srv.br

Projeto de Monitoramento Geotécnico, Instalação Geotécnica e Laudo de Estabilidade do Aterro Sanitário de Muriae - MG

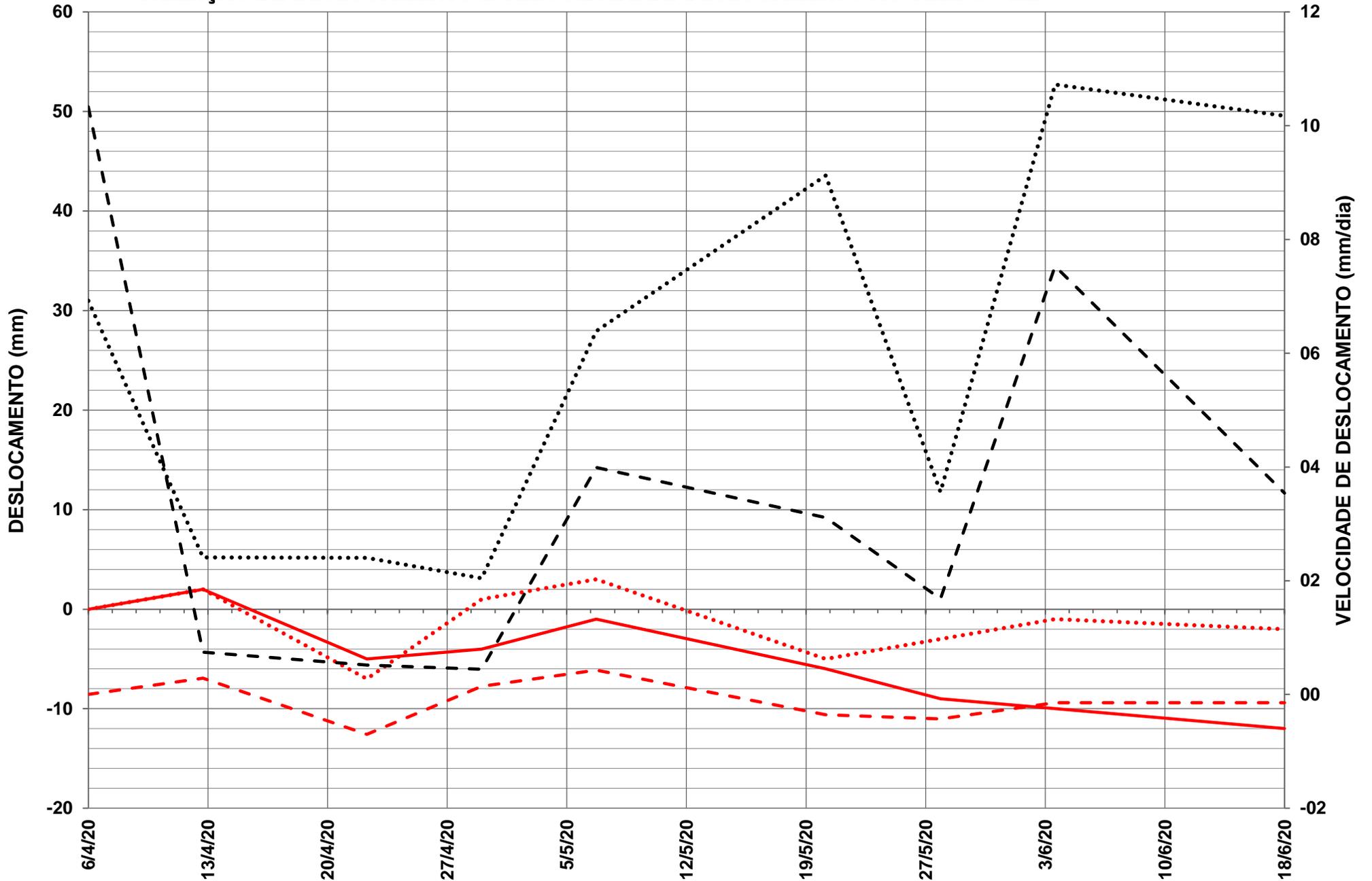
ENG.:	Mapa de Curvas de Isorescalque Intervalo de Leituras L9-L11		
MARCELO BENVENUTO	ESC.:	DATA:	REV:
FOLHA Nº	13/13	1:1.250	Junho de 2020
			0

**Anexo II - Gráficos de Deslocamentos, Velocidade dos Deslocamentos, Recalques e  
Velocidade dos Recalques dos Marcos Superficiais**

# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M1



# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M2



..... Deslocamento Horizontal -  $\Delta xy$  (mm)

..... Deslocamento Vertical -  $\Delta z$  (mm)

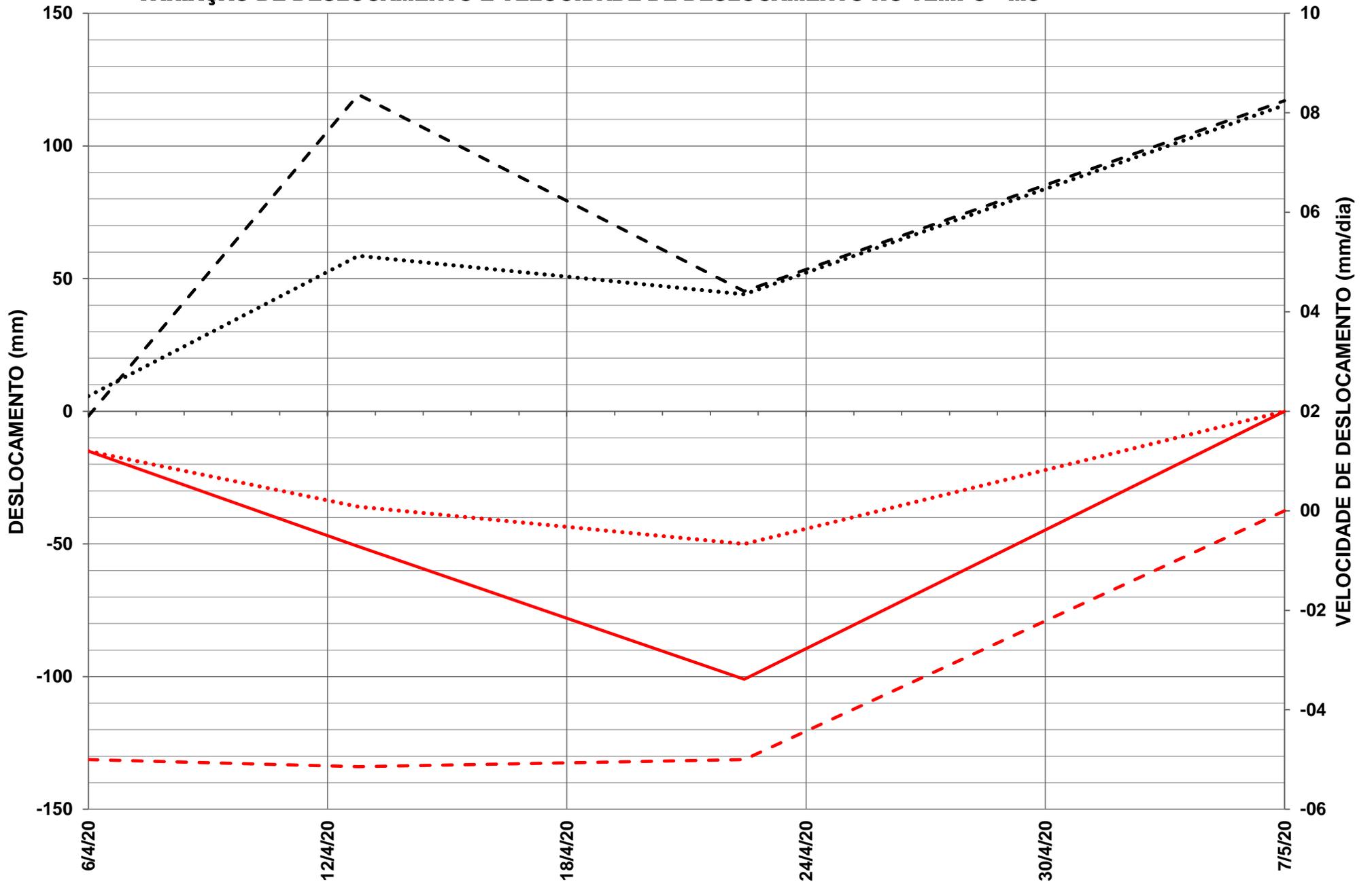
- - - - - Velocidade de Deslocamento Horizontal -  $V\Delta xy$  (mm/dia)

$\Delta t$  (dias)

————— Deslocamento Vertical Acumulado -  $\Delta zA$  (mm)

- - - - - Velocidade de Deslocamento Vertical -  $V\Delta z$  (mm/dia)

### VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M3



..... Deslocamento Horizontal -  $\Delta xy$  (mm)

..... Deslocamento Vertical -  $\Delta z$  (mm)

- - - Velocidade de Deslocamento Horizontal -  $V\Delta xy$  (mm/dia)

