

# ANÁLISE DE DADOS DE DEFORMAÇÃO A PARTIR DE SENSORES DISTRIBUÍDOS DE FIBRA ÓPTICA INSTALADOS EM UMA ENCOSTA

DEFORMATION DATA ANALYSIS FROM FIBER OPTIC DISTRIBUTED SENSORS INSTALLED IN A NATURAL SLOPE

FABIANA MARTINS DA SILVEIRA<sup>1</sup>, RODRIGO MORAES DA SILVEIRA<sup>1</sup>, MARCELO BURAS<sup>1</sup>,  
ALESSANDRA DE BARROS E SILVA BONGIOLO<sup>2</sup>, ISABELLA FRANÇO SO REBUTINI FIGUEIRA<sup>1</sup>

1 Lactec, Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia. Av. Com. Franco, 1341 - Jardim Botânico, Curitiba – PR. E-mail:

[engebibi@gmail.com](mailto:engebibi@gmail.com); [rodrigo.silveira@lactec.org.br](mailto:rodrigo.silveira@lactec.org.br); [isabella.figueira@lactec.org.br](mailto:isabella.figueira@lactec.org.br)

2 Universidade Federal do Paraná – UFPR, Campus Politécnico, Departamento de Geologia. Av. Cel. Francisco H. dos Santos, s/n - Jardim das Américas, Curitiba – PR. Email: [alebongiolo@ufpr.br](mailto:alebongiolo@ufpr.br)

**Resumo** - O presente trabalho expõe uma metodologia de análise de dados de monitoramento de deformações de uma encosta natural atravessada por um duto pertencente a PETROBRAS, a partir de sensores distribuídos de fibra óptica. A encosta em questão localiza-se na Serra do Mar, município de Morretes (PR), distante a 40 km da cidade de Curitiba (PR) sob as posições geográficas UTM (716.332E - 7.172.000N) e (720.000E - 7.173.000N). Devido a uma ruptura na encosta, o duto sofreu esforços de tração rompendo em fevereiro de 2001. Tal ocorrência resultou no vazamento de aproximadamente 145 m<sup>3</sup> de óleo diesel no meio ambiente. Em agosto de 2014 os institutos Lactec procederam com a instalação de sensores distribuídos de fibra óptica na encosta para o monitoramento de movimentos de massa. Essas atividades foram desenvolvidas no contexto de um P&D desenvolvido em parceria com a PETROBRAS/CENPES. Os dados obtidos através dos sensores distribuídos de fibra óptica correspondem a dados de deformação e temperatura, os quais permitem verificar possíveis deslocamentos que podem resultar em movimentos de massa. Os dados foram coletados no período entre janeiro de 2015 a maio de 2016 com um interrogador DTSS e tratados pelos softwares MatLab, Excel e Surfer. Em janeiro de 2015 foram realizados ajustes nos sensores ópticos, a fim de melhorar a qualidade do sinal, resultando em uma campanha de leituras de referência para as análises posteriores, denominada 7ª campanha. Os dados coletados nas campanhas de monitoramento a partir da 7ª campanha até a 12ª campanha, realizada em maio de 2016, indicaram que a encosta apresentou deformações na ordem de 784 µε a -515 µε. Sendo os valores de deformação registrados relativamente baixos e a metodologia de análise dos dados de deformação obtidos ainda em fase experimental, não se pode afirmar que as deformações registradas correspondem a possíveis deslocamentos na encosta. A continuidade destes trabalhos podem gerar mais informações ao longo do seu desenvolvimento, possibilitando uma correlação mais precisa entre deformação e deslocamento.

**Palavras-chave:** Sensores de fibra óptica; Instrumentação geotécnica; Instabilidade de encostas.

**Abstract** - The present work shows a methodology for data analysis of a natural slope deformation crossed by a pipeline - PETROBRAS, using distributed fiber optic sensors. The studied slope is located in the Serra do Mar region, Morretes city, Parana state, distant 40 km from the Curitiba city (PR) under the UTM (716.332E - 7.172.000N) and (720.000E - 7.173.000N). Due to a slope instability, the pipeline underwent tensile stresses breaking in February 2001. Such occurrence resulted in the leakage of 145 m<sup>3</sup> of diesel oil, approximately, into the environment. In August 2014 the Institut Lactec proceeded with the installation of fiber optic sensors on the slope to monitoring of soil displacements. These activities were developed in the context of a R&D developed in partnership with PETROBRAS / CENPES. The data obtained through distributed optical fiber sensors correspond to deformation and temperature data, which allow to verify possible displacements that result in instabilities. The data were collected in the years 2014 to 2016 by the DTSS reader unit and treated by MatLab, Excel and Surfer softwares. In January 2015 adjustments were made to the optical sensors, in order to improve signal quality, resulting in a campaign of reference readings for the subsequent analyzes, called the 7th campaign. The data collected from the monitoring campaigns from the 7th campaign until the 12th campaign, held in May 2016, indicated that the slope is stable, however deformations were identified from the 7th campaign in order to 784 µε to -515 µε. Since the values of deformation registered relatively low and the methodology of analysis of the deformation data still obtained in experimental phase, it can not be affirmed that the recorded deformations correspond to possible displacements in the slope. The continuity of these works can generate more information throughout its development, allowing a more accurate correlation between deformation and displacement.

**Keywords:** Fiber optic sensors; Geotechnical instrumentation; Slope instability

**Citação:** SILVEIRA, F.M.S., SILVEIRA, R.M., BURAS, M., BONGIOLO, A.B.S. & FIGUEIRA, I.F.R. Análise de dados de deformação a partir de sensores distribuídos de fibra óptica instalados em uma encosta. Boletim Paranaense de Geociências, 79 : 113-127. URL: <http://bpgbrasil.com.br/>

## 1. INTRODUÇÃO

A instrumentação geotécnica para monitoramento de instabilidade de encostas surgiu entre os anos de 1930 e 1940 (AFFONSO, 2004), sendo motivada pelo avanço da engenharia e a maior complexidade das estruturas. Desde então a instrumentação geotécnica vem se desenvolvendo e avançando cada vez mais no campo tecnológico.

Desastres oriundos de movimentos de massa acarretam danos ao meio ambiente, perda de vidas humanas, danos em obras de infraestrutura e outras situações indesejáveis, aumentando a necessidade de otimização dos processos de instrumentação geotécnica, para o monitoramento de áreas suscetíveis a movimentos de massa.

Obras lineares de engenharia, tais como as dutovias, rodovias e linhas de transmissão, são muito extensas e atravessam áreas que possuem diversas condições de relevo, solo e hidrologia, estando expostas aos fenômenos de origem natural, tais como os movimentos de massa de solo, inundações, terremotos, entre outros (MICHAELSEN, 2011).

No Brasil, segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP), existe mais de 10.000 km (quilômetros) de extensão de dutos destinados a movimentação de petróleo, derivados, gás natural e outros produtos, sendo boa parte destas instalações localizadas nas Serras Geral e do Mar, no sul e sudeste do Brasil. Estas regiões apresentam grande incidência de problemas de origem geotécnica (OLIVEIRA, 2005).

Os dutos ficam expostos aos processos que envolvem os horizontes de solo onde estão instalados. Como as dutovias atravessam grandes unidades geomorfológicas, estas são consideradas obras geotécnicas (SOARES, 2006). Devido ao tipo de produto transportado, eventuais vazamentos podem implicar em grandes prejuízos sociais e econômicos.

Em 16 de fevereiro de 2001, devido a um movimento de massa da encosta, o poliduto OLAPA operado pela Transpetro sofreu uma ruptura, acarretando no vazamento de óleo diesel no meio ambiente em uma área localizada na Serra do Mar do Estado do Paraná. Esta área já vinha sendo monitorada por meio de inclinômetros e piezômetros desde junho de 2000, devido à presença de trincas transversais e longitudinais próximas a faixa do duto. Porém, a combinação dos fatores de relevo (declividade) e fatores climáticos (pluviometria), acarretou no escorregamento da massa de solo desta encosta e o conseqüente rompimento do duto.

