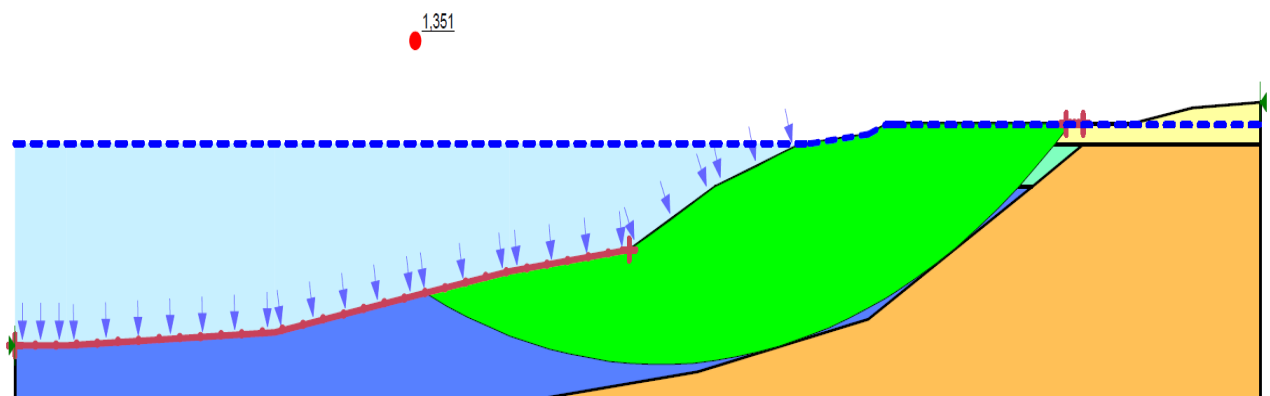


**COMENTÁRIOS**  
**À**  
**ANÁLISE DA ESTABILIDADE**  
**DO PROJETO INCLUÍDO**  
**NO RELATÓRIO C1041-130720-R7 DA GEOPROJETOS –**  
**ENGENHARIA, LTDA.**



**Seguradora** : ITÁU  
**Segurado** : Anglo American Brasil, Ltda.  
**Apólice/Ramo** : 01.96.4003456 – Riscos Operacionais  
**N/ Processo** : 3060  
**Ref. Seguradora** : 9.1.96.006027.9.01

## ÍNDICE

<b>1. Introdução .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Metodologia de Trabalho .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Desenvolvimento do Trabalho. Comentários Gerais .....</b>	<b>4</b>
<b>4. Comentários Específicos .....</b>	<b>11</b>
<b>5. Conclusões .....</b>	<b>14</b>

**Participaram na elaboração desta  
Análise os seguintes técnicos:**

José Caldeira – Eng<sup>o</sup>. Civil

Armando Pinto Monteiro – Eng<sup>o</sup>. Civil

Teresa Freitas – Eng<sup>a</sup>. Civil

Luís Calado – Eng<sup>o</sup> Civil

Bruno Guerra – Eng<sup>o</sup> Civil

João Matela Luís – Eng<sup>o</sup> de Minas

Rodrigo Libonatto – Eng<sup>o</sup> Mecânico

## 1. Introdução

Tendo em conta o trabalho de apuramento das causas relativas ao sinistro ocorrido em 28 de Março de 2013, que nos encarregaram, fomos recipientes por parte do Segurado, Anglo Ferrous Amapá Mineração, Ltda de um Relatório sobre os aspectos geotécnicos do acidente que ocorreu no Porto de Embarque de Minério de Ferro da Anglo American em Santana, Amapá, com referência C1041-130720-R7.

O presente documento pretende comentar a Análise de Estabilidade incluída no relatório atrás mencionado, uma vez que toda a teoria gerada em torno das causas do acidente surge na sequência da discrepância verificada entre a aparente estabilidade do talude colapsado e seu movimento sem causa aparente.

Estes comentários são também complementados por toda a documentação que se encontra em nosso Relatório de Regulação.