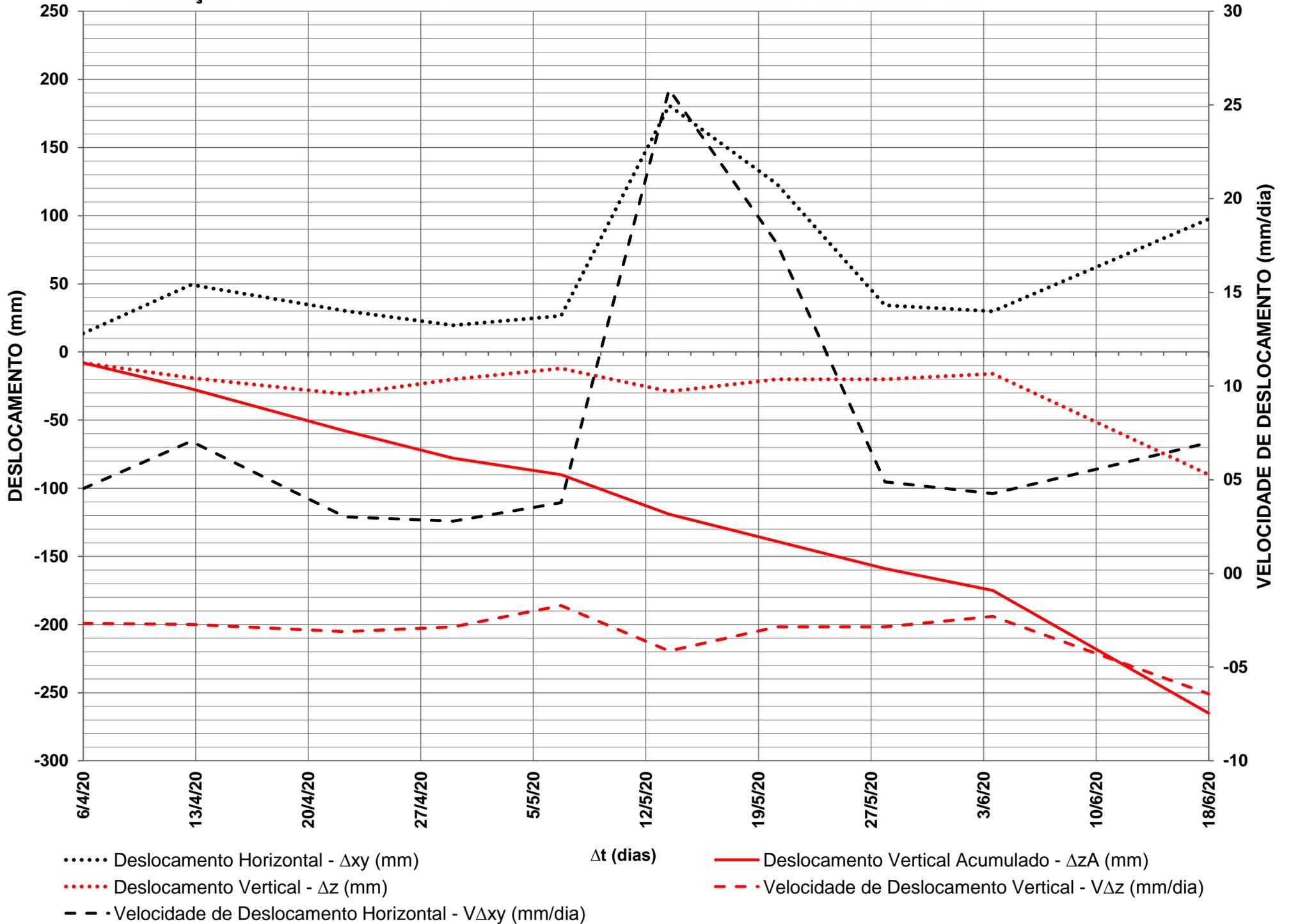
$\Delta t$  (dias)

..... Deslocamento Vertical Acumulado -  $\Delta zA$  (mm)

- - - Velocidade de Deslocamento Vertical -  $V\Delta z$  (mm/dia)



# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M5



# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M6



..... Deslocamento Horizontal -  $\Delta xy$  (mm)

..... Deslocamento Vertical -  $\Delta z$  (mm)

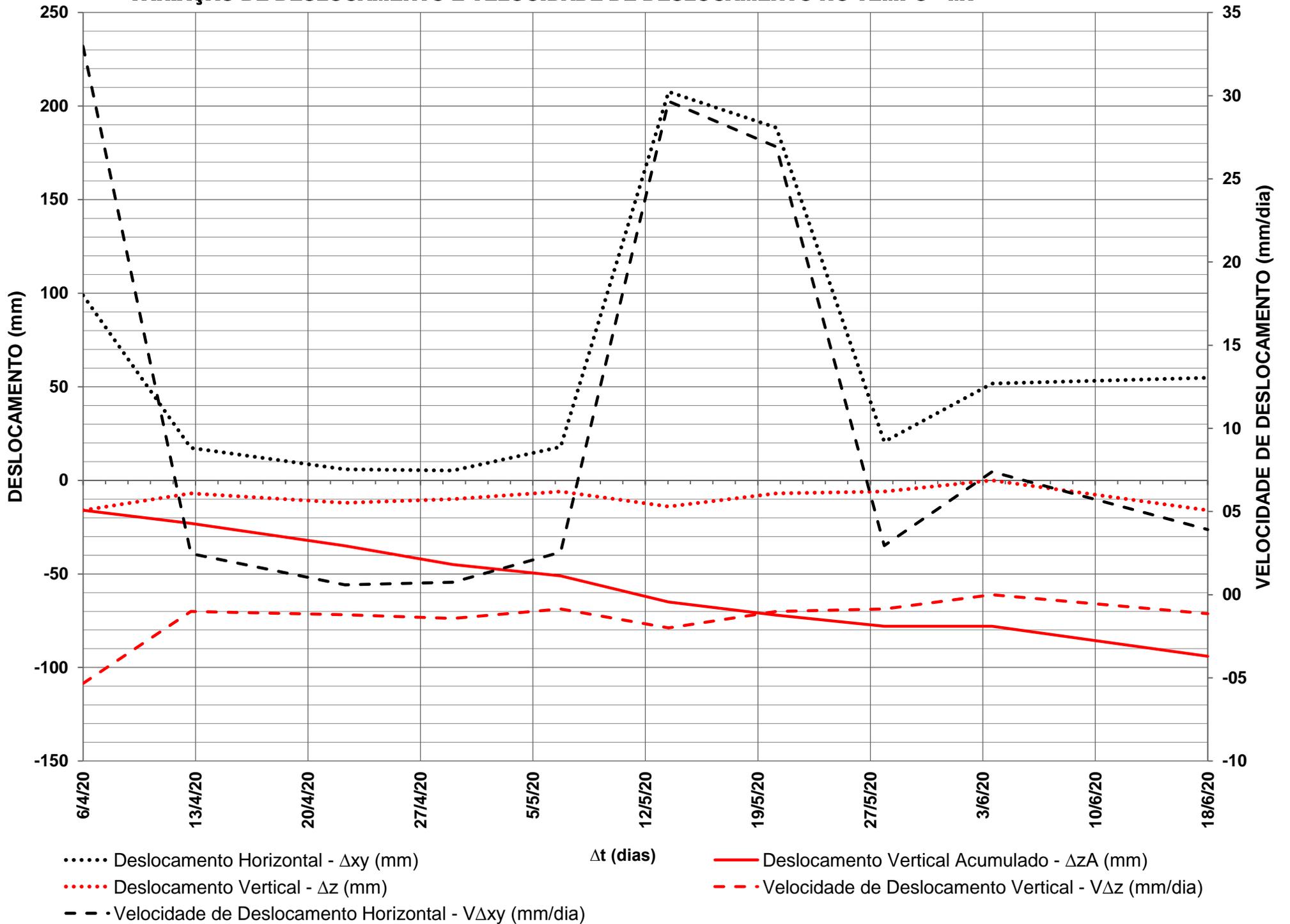
- - - Velocidade de Deslocamento Horizontal -  $V\Delta xy$  (mm/dia)

$\Delta t$  (dias)