Devido a este acidente e as pesquisas para melhoria dos processos de instrumentação geotécnica com a utilização da tecnologia de fibra óptica, os Institutos Lactec realizam desde o ano de 2008 projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em parceria com a PETROBRAS para habilitar o uso desta tecnologia. O uso dos sensores de fibra óptica para instrumentação geotécnica é uma tecnologia recente, que vem se difundindo mundialmente devido as suas vantagens.

Este trabalho é fruto de uma parcela do projeto de P&D realizado pelos Institutos Lactec e a PETROBRAS/CENPES para a análise de risco de escorregamentos de taludes, utilizando instrumentação geotécnica de fibra óptica e modelagem interativa.

Foram obtidos e utilizados os dados de monitoramento da área do duto OLAPA km 57, a qual, no ano de 2014 fora instrumentada por sensores distribuídos de fibra óptica para o monitoramento dos movimentos de massa próximos a faixa do duto.

Para o processamento dos dados de monitoramento e posterior análise, foi desenvolvida uma metodologia de obtenção e análise de dados de deformação obtidos com sensores de fibra óptica, para que se pudesse avaliar o funcionamento do sensor de fibra óptica para à detecção deformações oriundas de movimentos de massa na área de estudo.

Buras (2013) desenvolveu um modelo conceitual para detectar e monitorar os movimentos relativos a transição entre zonas estáveis e zonas de movimento de massa em um meio contínuo de solo com o método distribuído de temperatura e deformação (DTSS).

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, onde foram instalados sensores DTSS de fibra óptica, para análise de risco de escorregamento, localiza-se próximo ao município de Curitiba /PR, distante cerca de 40 km da capital paranaense (Leste do estado do Paraná), no município de Morretes. A encosta OLAPA Km 57, objeto de monitoramento, está compreendida entre as posições geográficas UTM (716.332E - 7.172.000N) e (720.000E - 7.173.000N). A Fig. 1 apresenta a localização da área de estudo.

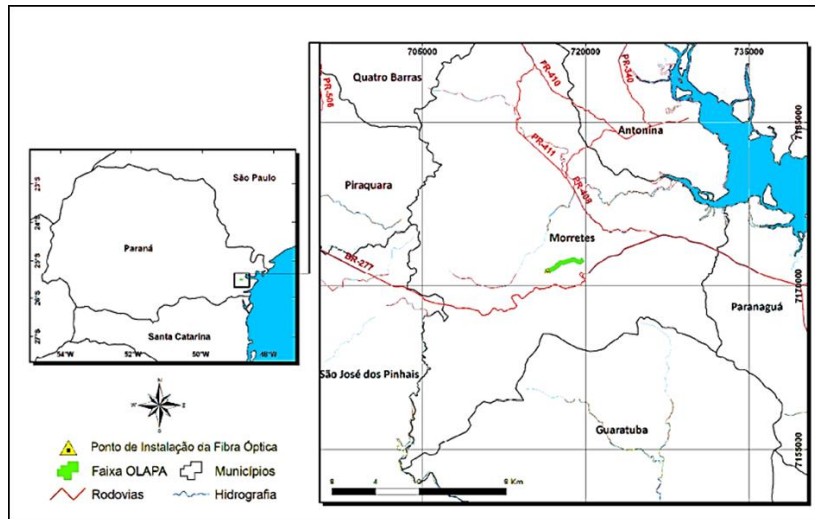


Figura 1 – Localização da área de estudo

A área está inserida na região leste da Serra do Mar Paranaense, possui clima tropical super-úmido (Aft) sem estação seca e isento de geadas. A média das temperaturas do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio é superior a 18°C.

De acordo com Suzuki (2004) a geomorfologia desta região apresenta relevo montanhoso, com afloramentos rochosos nas cotas mais elevadas. Pode-se observar a presença de matacões e blocos de rocha de dimensões variáveis originados de escorregamentos e quedas sucessivas das encostas, em solos coluvionares, em leitos de rios, em depósitos de tálus, em sopés de elevações e nos fundos dos vales.

O padrão de drenagem observado na região é o dendrítico. A porção mais elevada da Serra do Mar funciona como divisor de águas, drenando para nordeste toda a área de contribuição da bacia hidrográfica dos rios Fortuna e Pinto, e para noroeste (região do Planalto Paranaense) a bacia hidrográfica do Rio Iguaçu.

Em análise da imagem aérea (Fig. 2), pode ser verificada que a cobertura vegetal se apresenta preservada, exceto em trechos onde a ação antrópica promoveu algum tipo de interferência, como ao longo das construções lineares que cortam o trecho como rodovias, estradas, linhas de transmissão e da própria faixa do duto.

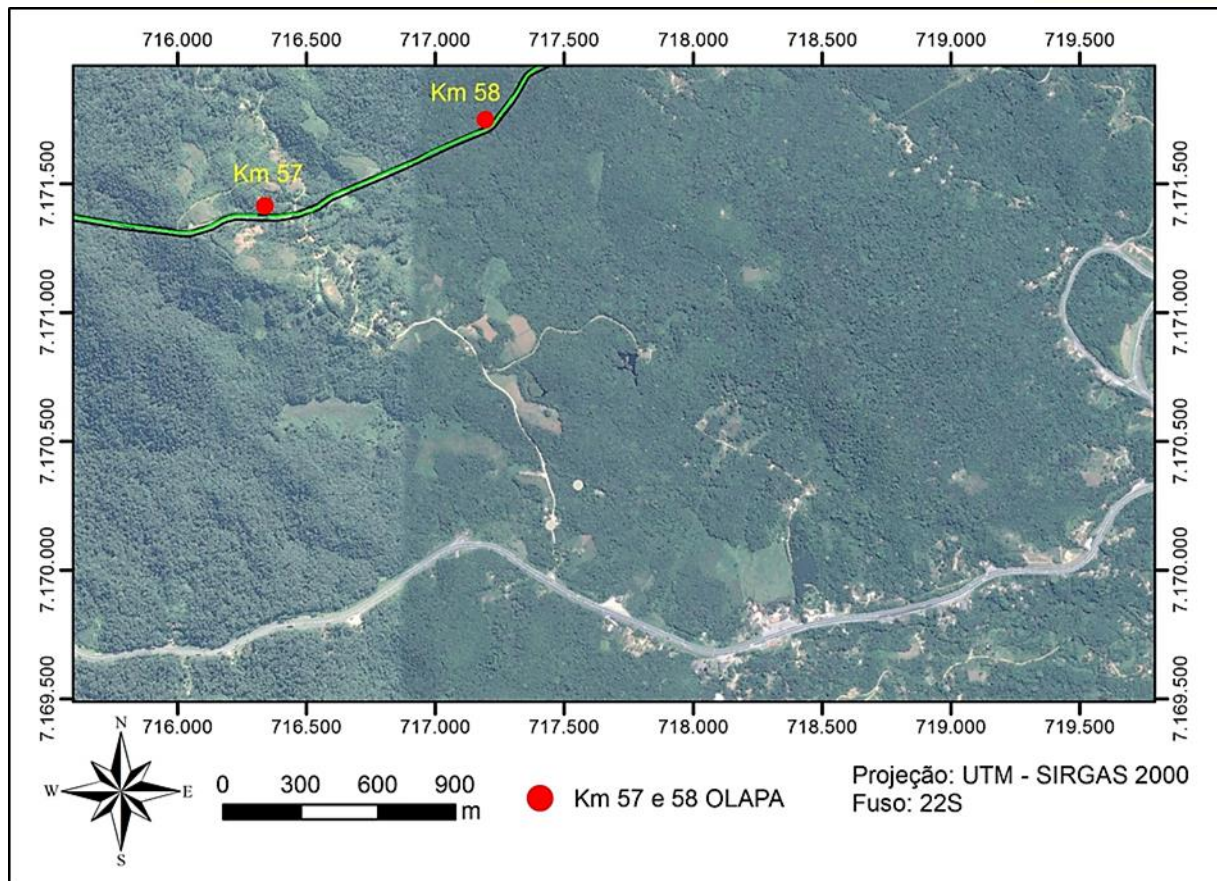


Figura 2 – Trecho OLAPA KM 57 a KM 58

A Serra do Mar é caracterizada por apresentar condicionantes naturais desfavoráveis tais como: tipos litológicos com diferentes graus de resistência ao intemperismo, sistemas de falhas e fraturas e desenvolvimento de um perfil de alteração caracterizado por uma camada espessa de depósitos de solo transportado sobreposto ao solo saprolítico.