## 2. Metodologia de Trabalho

Para os comentários sobre a Análise de Estabilidade elaborada pela Geoprojetos – Engenharia, Ltda. tivemos que trabalhar com o mesmo programa Slope/W, usando o método de Morgenstern & Price, admitindo superfícies de ruptura circular.

Igualmente, e com vista a comentarmos com maior cuidado as conclusões retiradas no relatório C1041-130720-r7, procuramos reproduzir a mesma secção, tendo a preocupação de primeiro compatibilizar os dados existentes sobre a batimetria e a topografia.

## 3. Desenvolvimento do Trabalho. Comentários Gerais

### 1.1. Aferição da Secção

Começou-se por reproduzir as análises apresentadas no relatório C1041-130720-R7, denominadas de análises de projeto.

A geometria adotada no relatório C1041-130720-R7 foi digitalizada e foram adotados os mesmos parâmetros geotécnicos para os materiais.

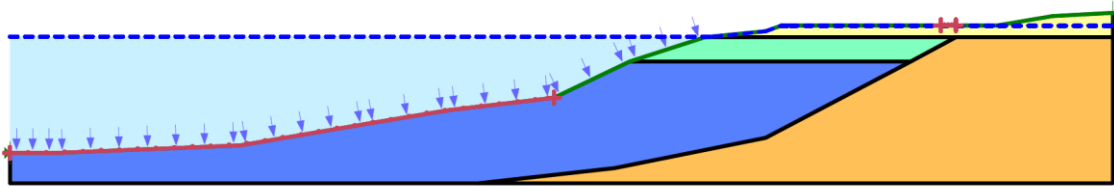


Figura 1 – Geometria utilizada correspondente a NA mínimo.

Tabela 1 - Propriedades geotécnicas.

Material	Peso volúmico (kN/m <sup>3</sup> )	Coesão efetiva (kPa)	Angulo de resistência ao corte (°)	Resistência não drenada (kPa)
Aterro  (camada amarela)	17	10	30	-
Solo mole 1  (camada verde)	15	-	-	40
Solo mole 2  (camada azul)	14.5	-	-	34
Solo duro  (camada laranja)	19	100	40	

Nestas análises, a posição do ponto de entrada das superfícies de rotura foi condicionada de modo a coincidir com a posição observada no campo.

Com NA mínimo = -1.43 m BGE Santana obteve-se FS=1.35 (em comparação com 1.34 obtido no relatório C1041-130720-R7)

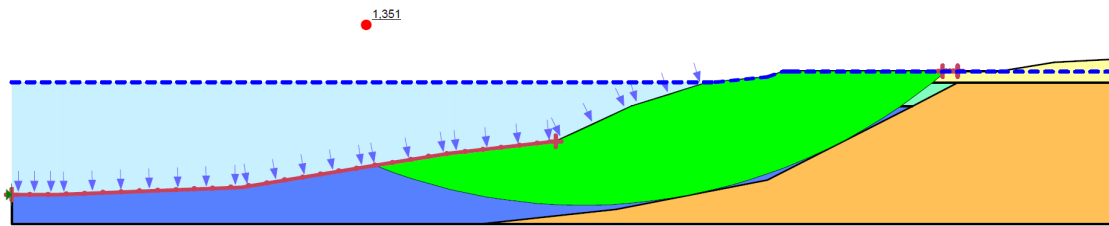


Figura 2

Com NA máximo =+1.77 m BGE Santana obteve-se FS=1.65 (em comparação com 1.62 obtido no relatório C1041-130720-R7).

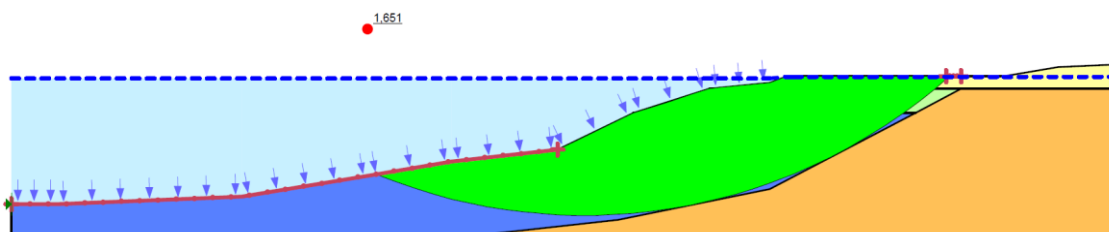


Figura 3

Os resultados obtidos são idênticos aos reportados no relatório C1041-130720-R7 da Geoprojetos, pelo que se pode considerar que os modelos são idênticos.