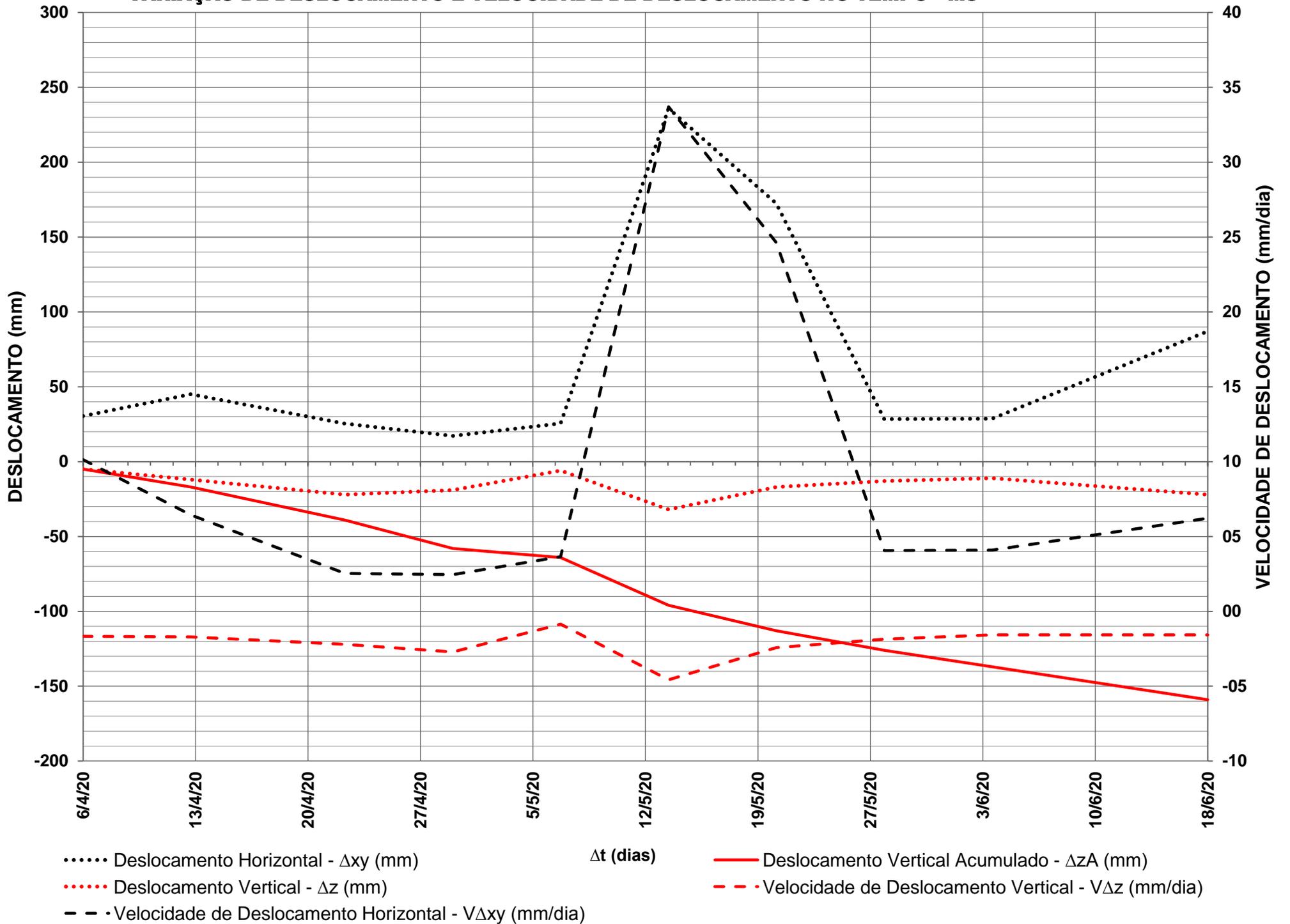
..... Deslocamento Vertical Acumulado -  $\Delta zA$  (mm)

- - - Velocidade de Deslocamento Vertical -  $V\Delta z$  (mm/dia)

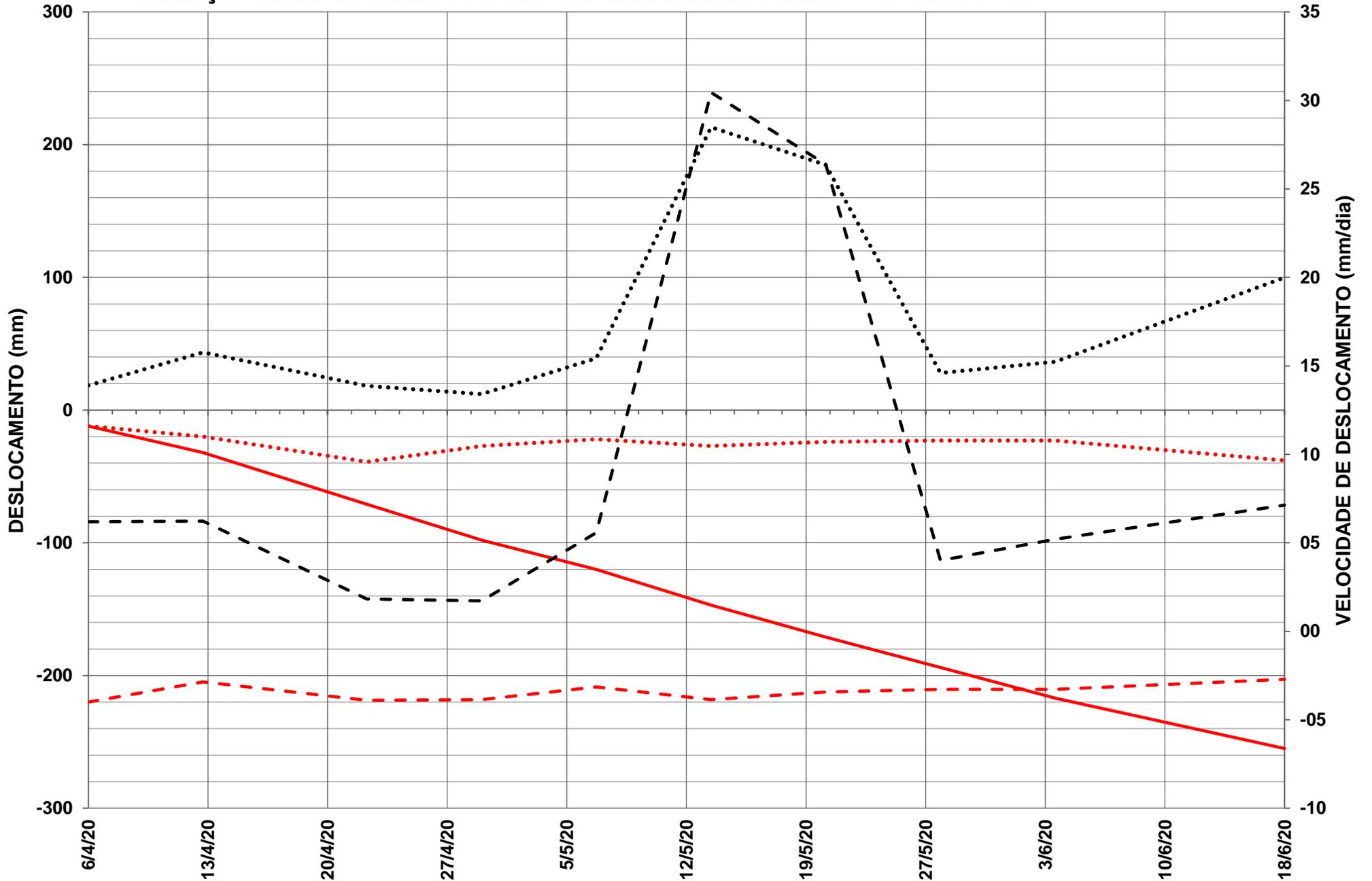
# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M7



# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M8



# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M9



..... Deslocamento Horizontal -  $\Delta xy$  (mm)

..... Deslocamento Vertical -  $\Delta z$  (mm)