A região é muito suscetível a movimentos de massa, como corridas de detritos e escorregamentos. Estes movimentos são geralmente uma consequência da própria dinâmica de evolução das encostas. Com o aumento do índice pluviométrico, no período que vai de novembro a março, algumas áreas são consideradas como de alto potencial para a ocorrência de escorregamentos translacionais sobre os planos das superfícies de rocha. Estes movimentos envolvem solo e rocha, e podem ocorrer mesmo sem a interferência de fatores externos.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados obtidos e processados neste trabalho são produto de 6 campanhas de monitoramento realizadas na área de estudo no período entre janeiro de 2015 a maio de 2016, as quais buscaram identificar zonas de movimento de massa com o método distribuído de temperatura e deformação (DTSS - Distributed Temperature and Strain Sensor), por meio da fração do espectro de luz conhecido como Brillouin.

Buras (2013) desenvolveu um modelo conceitual para detectar e monitorar os movimentos relativos a transição entre zonas estáveis e zonas de movimento de massa em um meio contínuo de solo com o método distribuído de temperatura e deformação (DTSS). A simulação e interpretação do modelo conceitual desenvolvido por Buras (2013) utilizou os dados de deformação (tensão) ao longo da fibra óptica, simulando zonas de cisalhamento.

A partir dos resultados obtidos nos testes para simulação da zona de cisalhamento, o autor sugeriu uma configuração para a disposição de um sensor distribuído de fibra óptica em uma encosta, de forma transversal

ou longitudinal, ou as duas configurações simultaneamente, conforme ilustrado na Fig. 3.

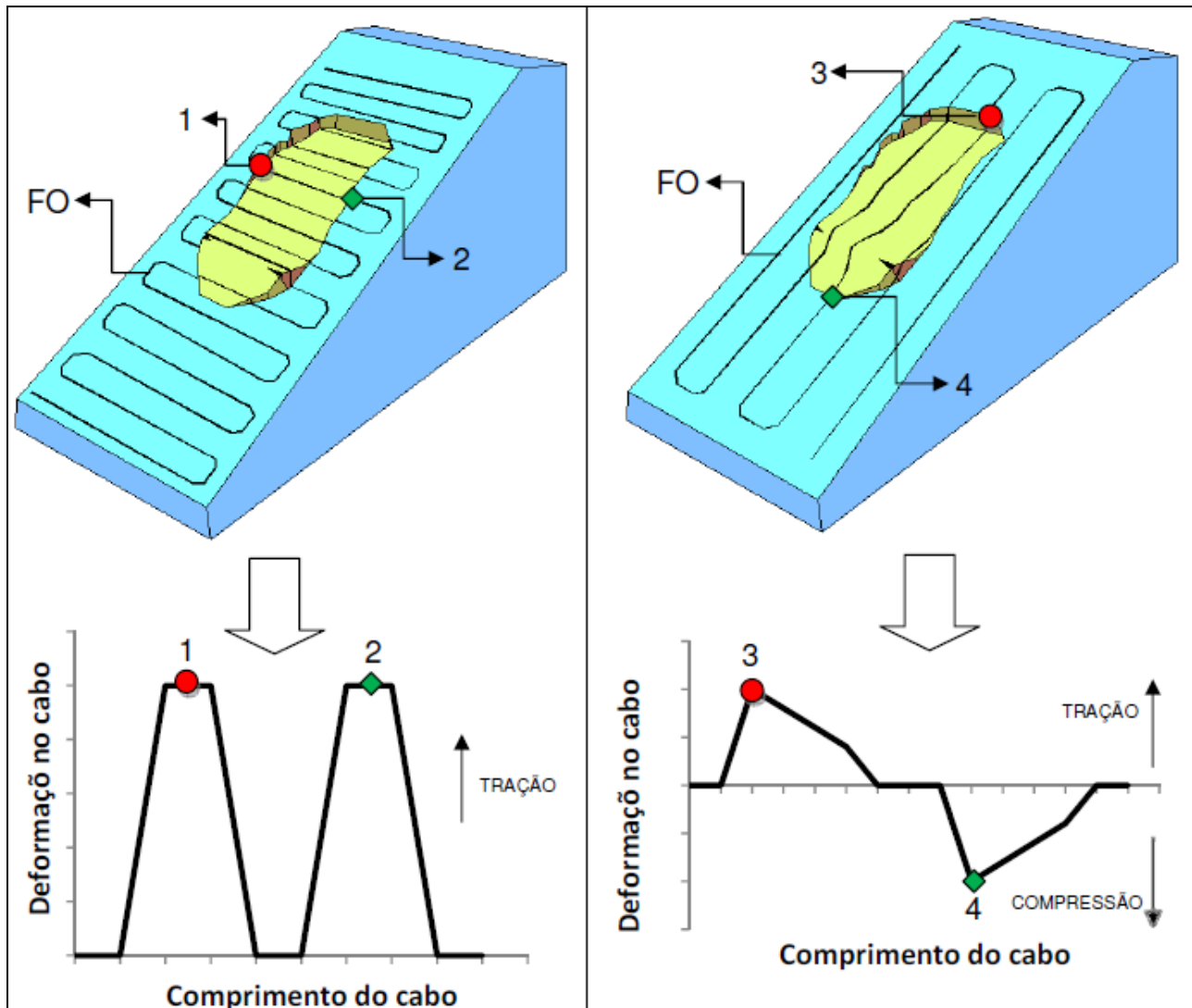


Figura 3 - Interpretação do movimento com sensor distribuído de fibra óptica.

Para uma melhor visualização espacial da área de estudo na região do duto OLAPA, próximo ao km 57, foi modelado no software MOVE o modelo digital de elevação (MDE) da área, juntamente com a disposição do cabo óptico

e a localização das sondagens (Fig. 4) que subsidiaram a criação da superfície dos horizontes de solos que compõe a área de estudo.