Relativamente a estes resultados, o relatório diz que “Foram obtidos coeficientes de segurança iguais a 1,62 (NA máximo) e 1,34 (NA mínimo), como mostrado nos dois diagramas inferiores da figura 18. Esses valores também são satisfatórios para projeto e, da mesma forma, indicam que não havia necessidade de muros de contenção.” (página 15, primeiro parágrafo).

Contudo estas análises não refletem as condições de estabilidade da margem por diversas razões que a seguir se expõem.

### Geometria da superfície de rotura

Nas análises acima apresentadas (correspondentes às análises de projeto apresentadas no relatório C1041-130720-R7 da Geoprojetos), as superfícies de rotura foram forçadas a passar na posição observada no campo. Contudo a rotura inicial pode ter tido outras dimensões e o resto do talude pode ter sofrido movimento posterior por perda de suporte.

Em qualquer dos casos a estabilidade de um talude é condicionada pela superfície crítica, a superfície a qual está associado o menor fator de segurança. Pesquisou-se assim a superfície crítica para a situação de NA mínimo, tendo-se obtido  $FS=1.28$ .

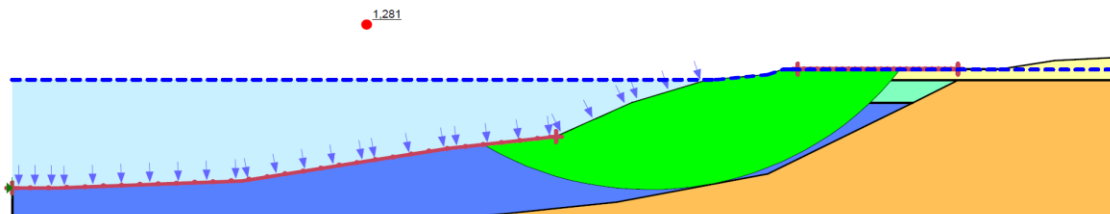


Figura 4

Com base na geometria da secção, nomeadamente a distância entre a margem e o ponto de entrada da superfície de rotura, e a extensão lateral da camada de argila mole, estima-se que a secção analisada corresponde à que se indica na Figura seguinte com linha a verde.