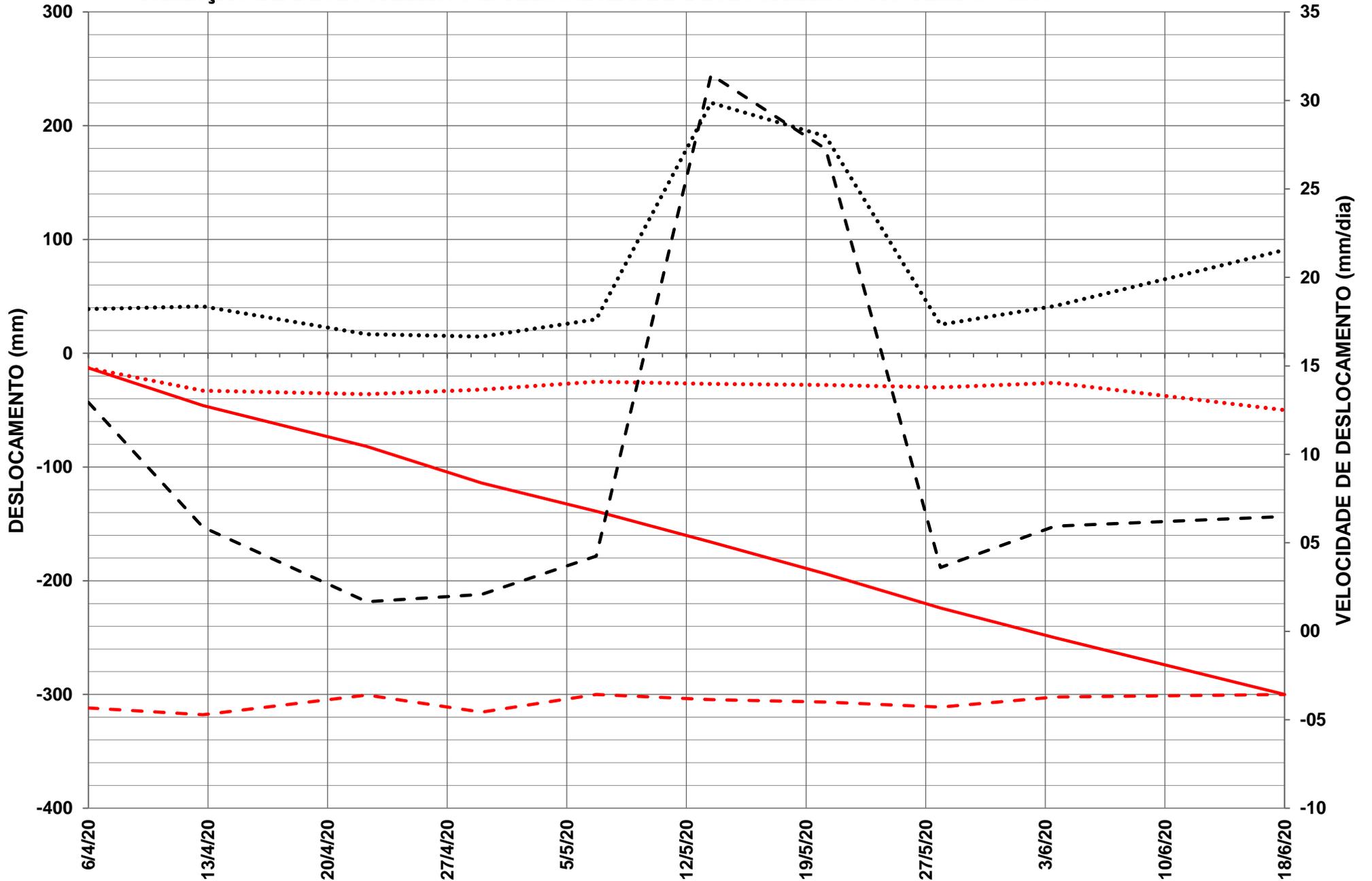
- - - - - Velocidade de Deslocamento Horizontal -  $V\Delta xy$  (mm/dia)

$\Delta t$  (dias)

————— Deslocamento Vertical Acumulado -  $\Delta zA$  (mm)

- - - - - Velocidade de Deslocamento Vertical -  $V\Delta z$  (mm/dia)

# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M10



..... Deslocamento Horizontal -  $\Delta xy$  (mm)

..... Deslocamento Vertical -  $\Delta z$  (mm)

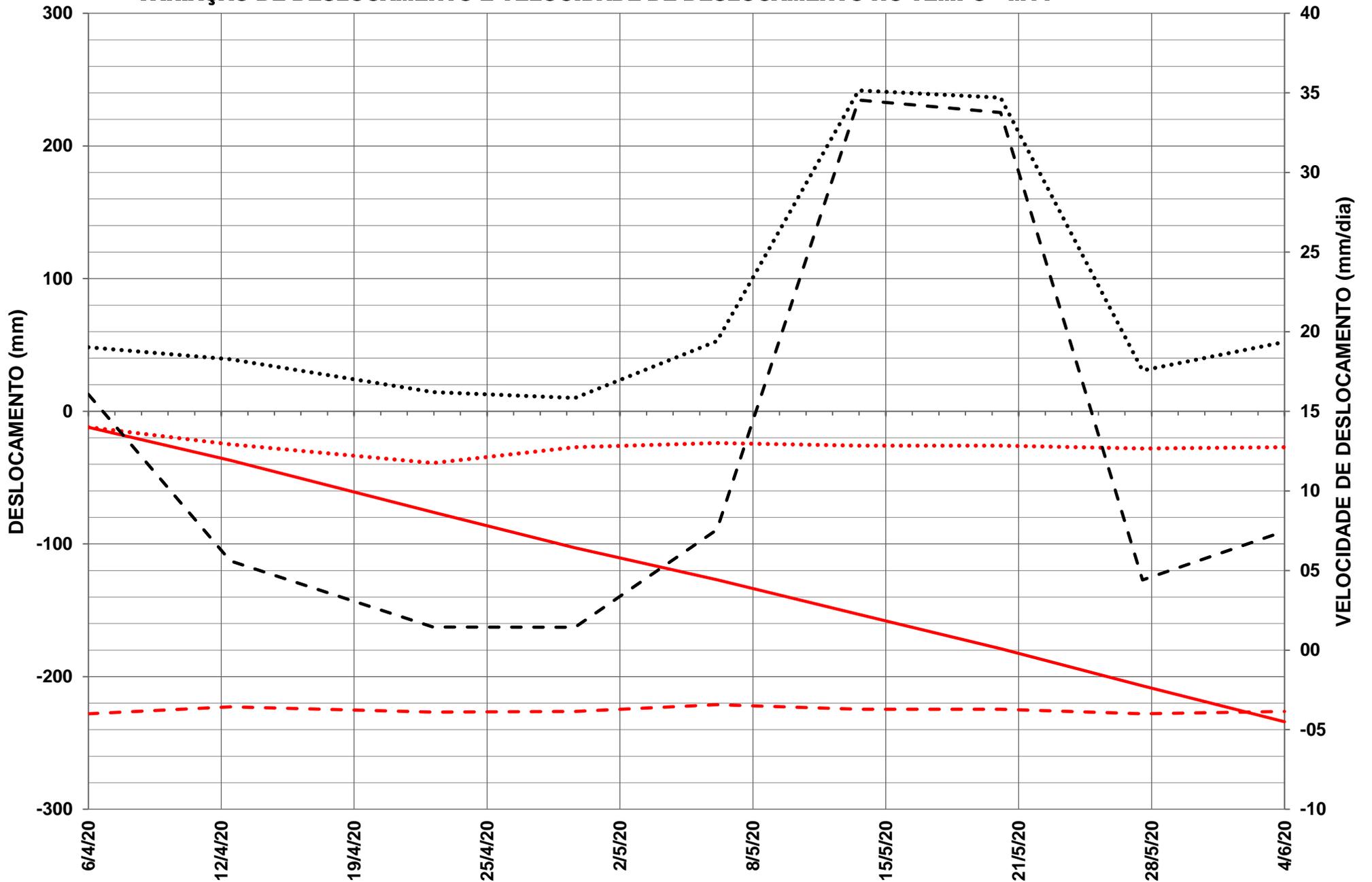
- - - Velocidade de Deslocamento Horizontal -  $V\Delta xy$  (mm/dia)

$\Delta t$  (dias)

———— Deslocamento Vertical Acumulado -  $\Delta zA$  (mm)

- - - Velocidade de Deslocamento Vertical -  $V\Delta z$  (mm/dia)

# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M11



..... Deslocamento Horizontal -  $\Delta xy$  (mm)

$\Delta t$  (dias)

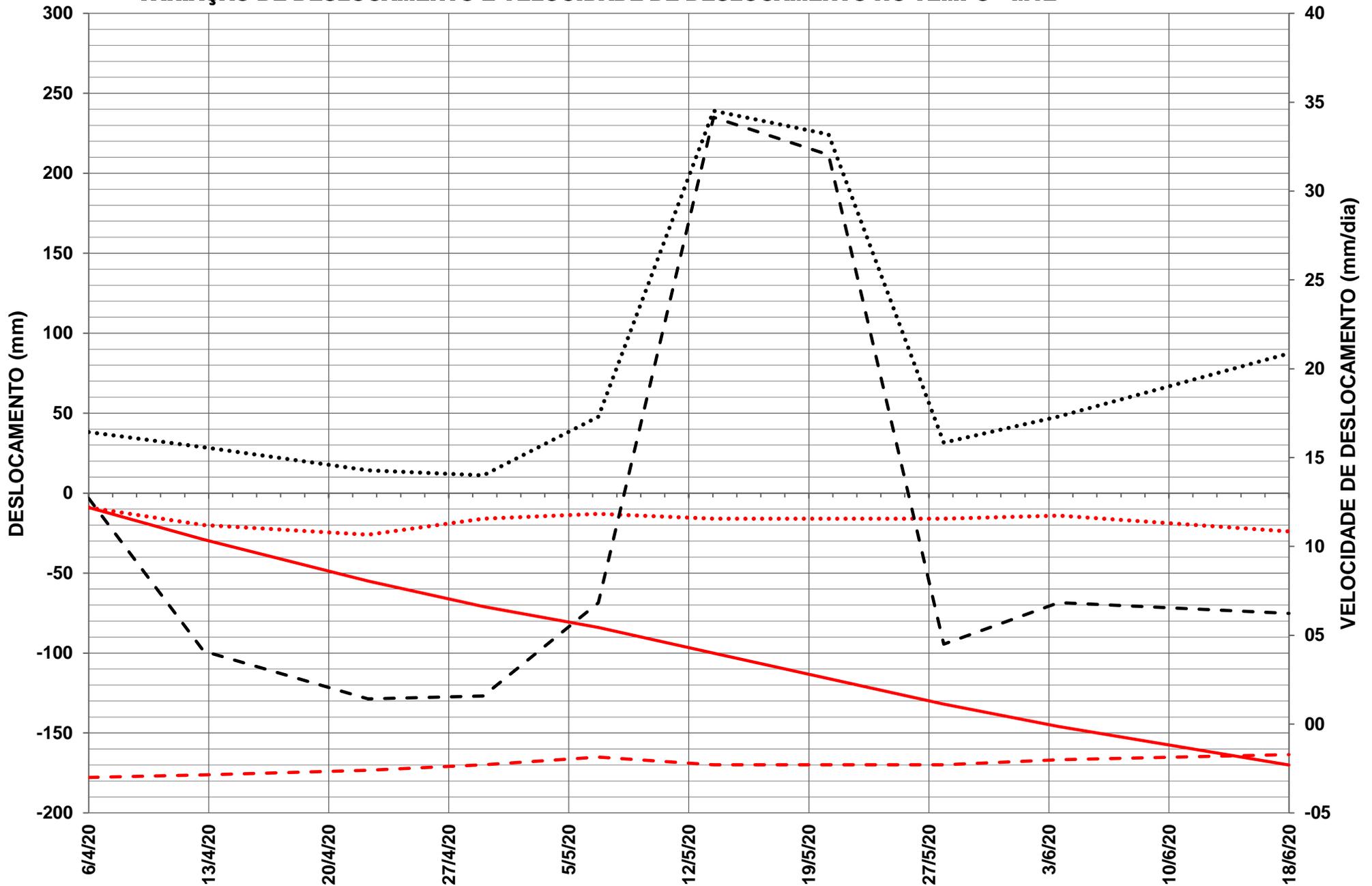
—— Deslocamento Vertical Acumulado -  $\Delta zA$  (mm)