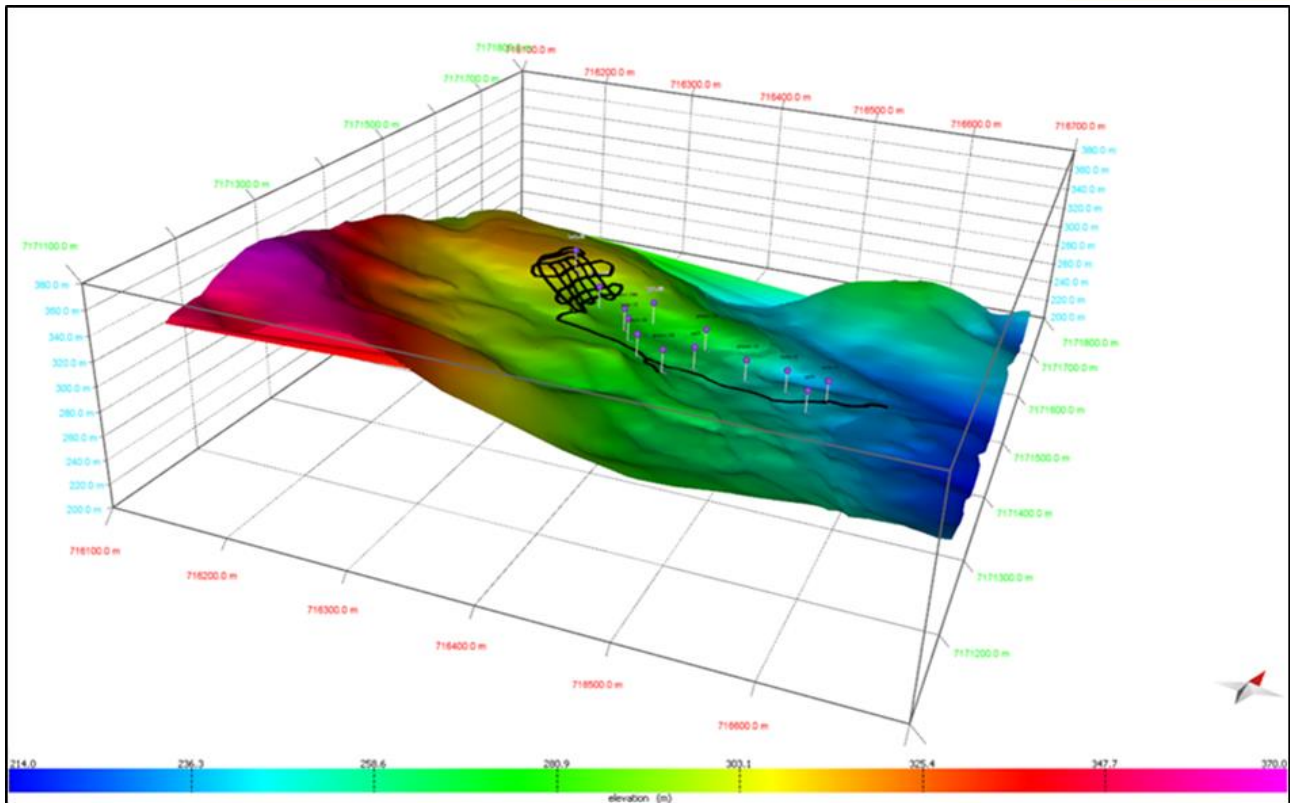


Figura 4 - MDE, pontos de sondagens e disposição do cabo óptico.

Para a aquisição dos dados e monitoramento da fibra óptica instalada na superfície da encosta, utiliza-se a unidade leitora (interrogador) DTSS - sistema desenvolvido pela Sensornet, que mede o espectro de Brillouin, tanto na luz anti-Stokes quanto na luz Stokes, a cada 1,02 m ao longo da fibra óptica. A análise destes dados permite que a deformação e a temperatura possam ser medidas de forma independente e simultaneamente em todos os pontos da fibra, ao longo de até 10 km de comprimento. Ainda, conforme o catálogo da Sensornet, a resolução do sistema DTSS é de 1°C para medidas de temperatura e 10  $\mu\epsilon$  para medidas de deformação.

Posteriormente a aquisição dos dados coletados em campo, por meio da unidade leitora DTSS, tem-se a necessidade de extrair seus dados, de forma que sua apresentação possibilite a análise e conclusão dos dados obtidos e as suas correlações com a dinâmica dos movimentos de massa.

Após a aquisição dos dados da unidade leitora DTSS os dados são processados basicamente

em duas formas: na forma de gráficos e na forma de mapas de isolinhas de deformação.

Para o processamento dos dados em formato de gráficos, os arquivos com os dados registrados durante a campanha de leituras, são exportados para uma planilha em Excel.

Para uma melhor análise e identificação em planta dos dados que indicam tração ou compressão no comprimento do cabo óptico, os dados georreferenciados do sensor, juntamente com os dados adquiridos pela unidade leitora, foram inseridos e demonstrados em mapas de isolinhas de deformação, com o auxílio do Software SURFER®, que utiliza métodos geoestatísticos de interpolação para transformar dados X, Y e Z em mapas, onde X e Y correspondem posicionamento geográfico UTM e Z corresponde a micro deformação obtida pelo sensor óptico.

Para esta interpolação, foi definido o método de Krigagem, o qual possui uma boa precisão e fidelidade aos dados originais, com um raio de busca de 2,5 m, ou seja, a área máxima

delimitada para o cálculo da deformação de cada sensor.

Os dados inseridos em planilhas Excel, obtidos a partir das leituras em campo com a unidade leitora DTSS, serviram de base para identificação do número do sensor (posição DTSS) e os dados referentes às leituras de deformação, com a sua respectiva data de leitura.

Com o uso do software AutoCAD® Map, foi realizado um trabalho de identificação das coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) de cada ponto do sensor a partir da integração dos dados com o levantamento topográfico e da instalação da fibra óptica na área de monitoramento.

Desta forma, foi criada uma nova planilha em Excel, contendo as informações do número do sensor e sua respectiva coordenada x e y (Fig. 5). A partir da identificação do sensor e sua respectiva coordenada, correlacionaram-se estes dados com as leituras de deformação gerada em cada ponto (Fig. 6).

	A	B	C	D
1	Posição do cabo (DTSS)	Longitude	Latitude	
2	469	716431,12	7171358,5	
3	470	716430,91	7171360,3	
4	471	716430,01	7171361,4	
5	472	716429,11	7171362,6	
6	473	716428,21	7171363,7	
7	474	716427,31	7171364,9	
8	475	716426,24	7171365,8	
9	476	716425,14	7171366,8	

Figura 5 – Posição do sensor e coordenada UTM.

	A	B	C	D	E	F
1	X	Y	Comprimento (DTSS)	Deformação (µE)		
2	716431,81	7171359,145	471	90,04		
3	716430,9577	7171360,228	472	124,12		
4	716430,1054	7171361,311	473	201,16		
5	716419,4725	7171369,336	473	415,29		
6	716429,2531	7171362,393	474	103,08		
7	716428,4008	7171363,476	475	-139,80		
8	716427,5485	7171364,559	476	-25,89		
9	716426,5888	7171365,539	477	190,45		
10	716425,5433	7171366,437	478	221,67		
11	716424,4978	7171367,335	479	193,54		
12	716423,4523	7171368,232	480	214,78		

Figura 6 - Planilha correlacionando as coordenadas, sensor e deformação.

Estes resultados subsidiaram a geração de uma planilha com os dados de leitura da 7ª campanha de monitoramento, a qual se tomou como referência, e assim, outra planilha para 8ª leitura de deformação subtraída da 7ª leitura e assim sucessivamente para as posteriores leituras.

Uma vez criadas as tabelas em Excel, citadas anteriormente, utilizou-se o software Surfer® versão 9 para a referida geração dos mapas de isolinhas.

Para a interpolação dos dados, com o comando: GRID > DATA, foi selecionada a planilha com os dados x, y (coordenadas UTM) e z (micro deformação) da respectiva leitura para a geração da imagem (Fig. 7).

Após a escolha do arquivo, ainda em Grid > Data, foi realizada a escolha das colunas (Data Columns) para o Surfer® mapear (Fig. 8). Em “x” e “y” foram selecionadas as colunas com as posições geográficas UTM e em “z” a coluna com os dados de micro deformação.

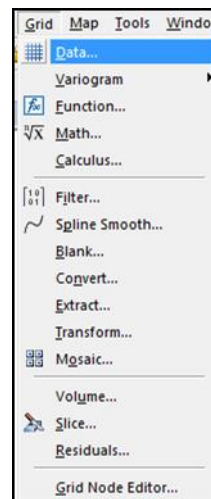


Figura 7 - Janela do Grid -> Data.

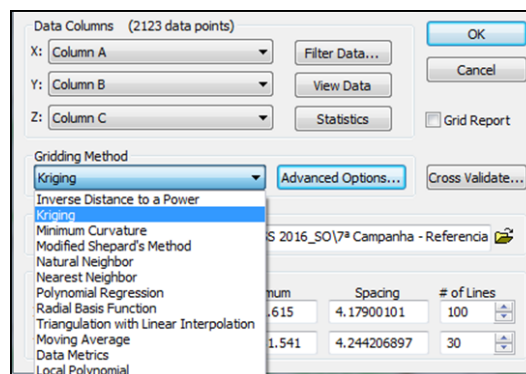


Figura 8 - Janela do Grid > Data após seleção do arquivo Excel®.

Ainda, nesta opção, foi selecionado em *Gridding Method* o método *Kriging* (método comumente utilizado quando se pretende mapear uma variável associando-se com outras).