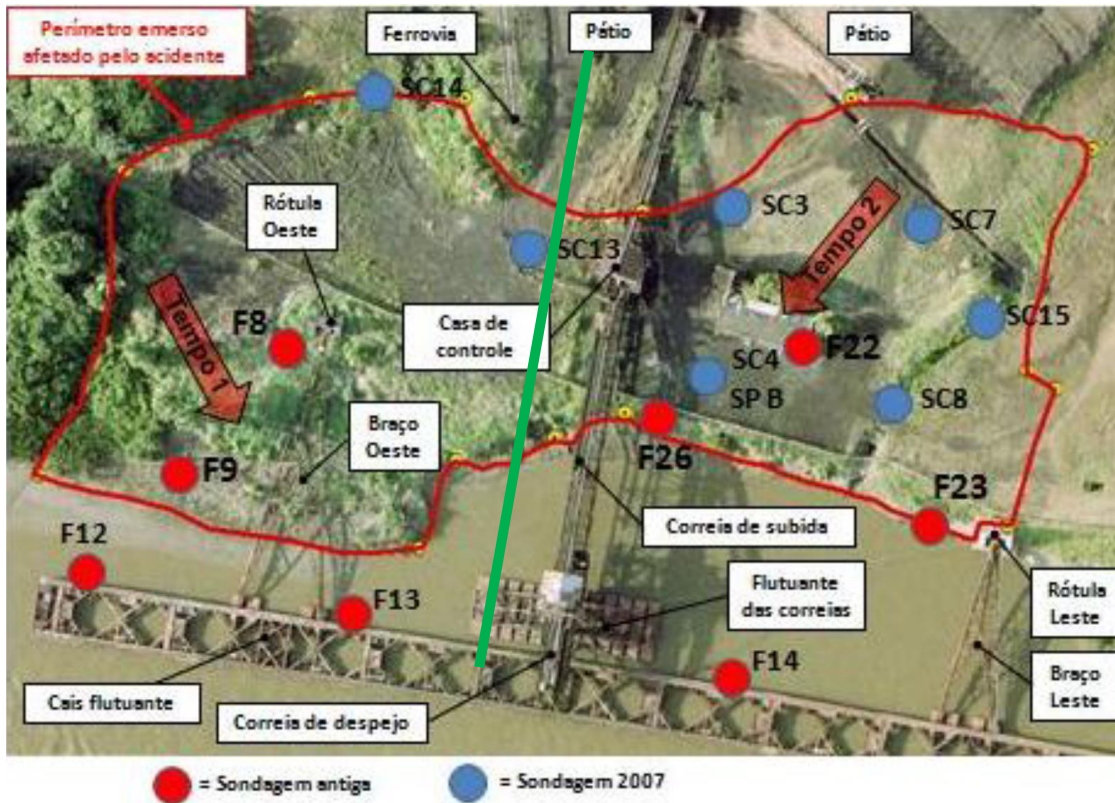


Figura 5

Com base nos dados disponíveis pode afirmar-se que esta secção não é representativa das condições ocorrentes mais à esquerda, onde alegadamente se iniciou o movimento de terras. Na figura seguinte indica-se a cota da base das argilas moles a muito moles (definidas como  $NSPT \geq 4$  ou  $S_u > 30kPa$ ), identificada nos trabalhos de prospeção de 2007.