..... Deslocamento Vertical -  $\Delta z$  (mm)

- . - . Velocidade de Deslocamento Vertical -  $V\Delta z$  (mm/dia)

- - - Velocidade de Deslocamento Horizontal -  $V\Delta xy$  (mm/dia)

# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M12



..... Deslocamento Horizontal -  $\Delta xy$  (mm)

..... Deslocamento Vertical -  $\Delta z$  (mm)

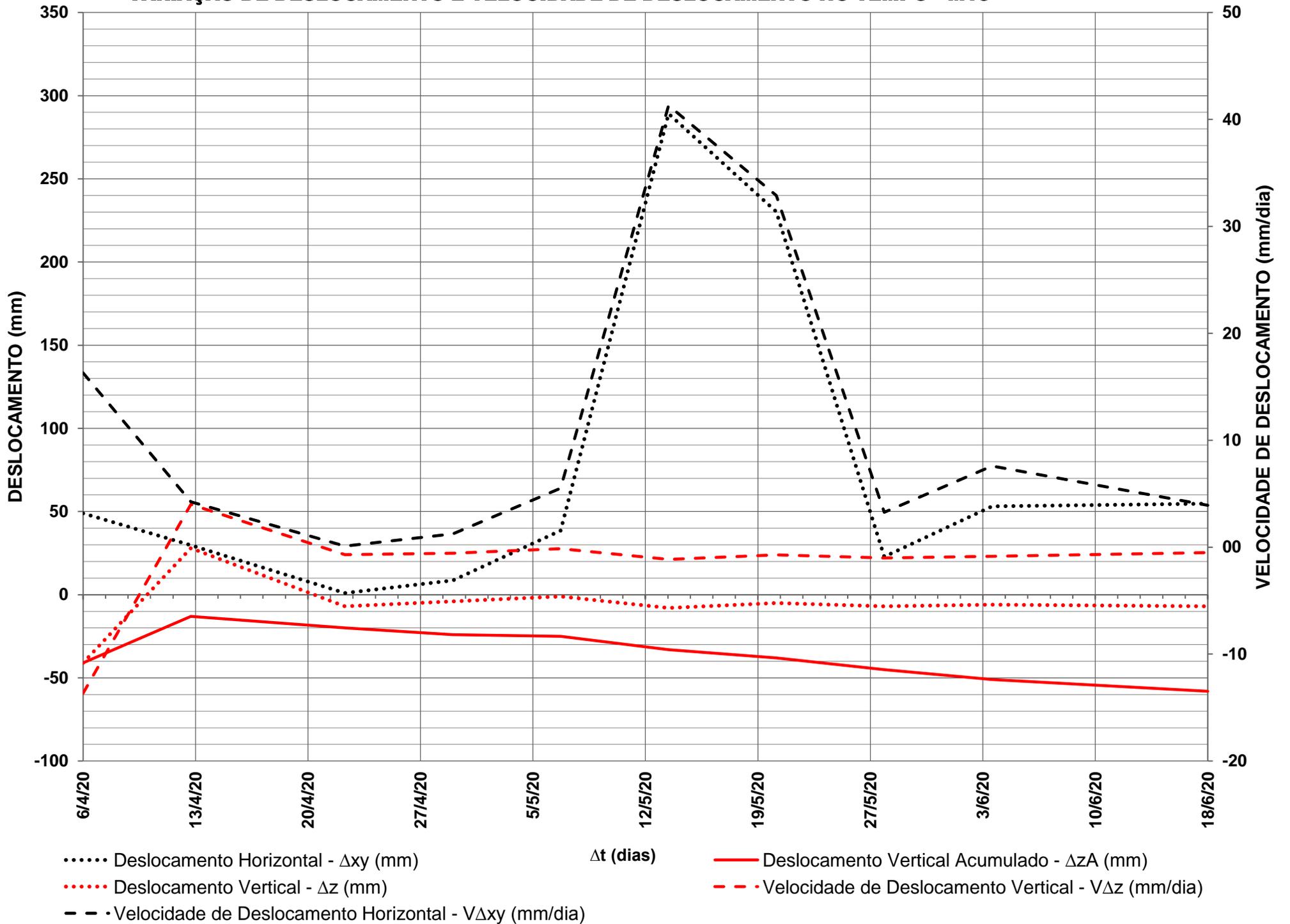
- - - - - Velocidade de Deslocamento Horizontal -  $V\Delta xy$  (mm/dia)

$\Delta t$  (dias)

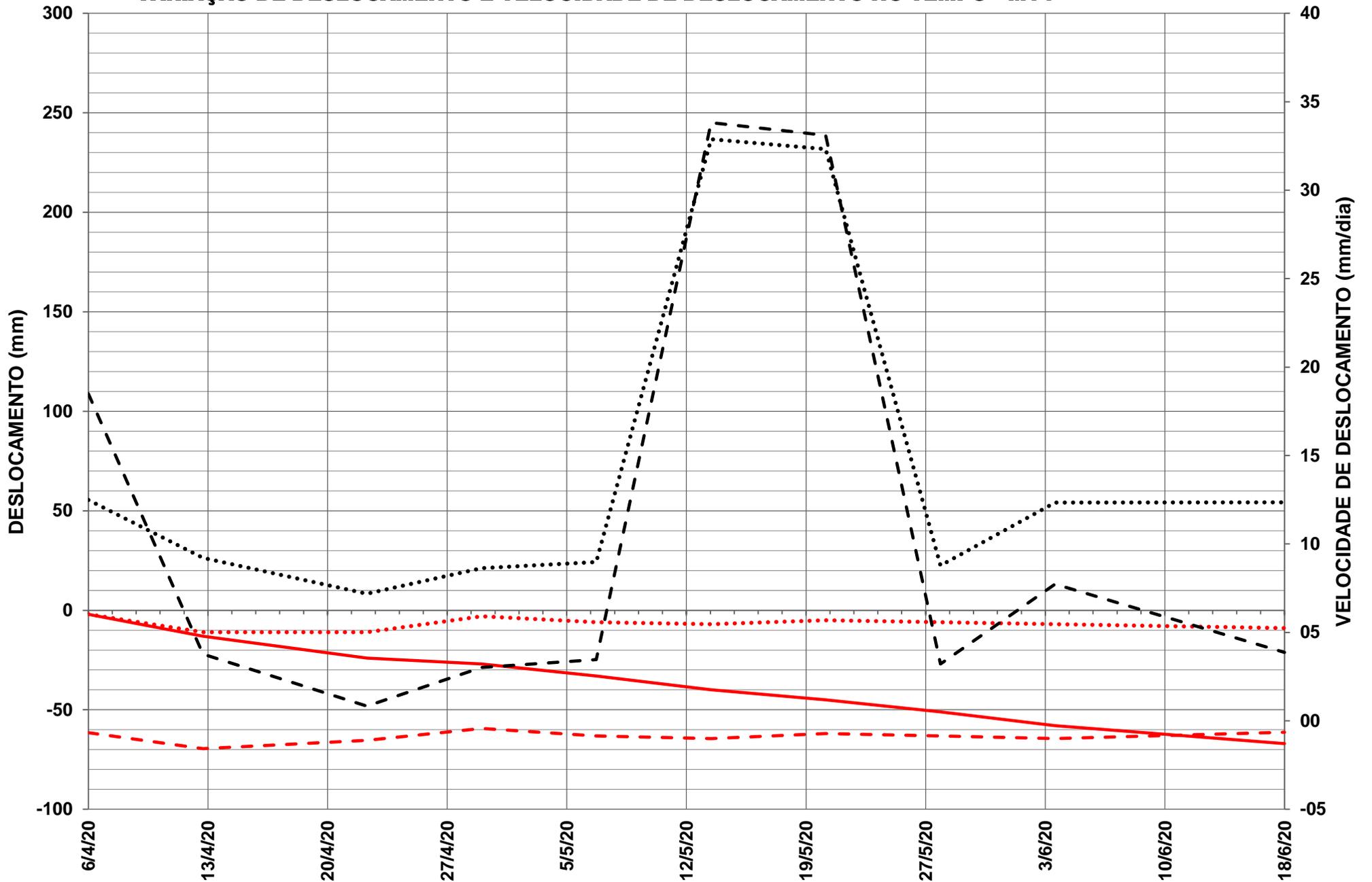
..... Deslocamento Vertical Acumulado -  $\Delta zA$  (mm)