Neste item, também foram alterados os espaçamentos (*Spacing*) do *Grid Line Geometry* e em *Advanced Options* foram definidas algumas características para a interpolação pelo método *Kriging*. Foram realizados testes diminuindo o raio da área de Krigagem, iniciando em 2,5m e finalizando em 1,0m. Os resultados foram semelhantes, mantendo-se o raio de 2,5 para a área de interpolação.

Para a edição da imagem gerada, com um duplo clique na imagem, tem-se a janela da Figura 1, onde foi alterada a escala de leitura, limitadas pelos valores máximos e mínimos obtidos dos dados de deformação da tabela, tanto para os valores numéricos, quanto para os valores da escala de cores.

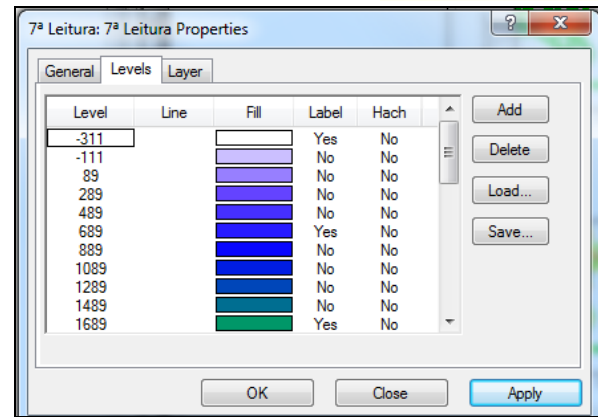


Figura 1 - Janela de edição para a escala numérica de cores

Desta forma, a escala de cores representa o valor da variação da deformação naquele ponto.

A partir desta etapa, foi realizado o trabalho de geração e edição das figuras, resultando no produto para análise dos dados de deformação conforme demonstrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

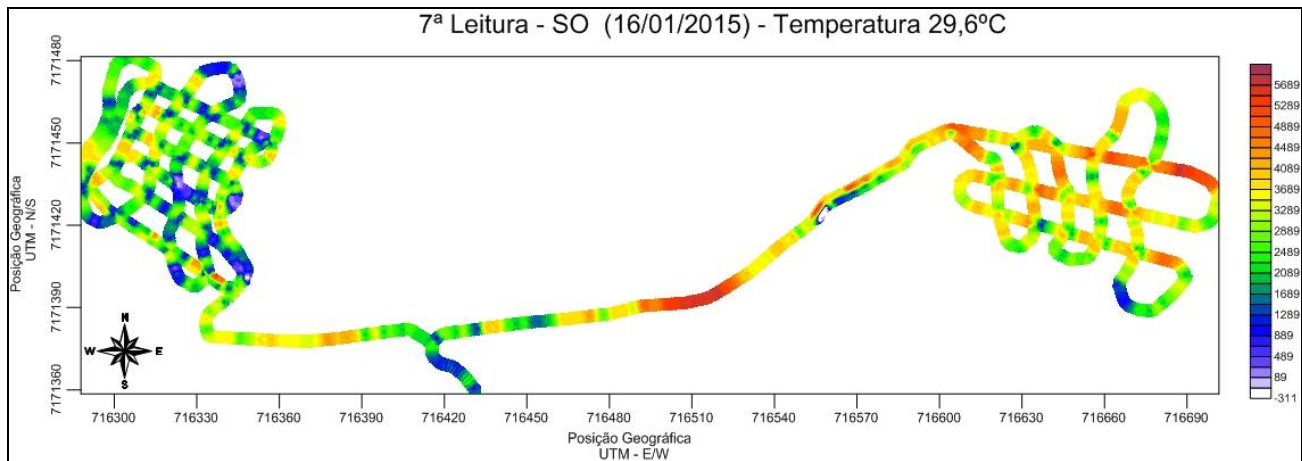


Figura 10 - Mapa de isolinhas de deformação.

Primeiramente foram realizados mapas de isolinhas de deformação de toda a extensão do cabo óptico, denominados lado oeste e leste da encosta. Porém, após algumas campanhas de monitoramento foi detectado problemas com o cabo óptico disposto do lado leste da encosta, devido a movimentação de solo por máquinas e plantações de

bananeiras. Desde então não foram mais realizadas as leituras da encosta leste.

Para uma melhor visualização, foram geradas a partir de então mapas de isolinhas de deformação somente da encosta oeste e com as respectivas curvas de nível da área de estudo, conforme demonstrado na Fig. 11.



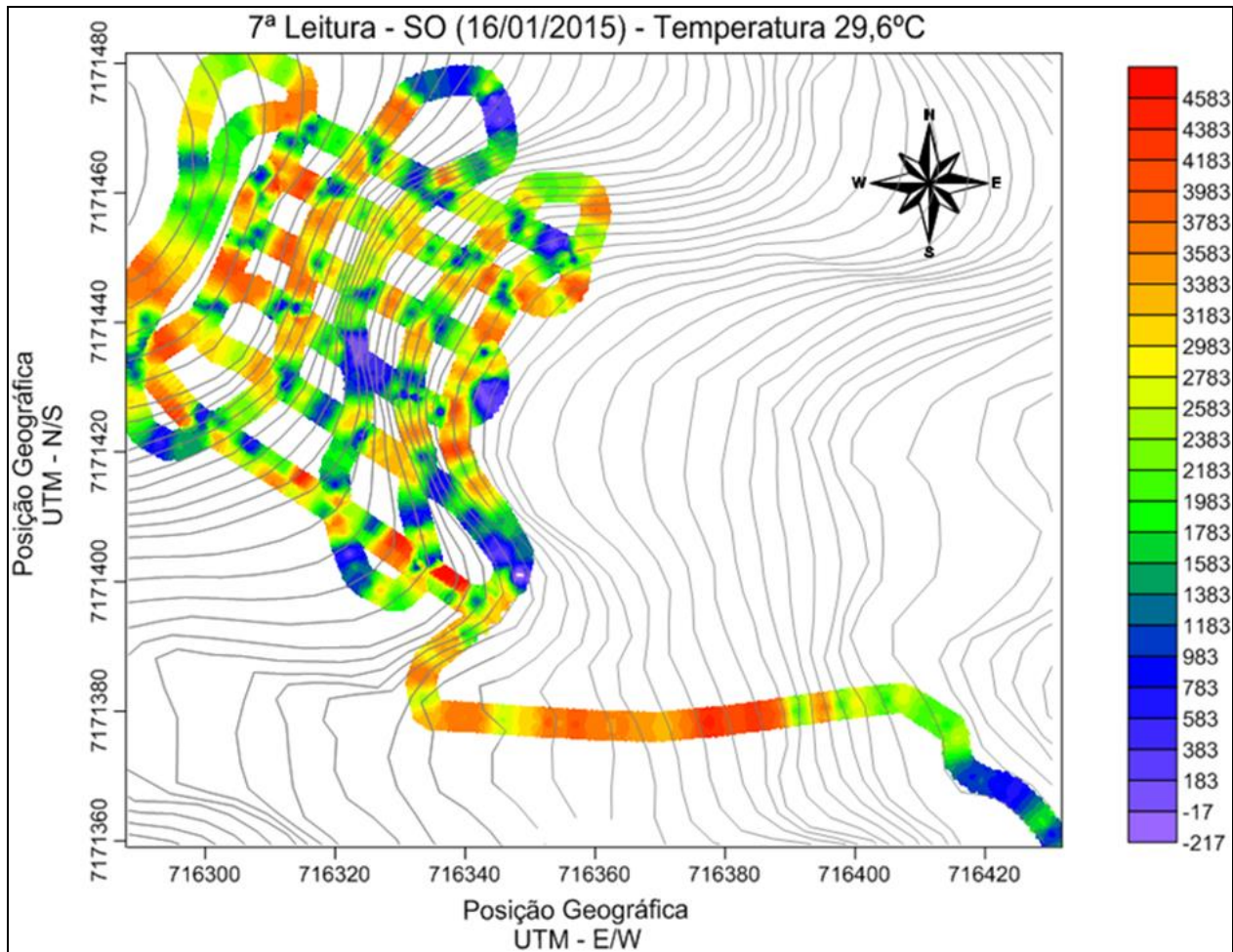


Figura 11 - Mapa de isolinhas de deformação e curvas de nível– encosta oeste

Como a escala de cores possui uma amplitude considerável, foram plotados gráficos com os dados de deformação das mesmas planilhas utilizadas para gerar os mapas de isolinhas de deformação. Considerando a 7ª campanha a referência, plotaram-se gráficos da 8ª – 7ª campanha, 9ª – 7ª campanha e assim sucessivamente até a 12ª – 7ª campanha de monitoramento.