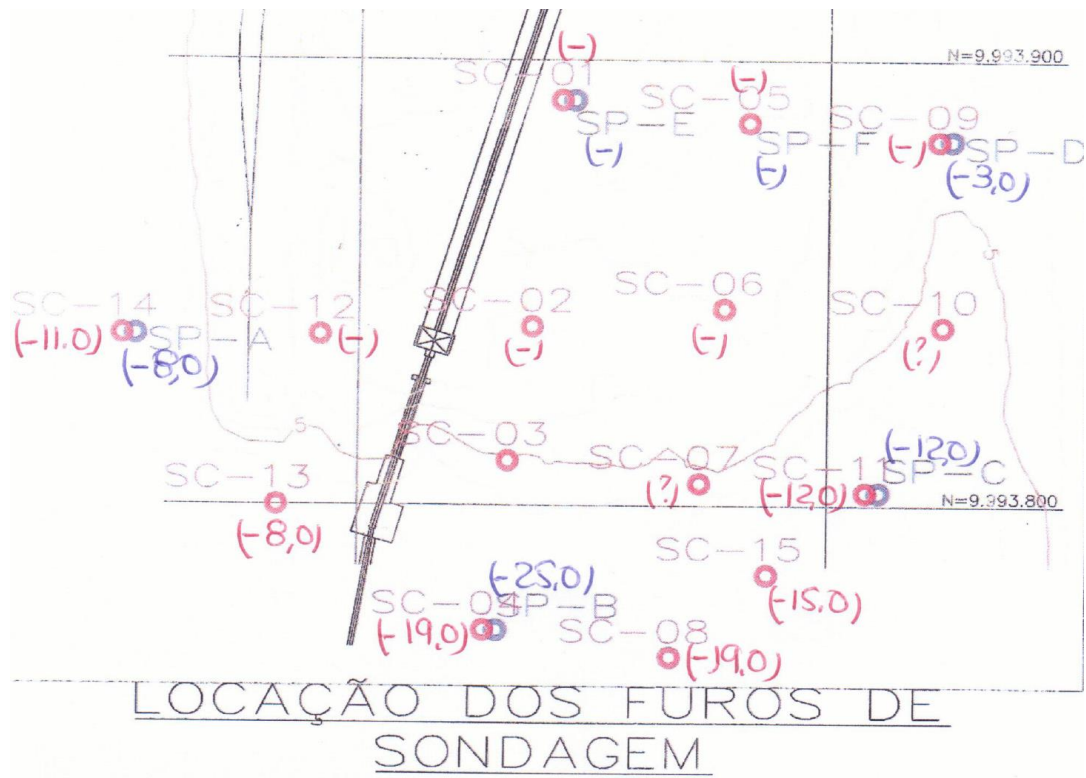


Figura 6

Nos ensaios SC-14 e SP-A de 2007 a camada de argila mole apresenta uma espessura entre 8.0 e 11.0 metros, o que sugere que numa secção representativa da primeira rotura, a camada de argila mole se estende mais para o interior do que o considerado na secção analisada.

O efeito da geometria da secção não será considerado de momento.

### Presença de pilha *sinter feed* (pilha pequena)

Procedeu-se em seguida à consideração da existência da pilha *sinter feed*, localizada imediatamente à esquerda do *shiploader*, cuja presença em condições correntes de exploração foi admitida no relatório C1041-130720-R7, mas não foi considerada nas análises de estabilidade. De acordo com a informação existente, considerou-se uma pilha com 3 metros de altura e 12 metros de largura de implantação (correspondente a cerca de 80 toneladas por metro de desenvolvimento, na direção perpendicular à secção analisada). Admitiu-se que o material da pilha tem peso específico igual a  $25\text{kN/m}^3$  (de acordo com a literatura o minério de ferro pode apresentar peso específico variável entre 21 e  $29\text{kN/m}^3$ , tendo-se optado pelo valor médio), ângulo de resistência ao corte igual a  $35^\circ$  e coesão nula.

Para a situação de NA mínimo e com a presença da pilha *sinter feed* junto ao *shiploader*, obteve-se um  $\text{FS}=1.17$ .

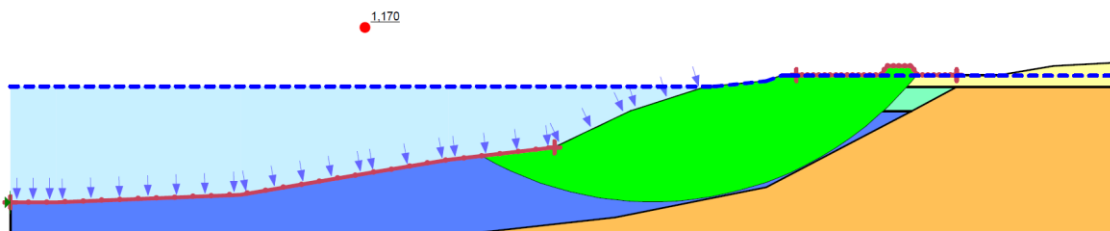


Figura 7

Este fator de segurança é insuficiente para uma situação de projeto, não havendo margem de segurança para acomodar pequenas variações na geometria (aumento da inclinação do talude submerso ou aumento da profundidade da camada de solo mole), condições de carregamento (maiores dimensão da pilha) ou propriedades dos materiais em relação aos admitidos (maior peso específico do solo ou menor resistência), ou aproximações associadas ao modelo de cálculo.

Este fato é particularmente relevante uma vez que a análise de estabilidade é realizada em termos de tensões totais, ou seja, utilizando uma resistência não drenada para caracterizar a resistência dos solos. A resistência não drenada não é um parâmetro intrínseco de um dado solo, verificando-se que depende do estado de tensão inicial, da trajetória de tensões, a taxa de aplicação do carregamento, entre outros, havendo sempre uma incerteza significativa quanto ao valor que irá ser mobilizado na obra sob determinadas condições. Sendo assim a metodologia considerada de boa arte consiste em adotar valores conservadores para a resistência não drenada e assegurar fatores de segurança confortáveis.