- - - - - Velocidade de Deslocamento Vertical -  $V\Delta z$  (mm/dia)

# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M13



# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M14



..... Deslocamento Horizontal -  $\Delta xy$  (mm)

..... Deslocamento Vertical -  $\Delta z$  (mm)

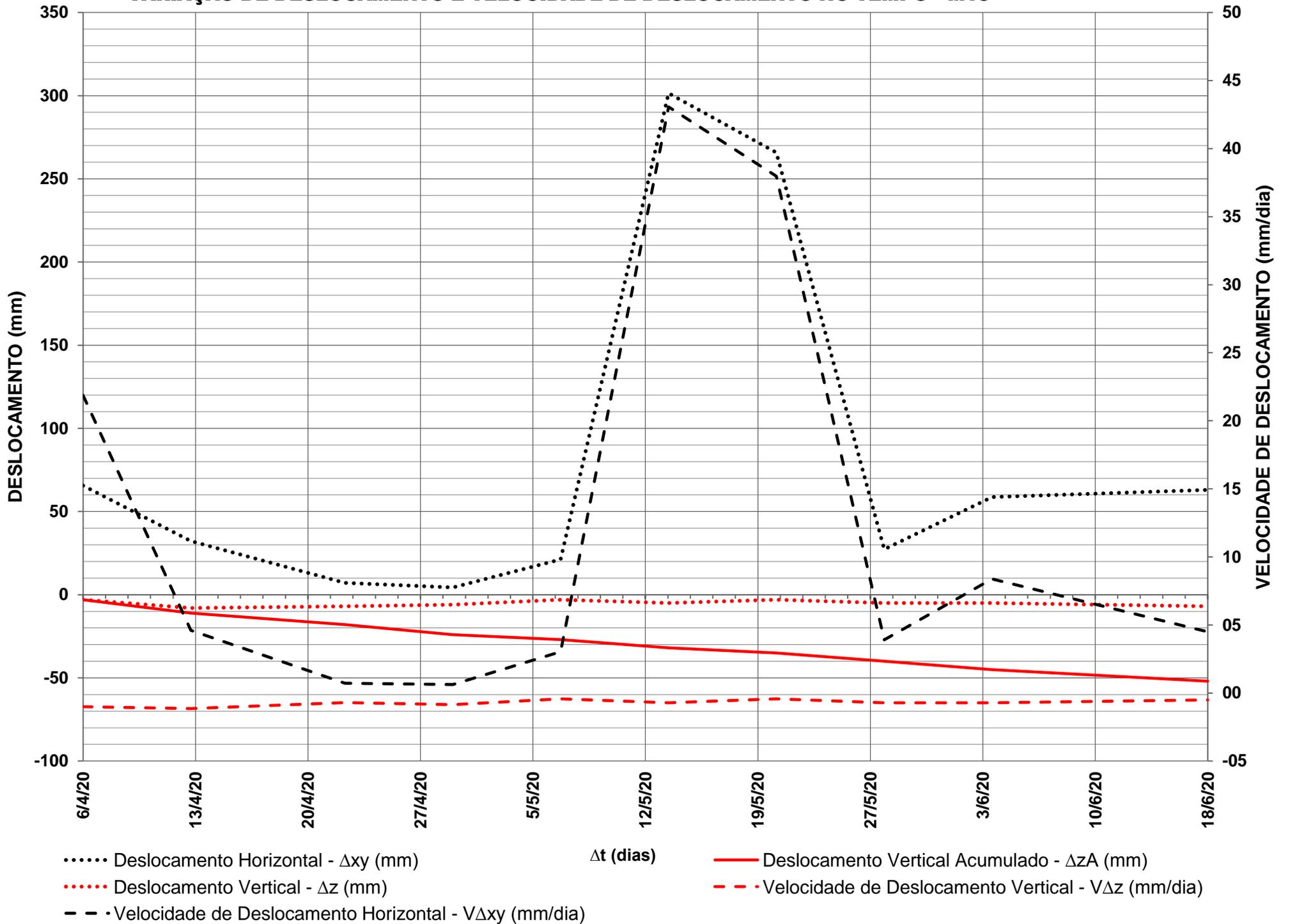
- - - Velocidade de Deslocamento Horizontal -  $V\Delta xy$  (mm/dia)

$\Delta t$  (dias)

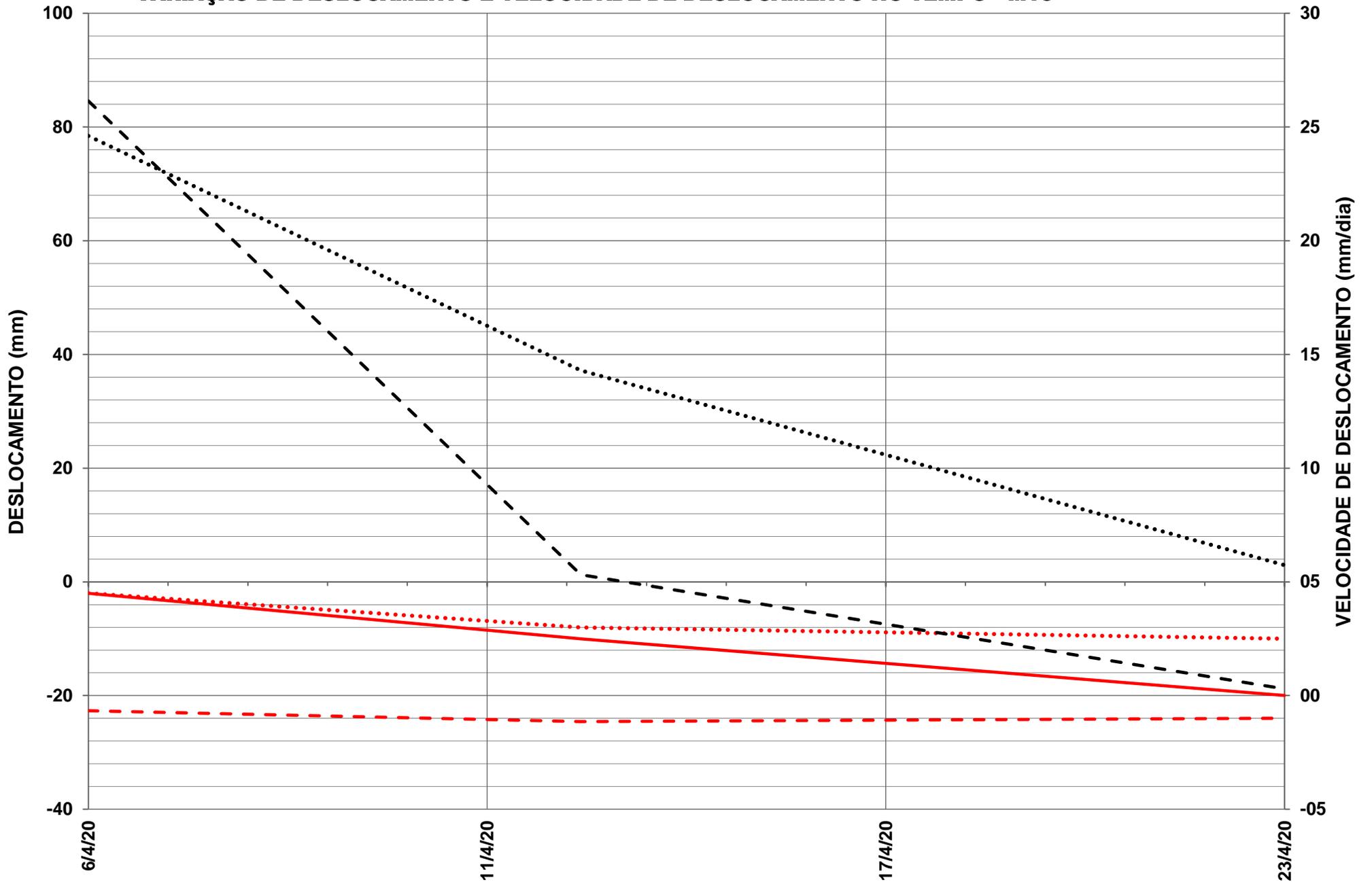
..... Deslocamento Vertical Acumulado -  $\Delta zA$  (mm)