As deformações registradas nos sensores demonstradas no mapa de isolinhas de deformações (Fig. 10) representam com as cores mais quentes as maiores deformações e as cores frias as deformações com menor valor numérico. Entende-se que, as deformações positivas detectadas no cabo, indicam que ele está sujeito a tração e os valores negativos de deformação, indicam que o cabo está sofrendo um alívio de tração.

#### 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os valores registrados indicam que a deformação máxima na encosta oeste na 7ª campanha de leitura foi de 4665  $\mu\epsilon$ , a escala de cores possui um intervalo de 200, finalizando a deformação apresentada em 4583  $\mu\epsilon$ . A deformação média nesse trecho foi de 2300  $\mu\epsilon$ . Em análise a Figura 12 observa-se que os valores das micro deformações representados no mapa de isolinhas, apresenta em média valores em torno de 2000  $\mu\epsilon$ , as quais estão representados nos tons da cor verde.

Como fora citado anteriormente, a 7ª campanha de monitoramento (Figura 10) foi tomada como referência. Nesta campanha todos os dados foram registrados e a partir de então as próximas campanhas puderam ser comparadas com a 7ª leitura definida como referência.

Com o objetivo de identificar os pontos com alterações de valores, considerando a 7ª leitura como referência, foram subtraídos os

valores de deformação entre a 7ª e 8ª leitura, resultando o mapa de isolinhas de deformações apresentado na Fig. 12.

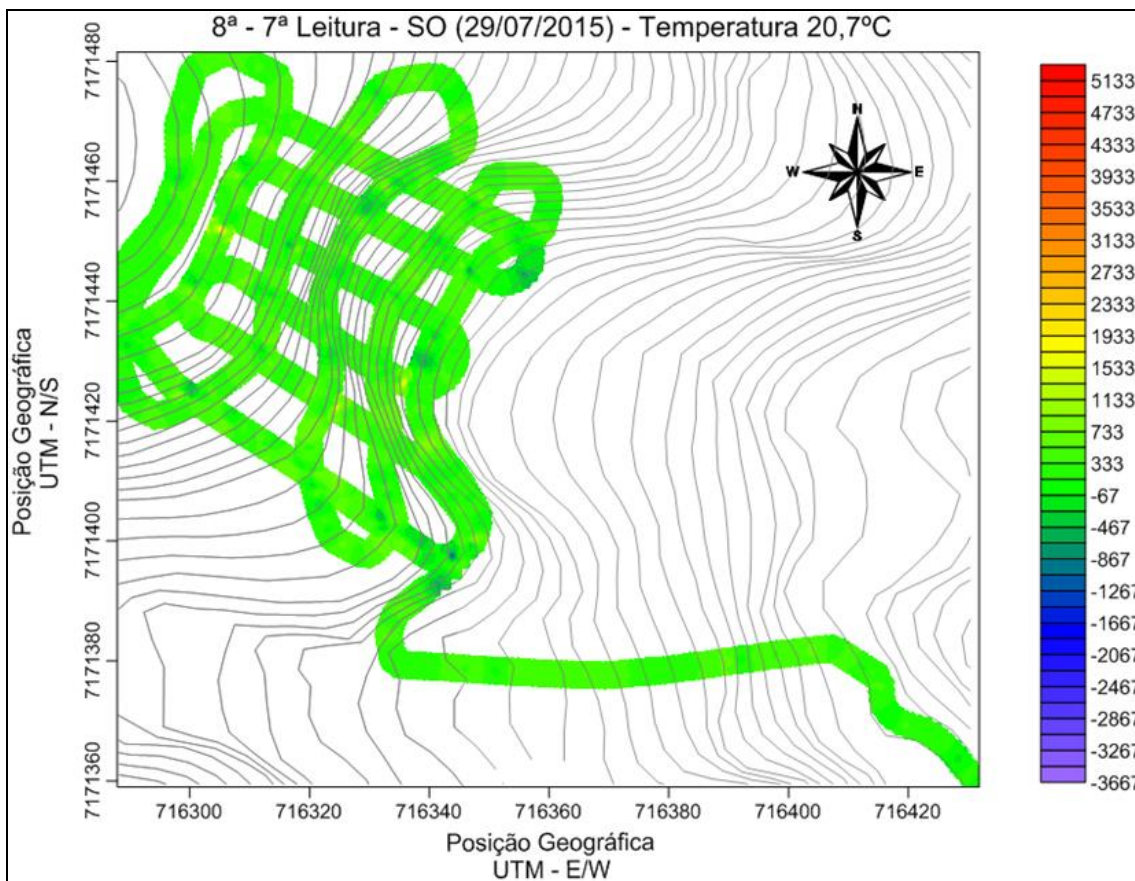


Figura 12 - Mapa de isolinhas de deformação e curvas de nível – 20/07/2015.

Em análise ao mapa plotado, pode-se observar que os valores das deformações (micro deformações) são valores pequenos, não passando muito de 1000  $\mu\epsilon$ , representados pela cor verde na escala de cores. Essa condição indica que entre a 7ª e a 8ª campanha de leituras as deformações medidas não foram significativas.

O mapa de isolinhas de deformações referente a 9ª leitura subtraído da 7ª leitura (referência) pode ser observado na Fig. 13.

Em análise ao mapa plotado, pode-se observar que os valores das deformações (micro deformações) são valores baixos, representados pela cor verde na escala de cores. Essa condição indica que entre a 7ª e a

9ª campanha de monitoramento as deformações medidas não foram representativas. Em análise ao mapa plotado (Fig. 14), pode-se observar que houve variações significativas entre a 7ª e a 10ª campanha de monitoramento. O mapa apresenta valores altos de micro deformação, tanto para os valores negativos (alívio de tração) quanto para valores positivos (tração). Essa configuração do mapa de isolinhas indica que houve deformações significativas na 10ª campanha em relação a 7ª.

O mapa de isolinhas de deformações referente a 11ª leitura subtraído da 7ª leitura (referência) pode ser observado na Fig. 15.