### **Parâmetros de resistência**

Sem querer entrar numa análise dos valores de resistência não drenada adotados no relatório C1041-130720-R7 da Geoprojetos, cita-se este relatório que a propósito do valor adotado para a resistência não drenada da argila mole 1 diz “A resistência não drenada das passagens de solos sensíveis é em média 34kPa (faixa entre 26 a 40kPa)”.

Neste modelo de cálculo o solo é considerado como um meio homogêneo; na realidade o solo é heterogêneo e a superfície de deslizamento tende a intersectar os níveis com menor resistência. Sendo assim a estabilidade de taludes não é controlada pela resistência média, mas em regra por um valor próximo do limite inferior.

## **4. Comentários Específicos**

Toda a linha de argumentação do consultor nomeado pela Anglo se baseia, de acordo com o que se encontra escrito nas páginas do seu relatório C1041-130720-R7, no pressuposto que a informação existente fazia supor que os taludes se encontravam com uma margem de segurança satisfatória e a rotura ocorreu devido a uma perda de resistência da argila.

**Transcrevemos o escrito na pág. 19:**

“...Ocorreu uma perda de resistência considerável na argila mole. Basta notar a discrepância entre a resistência não drenada do solo mole fixada com base nos ensaios (34 kPa) e a resistência não drenada que nele veio a prevalecer durante a ruptura (25 kPa) obtida da retro análise.

A perda de resistência na argila coloca-se, portanto, como causa provável do acidente.

Retrospectivamente, à luz do acidente ocorrido e da descoberta da natureza sensível da argila estes resultados indicam que a segurança do trecho que veio a sofrer o movimento de massa, ao contrário do que seria de se acreditar com base nas análises de projeto, variava diariamente entre uma situação de segurança intermediária (coeficiente de segurança da ordem 1,20 com nível de água alto) e uma situação limítrofe (coeficiente próximo a 1,00 com nível de água baixo)...”.

Através das análises efetuadas pela UON verificamos que esta constatação não se pode retirar dos cálculos, porquanto as análises de projeto apresentadas não traduzem as condições de estabilidade da margem, ocorrentes em condições de exploração normal:

- A estabilidade da secção é altamente sensível à resistência não drenada do solo mole e as análises efetuadas pela Geoprojetos servem-se de características favoráveis à obtenção de um coeficiente de segurança elevado.

De forma a trabalhar no âmbito da segurança, elemento sempre presente na análise de estabilidade de taludes e de boa prática, verificamos que sendo o solo um meio por si heterogêneo, deverão ser adotados valores para a resistência do solo próximo do limite inferior e não um valor médio.

Não foi assim privilegiada a segurança.

- A estabilidade da secção é altamente sensível às cargas sobre o mesmo.

A análise de estabilidade que elaboramos, com uma pilha de *sinter feed* de pequenas dimensões, admitindo as condições previstas pela Geoprojetos, conduz a um fator de segurança de 1,17. Este fator de segurança é insuficiente para uma situação de projeto, não havendo margem de segurança para acomodar pequenas variações na geometria, condições de carregamento, propriedades dos materiais em relação aos admitidos ou aproximações associadas ao modelo de cálculo.

De acordo com o Laudo de Exame Pericial da Capitania dos Portos de Amapá, sobre o aterro estariam assentes duas pilhas de minério, propriedade da UNAMGEN, de 65.000 toneladas e 55.000 toneladas. Entretanto, consideramos que tais pilhas seriam de 30.000 toneladas e 15.000 toneladas, uma em cada lado da esteira transportadora, conforme informação registrada em ata de reunião realizada em 15/10/2013, pela diretoria da Anglo.

Realizou-se então uma análise, idêntica àquela que se mostra na Figura 7, mas se considera uma pilha de minério de maiores dimensões. Verificou-se que a situação de rotura (ou seja, fator de segurança igual a 1.0) é atingida quando se considera uma pilha de minério com cerca de 5 m de altura e 20 metros de largura (correspondente a cerca de 190 toneladas por metro de desenvolvimento na direção perpendicular à secção analisada), dimensões muito inferiores às identificadas nos depósitos dos funcionários da Anglo (Figura 8).