- - - Velocidade de Deslocamento Vertical -  $V\Delta z$  (mm/dia)

# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M15



# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M16



..... Deslocamento Horizontal -  $\Delta xy$  (mm)

..... Deslocamento Vertical -  $\Delta z$  (mm)

- - - Velocidade de Deslocamento Horizontal -  $V\Delta xy$  (mm/dia)

$\Delta t$  (dias)

—— Deslocamento Vertical Acumulado -  $\Delta zA$  (mm)

- - - Velocidade de Deslocamento Vertical -  $V\Delta z$  (mm/dia)

# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M17



..... Deslocamento Horizontal -  $\Delta xy$  (mm)

..... Deslocamento Vertical -  $\Delta z$  (mm)

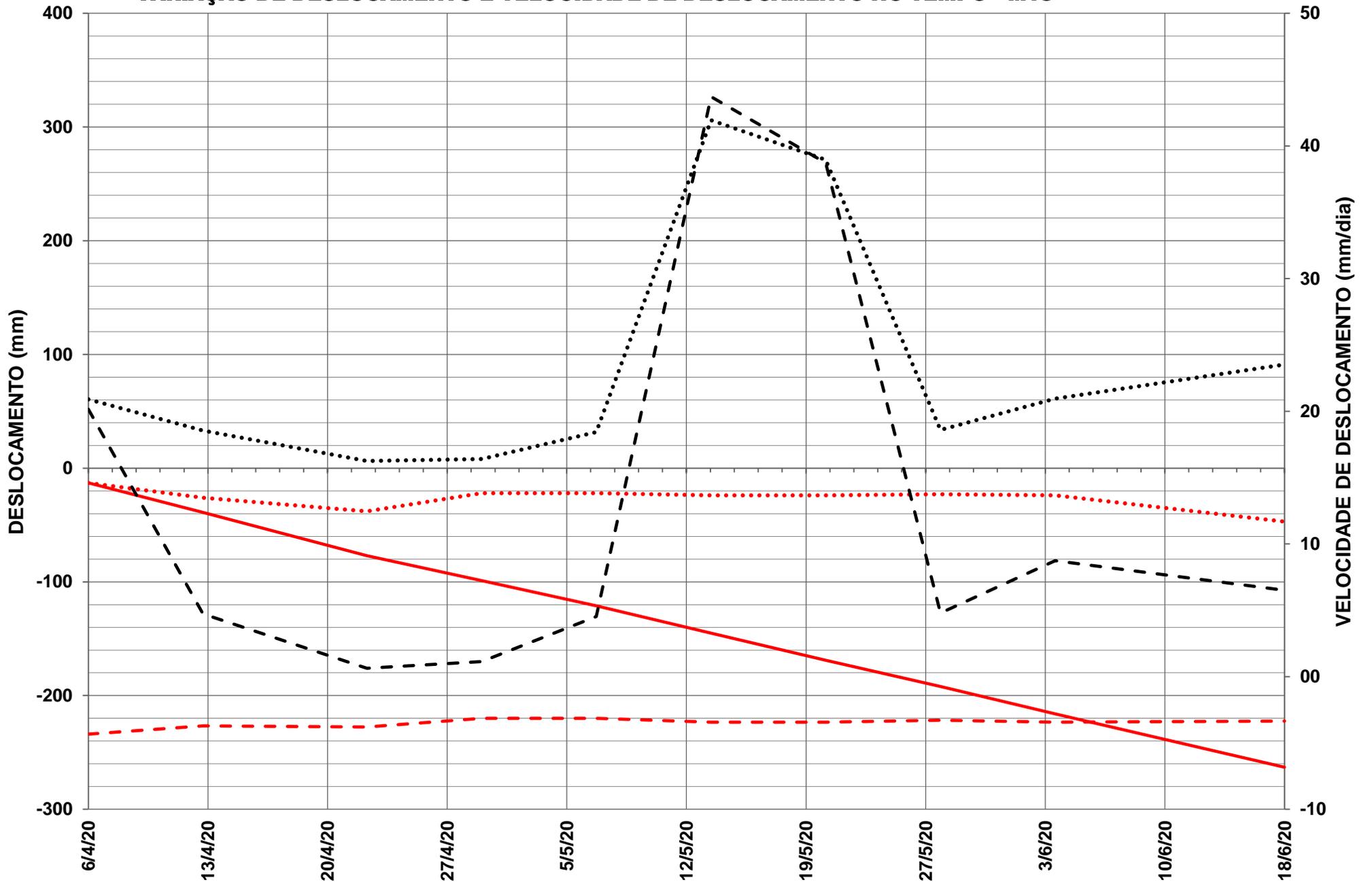
- - - Velocidade de Deslocamento Horizontal -  $V\Delta xy$  (mm/dia)

$\Delta t$  (dias)

..... Deslocamento Vertical Acumulado -  $\Delta zA$  (mm)

- - - Velocidade de Deslocamento Vertical -  $V\Delta z$  (mm/dia)

# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M18



..... Deslocamento Horizontal -  $\Delta xy$  (mm)

..... Deslocamento Vertical -  $\Delta z$  (mm)

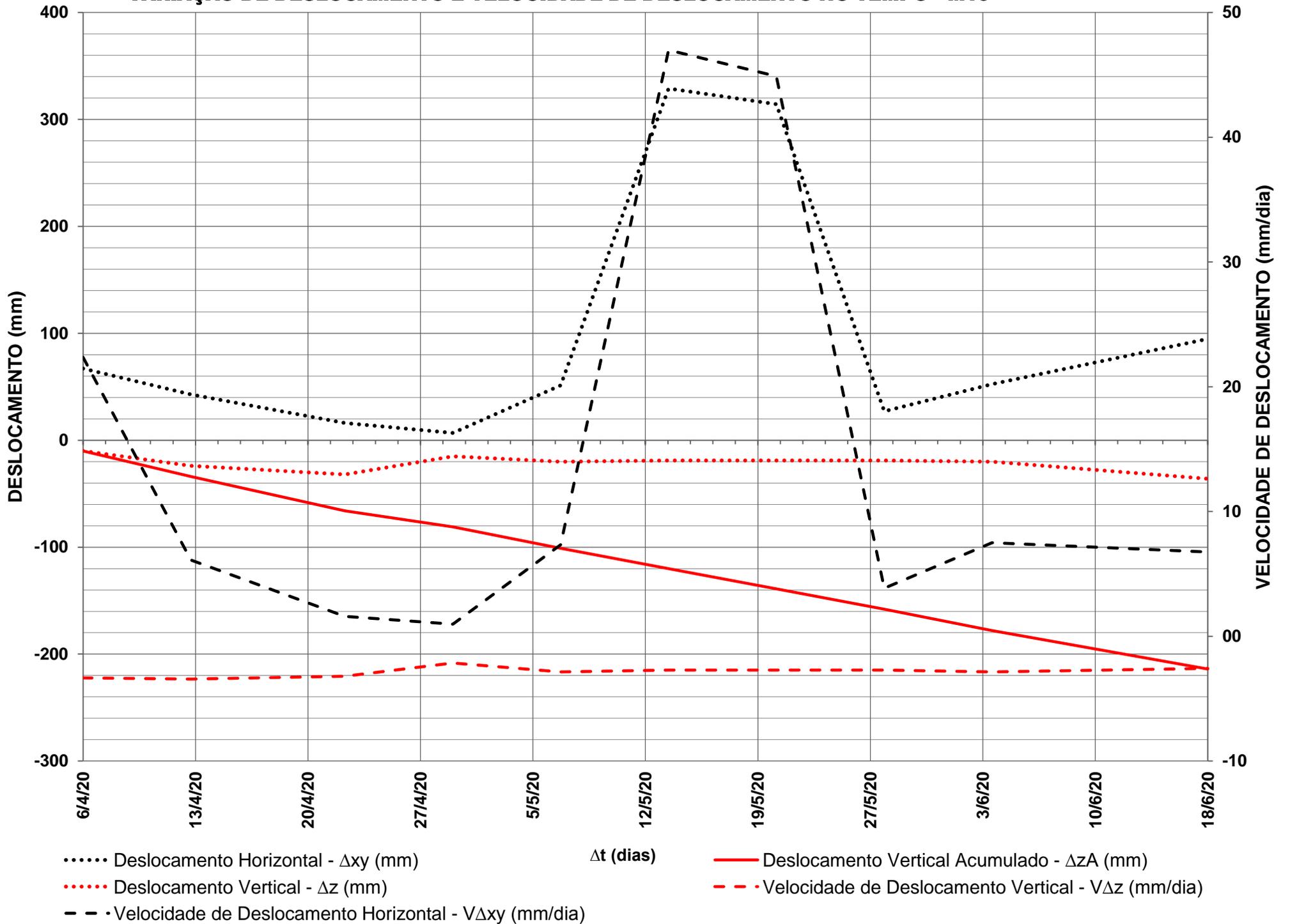
- - - Velocidade de Deslocamento Horizontal -  $V\Delta xy$  (mm/dia)