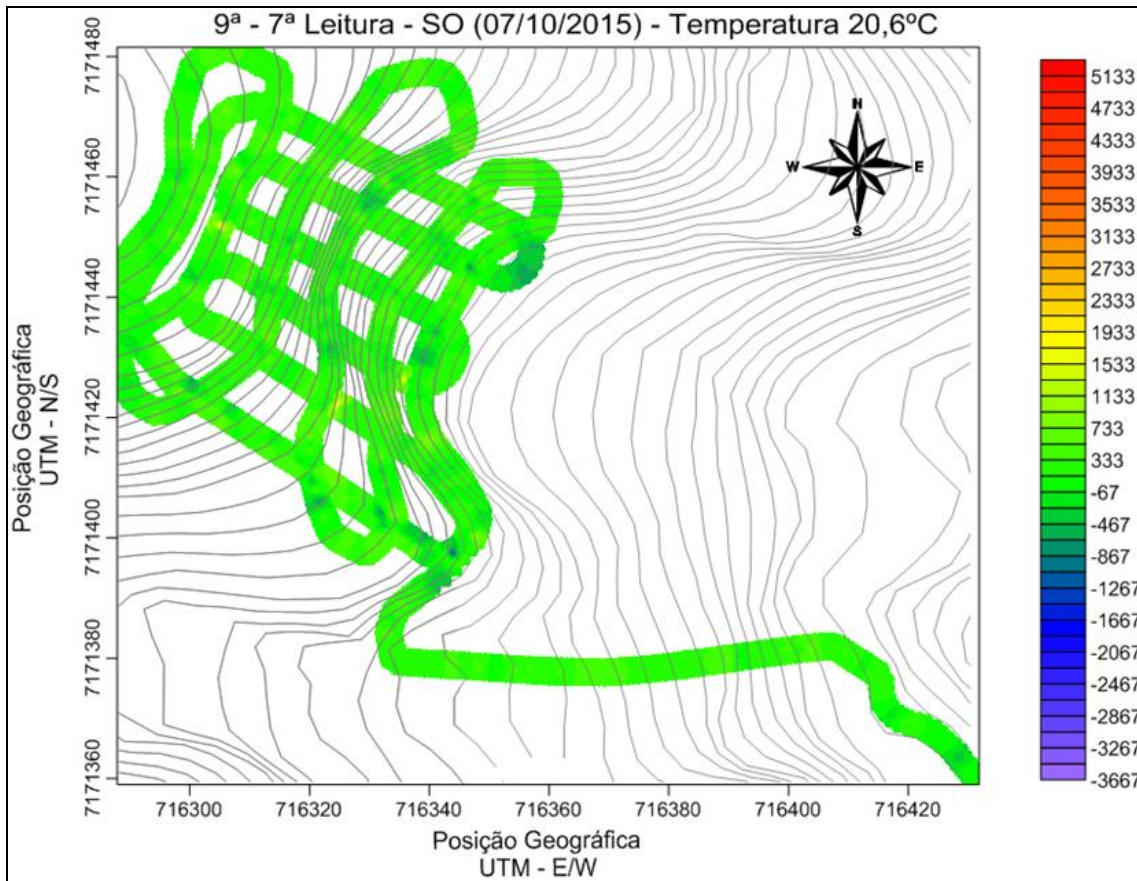


Figura 2 - Mapa de isolinha de deformação e curvas de nível – 07/10/2015

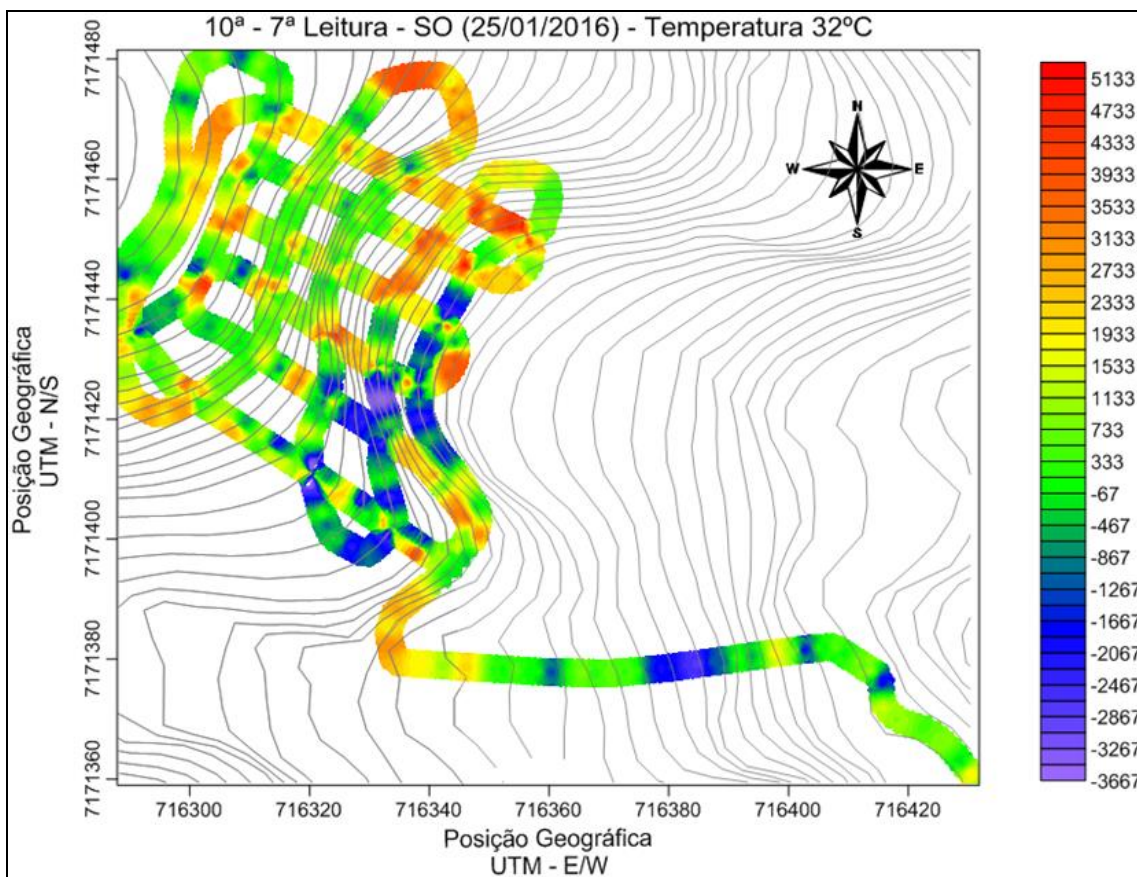


Figura 3 - Mapa de isolinha de deformação e curvas de nível – 25/01/2016

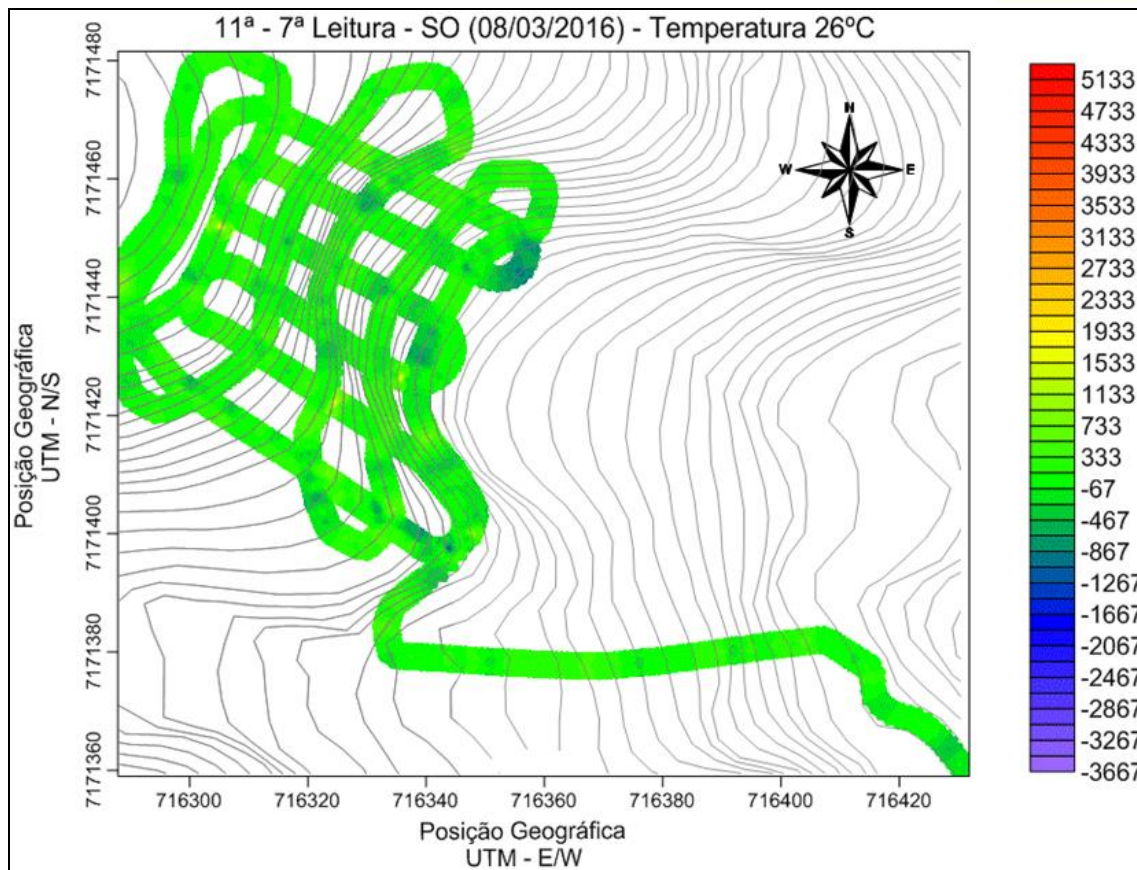


Figura 15 - Mapa de isolinha de deformação e curvas de nível – 08/03/2016

Em análise ao mapa plotado, pode-se observar que os valores das deformações (micro deformações) são valores baixos, representados pela cor verde na escala de cores. Essa condição indica que entre a 7ª e a 11ª campanha de monitoramento as deformações medidas foram irrelevantes.