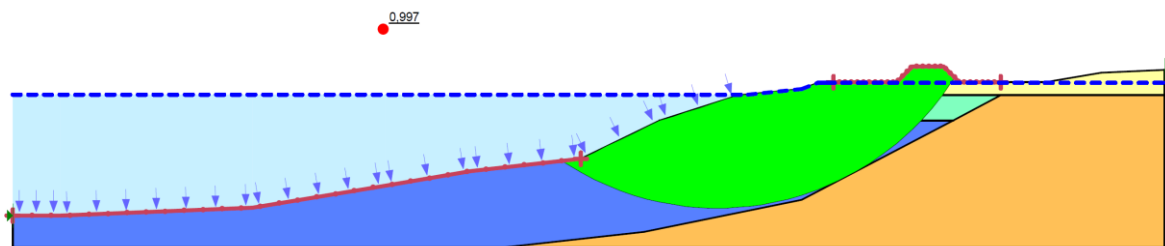


Figura 8

- A secção reproduzida não corresponde à zona à esquerda, onde se supõe que se tenha iniciado o movimento de terras.

Após termos verificado a distância entre a margem e o ponto de entrada da superfície de rotura e a extensão lateral do solo mole, constatamos que a secção sobre a qual a Geoprojetos procura trabalhar não se encontra junto à rótula Oeste de apoio da superestrutura do píer flutuante (conforme indicado na Figura 4, pág. 6, do seu relatório, mas sim junto à esteira de carregamento.)

Neste relatório não foi analisado o efeito desta discrepância. Contudo se o movimento de terras se iniciou de fato na zona à esquerda, será verossímil que uma secção representativa dessa zona será mais condicionante.

## 5. Conclusões

A UON elaborou um estudo com vista à crítica da Análise de Estabilidade feita pelos assessores da Anglo, a Geoprojetos – Engenharia, Ltda.

Com base nesta análise de estabilidade, a Geoprojetos – Engenharia, Ltda conclui que as condições de estabilidade no local indicavam que o talude objeto de sinistro se encontrava com coeficientes de segurança aceitáveis.

O estudo que a UON realizou demonstra que esse não é o caso, e que após revistos e retificados alguns dos pressupostos de base sobre os quais a análise de estabilidade assentou – pesquisa da superfície crítica e a consideração do peso da pilha de minério – se constata que o factor de segurança da margem do Porto de Santana em condições normais de exploração seria de 1.17, um valor insuficiente. Demonstra-se ainda que a revisão de outros aspectos - nomeadamente a geometria da secção e o valor da resistência não drenada das camadas de argila mole poderá conduzir a uma redução acrescida do fator de segurança.

Demonstrou-se ainda que a colocação de uma pilha de maiores dimensões, como as pilhas da UNAMGEN, de 65.000 toneladas e 55.000 toneladas, identificadas no Laudo de Exame Pericial da Capitania dos Portos de Amapá, conduz a uma redução do coeficiente de segurança do talude para valores inferiores a 1, correspondentes a uma situação de rotura, ou próximos a 1, se considerarmos as pilhas de 30.000 toneladas e 15.000 toneladas, registradas em ata pela diretoria da Anglo, que já acarreta uma situação de elevado risco.

Estas análises confirmam as nossas afirmações anteriores, de que o talude se encontrava numa situação de estabilidade precária e que a colocação de pilhas de minério próximo da margem conduziu à rotura do talude.

Ainda que não se considerem as pilhas de minério da UNAMGEN, somos de opinião que as condições adotadas para a Análise de Estabilidade da secção considerada na fig. 4 do relatório C1041-130720-R7 não são compatíveis com uma análise de estabilidade que tenha por base a segurança.

Em suma, o talude quer em condições correntes de serviço sem as pilhas de minério da UNAMGEN, ou com as mesmas, estaria, em nossa opinião, em qualquer dos casos com coeficientes de segurança não aceitáveis, não respeitando o disposto na Norma 19682 – Estabilidade de Taludes -, nomeadamente no seu capítulo 7.37. Fatores de Segurança.