$\Delta t$  (dias)

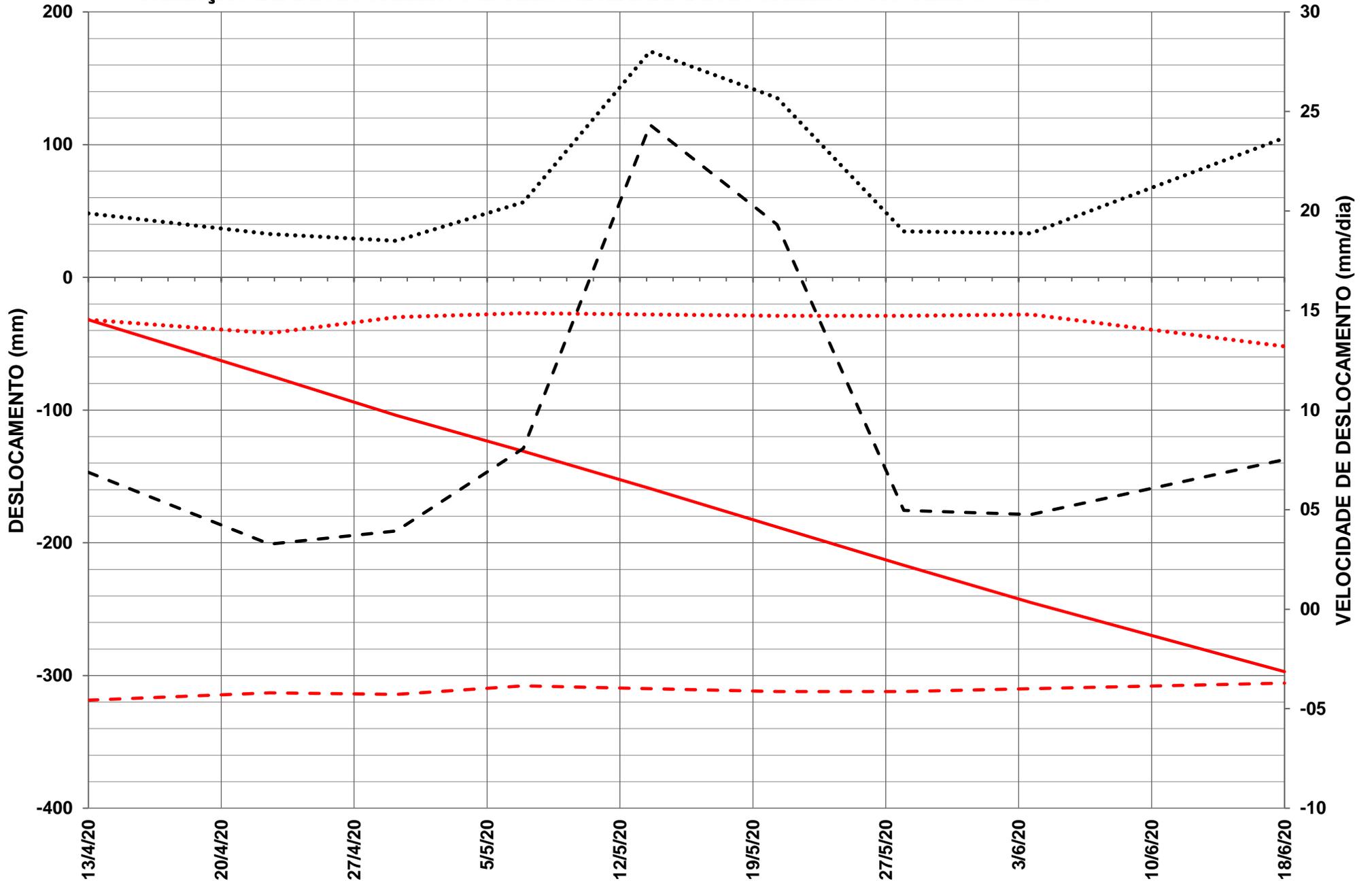
—— Deslocamento Vertical Acumulado -  $\Delta zA$  (mm)

- - - Velocidade de Deslocamento Vertical -  $V\Delta z$  (mm/dia)

# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M19



# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M25



..... Deslocamento Horizontal -  $\Delta xy$  (mm)

..... Deslocamento Vertical -  $\Delta z$  (mm)

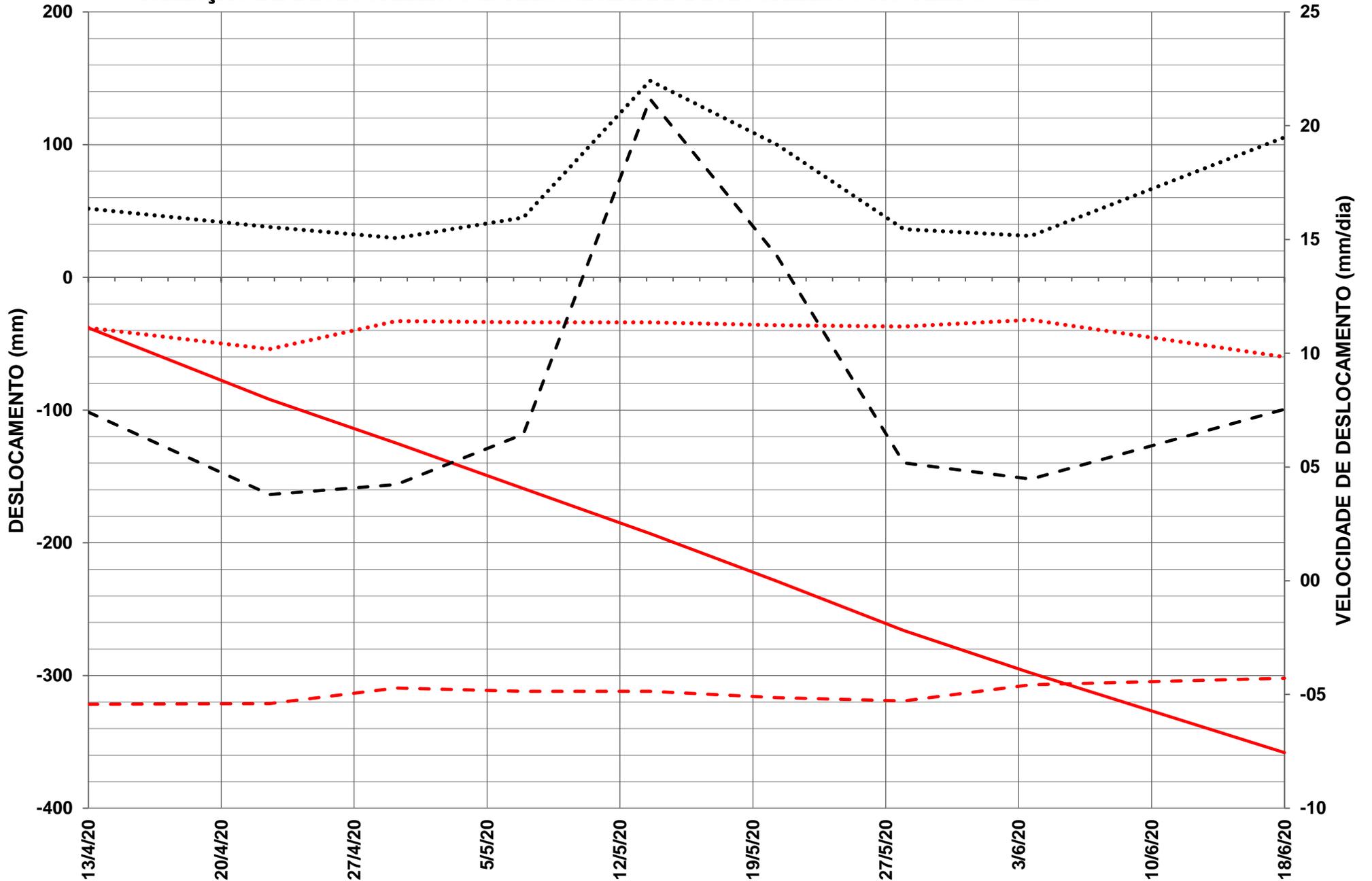
- - - Velocidade de Deslocamento Horizontal -  $V\Delta xy$  (mm/dia)

$\Delta t$  (dias)

—— Deslocamento Vertical Acumulado -  $\Delta zA$  (mm)

- - - Velocidade de Deslocamento Vertical -  $V\Delta z$  (mm/dia)

# VARIAÇÃO DE DESLOCAMENTO E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO NO TEMPO - M26



..... Deslocamento Horizontal -  $\Delta xy$  (mm)

..... Deslocamento Vertical -  $\Delta z$  (mm)

- - - Velocidade de Deslocamento Horizontal -  $V\Delta xy$  (mm/dia)

$\Delta t$  (dias)

——— Deslocamento Vertical Acumulado -  $\Delta zA$  (mm)

- - - Velocidade de Deslocamento Vertical -  $V\Delta z$  (mm/dia)