O mapa de isolinhas de deformações referente à 12ª leitura subtraído da 7ª leitura (referência) pode ser observado na Fig. 16.

Em análise ao mapa plotado, pode-se observar que os valores das deformações (micro deformações) são valores baixos, representados pela cor verde na escala de cores. Essa condição indica que entre a 7ª e a 12ª campanha de monitoramento as deformações medidas foram irrelevantes.

O Quadro 1 apresenta um resumo dos valores obtidos nas campanhas de leituras pelo sistema DTSS, ao longo do cabo óptico instalado na encosta OLAPA Km 57.

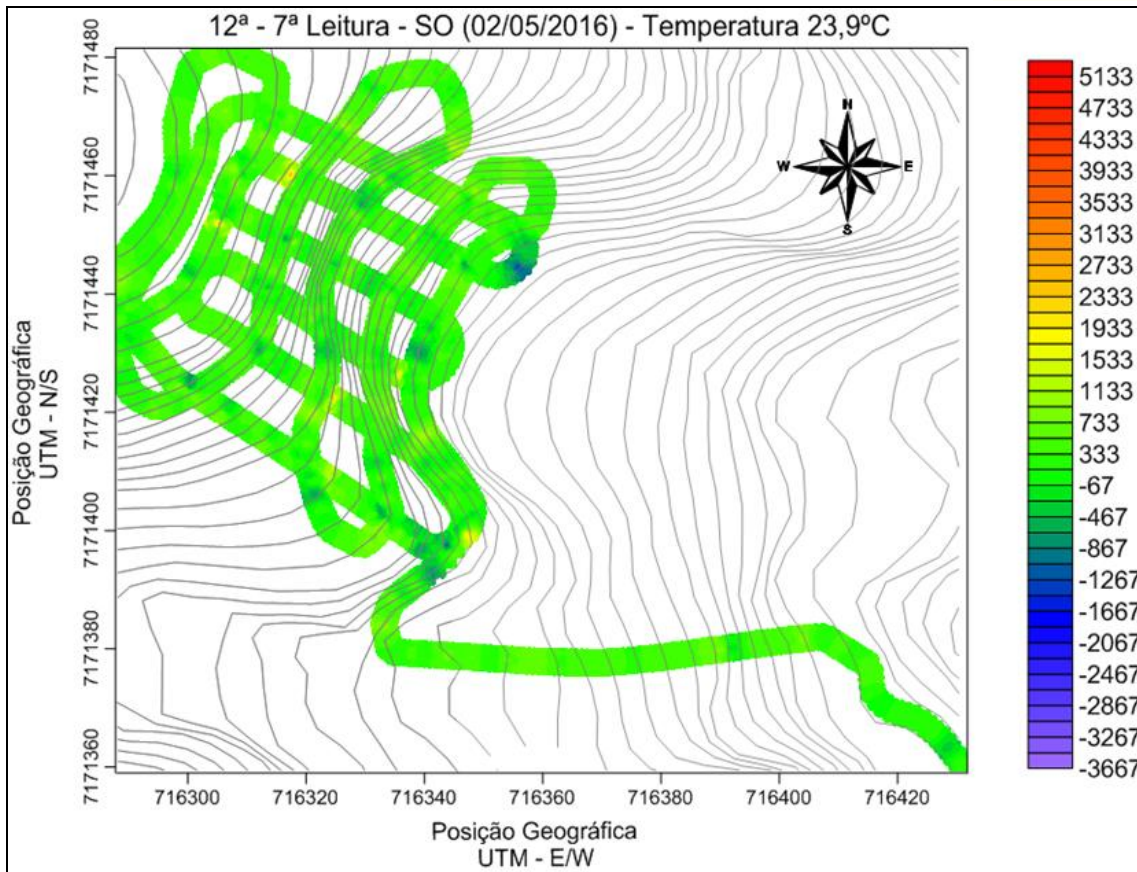


Figura 16 - Mapa de isolinhas de deformação e curvas de nível – 02/05/2016

Quadro 1 – Resumo dos resultados das leituras

Campanha de leitura	Temperatura na seção de referência (°C)	Deformação máxima (µε)	Deformação mínima (µε)	Média das deformações (µε)
7ª - 16/01/2015	28,9	4695	-218	2300
8ª - 29/07/2015	20,7	4923	-744	2571
9ª - 07/10/2015	20,7	4771	-188	2465
10ª - 25/01/2016	32,0	6505	-155	3249
11ª - 08/03/2016	26,0	4851	-319	2350
12ª - 02/05/2016	23,9	5083	-247	2586

## 5. CONCLUSÃO

Para a análise dos dados de monitoramento, foi utilizado basicamente o software MatLab para aquisição dos dados da unidade leitora DTSS, o software Excel (gerando gráficos para uma visualização do sinal óptico e das deformações) e o software Surfer (no qual foram gerados os mapas de isolinhas de deformação), facilitando a localização das deformações ao longo do cabo de leitura.

Com os dados de monitoramento obtidos por meio da unidade leitora DTSS nas campanhas realizadas nos anos de 2015 e 2016, foram

gerados gráficos de dados de deformação versus a posição do cabo óptico (sensor) instalado na encosta, gráficos de deformação com todas as campanhas de monitoramento já realizados tendo sido selecionados alguns pontos em trechos longitudinais e transversais de interesse (em relação a encosta) e mapas de isolinhas de deformação que apresentaram a posição geográfica x e y e a deformação em z – gerado com o auxílio do software Surfer.

Estes gráficos e mapas possibilitaram a visualização e análise dos dados de monitoramento, apresentando as

deformações registradas na encosta, sua localização e a data de obtenção dos dados. Também facilitaram a visualização espacial das leituras adquiridas.

Os dados coletados nas campanhas de monitoramento a partir da 7ª campanha, realizada em 16/01/2015 até a 12ª campanha, realizada em 02/05/2016, desconsiderando os valores obtidos na 10ª campanha (25/01/2016), por apresentar valores anômalos, indicaram deformações na ordem de 784  $\mu\epsilon$  a -515  $\mu\epsilon$ , nas análises por trechos longitudinais e transversais.

Essas deformações são relativamente pequenas e ainda não se pode afirmar que estas deformações indicam algum deslocamento de massa de solo.

Os dados utilizados para esta metodologia de análise foram dados brutos coletados do sistema DTSS, sendo os dados de deformação somente normalizados a partir da consideração que as deformações na referência inicial seriam nulas.

Sabendo-se que o sistema utilizado é sensível a deformação e temperatura, ainda é necessário avaliar a interferência da temperatura nas medições de deformação para realizar suas compensações.

Vale ressaltar a importância da sazonalidade na realização das leituras, fato atendido com o monitoramento realizado, e que ainda se possa dar continuidade a este processo por períodos de tempo superiores.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AFFONSO, H. M. M. Instrumentação para medir deslocamentos em barragens de enrocamento. Dissertação de mestrado, PUC-Rio, Departamento de Engenharia Civil, 2004.

BURAS, Marcelo. Aplicação de sensores distribuídos de fibra óptica em um modelo experimental para monitoramento de movimentos de massa. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

OLIVEIRA, H. R. Gerenciamento da integridade de dutos: proposta de abordagem aos riscos geotécnicos em gasodutos de transmissão. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SOARES, J. P.; BONINI, L. H.; MOYA, M. Atividades de geotecnia nas faixas de dutos da Transpetro. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2006, Curitiba. Anais, São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2006.

Submetido em 16/11/2020

Aceito em 09/07/2021