



# Geoconsultoria

**Cliente :** VALE S.A

**Projeto :** Mina do Córrego do Feijão

**Objeto :** Barragem 1  
Níveis de segurança da instrumentação - Cota 942 m

**Docto. :** Relatório Técnico  
VL47-RT-05 Rev. 1 Janeiro, 2018

Data	Rev.	Descrição	Por	Aprov.
11/04/16	0	Para conhecimento e aprovação	mfs/ahv	pca
20/04/16	0	Para conhecimento e aprovação	mfs/ahv	pca
24/01/18	1	Alteração nível PZF-13 e PZ-4C	ahv	pca

Cópias : 1 via cliente / 1 via arquivo

*Atenção : A cópia deste documento somente terá validade se conferir com as vias rubricadas por representante legal da Geoconsultoria, na última revisão*

<b>INTRODUÇÃO</b>		<b>PÁGINA</b>
1.	INTRODUÇÃO	02
2.	MODOS DE RUPTURA DA BARRAGEM	03
3.	NÍVEIS DE SEGURANÇA	04
4.	FREQUÊNCIA DE LEITURA DOS INSTRUMENTOS	06
5.	AÇÕES DE RESPOSTA	11
6.	NÍVEIS DE SEGURANÇA PARA A INSTRUMENTAÇÃO	12

## **ANEXOS**

Figuras 1 a 14  
Desenho VL47-DE-202 a 208

## 1. INTRODUÇÃO

Este relatório tem como objetivo apresentar possíveis modos de ruptura e os níveis de segurança da barragem para cota de alteamento 942 m. Os níveis de segurança são representados nos seguintes níveis: normal, atenção, alerta e emergência, sendo esta a ordem crescente da probabilidade de ruptura. Neste relatório também será apresentada a frequência de leitura dos indicadores de nível d'água (INA's) e piezômetros (PZ's).

Os níveis de segurança estão baseados principalmente na resistência que condiciona a estabilidade da estrutura, ou seja, na determinação de fatores de segurança que indicam a razão entre as forças resistentes e as forças atuantes.

O principal agente condicionador da estabilidade da barragem é a poro-pressão gerada por carga hidráulica. Esta é monitorada pelos piezômetros e medidores de nível d'água. Outros instrumentos, como pluviômetro, régua do reservatório e medidores de vazão auxiliam na interpretação destes instrumentos.

Aterros heterogêneos, como o da Barragem 1, mostram ocorrência de lentes menos permeáveis em meio à massa mais permeável e fluxos transientes que afetam a distribuição das poro-pressões medidas em campo. No entanto, para o presente trabalho considera-se, de maneira simplificada, o maciço homogêneo. Por esta razão, quando da avaliação dos níveis de segurança, para os NA's medidos, deve-se tomar cuidado na interpretação dos dados.

O presente relatório expõe alguns elementos que auxiliam no controle da segurança da barragem. Estes elementos correspondem as poro-pressões medidas por piezômetros e indicadores de nível d'água. Análises de estabilidade foram utilizadas para determinar as cotas piezométricas para os níveis de segurança para cada instrumento monitorado.

Embora o controle de cotas piezométricas seja mais palpável e fácil, não se deve atentar apenas para esses critérios na avaliação da condição de segurança da barragem. Análises periódicas detalhadas de toda instrumentação e de eventuais ensaios "in situ", associadas às inspeções rotineiras da barragem, são a forma mais eficiente para averiguar a real situação da barragem.

Salienta-se que, as análises de estabilidade realizadas são somente para a condição estática, não sendo verificados efeitos dinâmicos.

O desenho VL47-DE-202 mostra a localização dos instrumentos instalados na barragem.

## 2. MODOS DE RUPTURA DA BARRAGEM

De maneira resumida, a barragem poderá romper por galgamento, em que o N.A. do reservatório se eleva muito, até alcançar e passar sobre a crista; por cisalhamento, em que a barragem poderá romper por acréscimo de poro-pressão, que reduz a resistência do material do aterro; e por erosão interna (“piping”).

Para impedir o galgamento, o N.A. do reservatório deverá se manter sempre com mais de 1 m abaixo da crista.

Para evitar ruptura da barragem por aumento da poro-pressão no maciço, o N.A. dos INA's e PZ's deverá se manter abaixo da superfície freática definida nas análises de estabilidade para FS = 1,5, considerando parâmetros de resistência e modelagem numérica estática.

Os medidores de deformação da barragem - marcos superficiais e inclinômetros - não devem acusar movimentação do maciço.

Os drenos devem exibir vazões constantes, com elevação por conta de chuvas ou por elevação do N.A. no maciço da barragem. Estes comportamentos serão discutidos no próximo item, indicando-se os comportamentos que podem ser tidos como normais, e aqueles outros que requerem sempre atenção dos operadores da barragem.

### 3. NÍVEIS DE SEGURANÇA

De acordo com critérios e conceitos da Geoconsultoria, níveis de segurança são valores medidos na instrumentação das barragens que, se comparados com valores definidos no projeto, colocam em risco a estabilidade das mesmas e exigem ações preventivas ou corretivas dos seus operadores e/ou proprietários.

Os valores definidos no projeto, que devem servir como referências para avaliação dos níveis de segurança são:

- Borda livre mínima de 1 m
- Nível de pressão neutra para FS = 1,5
- Largura da praia mínima de 150 m

A Geoconsultoria considera os seguintes níveis de segurança:

- Normal
- Atenção
- Alerta
- Emergência

#### Nível Normal

O nível normal é aquele em que o valor medido dos PZ's e INA's está abaixo daquele determinado com análises de estabilidade para condição de FS  $\geq 1,5$  e o N.A. do reservatório respeita a borda livre mínima.

#### Nível de Atenção

O nível de atenção é aquele que o valor medido superou o valor de projeto para a condição estável da barragem, mas ainda não significa risco imediato de ruptura.

- No caso de risco de galgamento, significa que o N.A. do reservatório está situado entre 1,0 m e 0,5 m da crista, sendo 1 m a borda livre mínima.
- Para o caso da piezometria, corresponde ao N.A. dos instrumentos para FS entre 1,3 e 1,5.
- No caso da largura da praia, significa que a mesma pode ter sido eliminada e o nível d'água pode está encostado no talude montante da barragem.

#### Nível de Alerta

Nível de alerta é aquele em que o valor superou o valor de projeto para a condição estável da barragem e representa risco potencial para a ruptura da mesma.

- No caso de galgamento, significa que o N.A. do reservatório está situado entre 0,5 e 0,0 m, sendo 1 m a borda livre mínima.
- No caso da piezometria, significa que o N.A. dos instrumentos resulta em F.S. entre 1,1 e 1,3.
- No caso da largura da praia, significa que a mesma foi eliminada e o nível d'água está encostado no talude montante da barragem.

### Nível de Emergência

Nível de emergência é aquele em que o valor superou o valor de projeto para a condição estável da barragem e representa risco eminente para a ruptura da mesma.

- No caso de galgamento, significa que o N.A. do reservatório está situado entre 0,5 e 0,0 m, sendo 1 m a borda livre mínima.
- No caso da piezometria, significa que o N.A. dos instrumentos resulta em F.S. inferior a 1,1.
- No caso da largura da praia, significa que a mesma foi eliminada e o nível d'água está encostado no talude montante da barragem.

#### 4. FREQUÊNCIA DE LEITURA DOS INSTRUMENTOS

A seguir são apresentados os instrumentos instalados na Barragem 1, bem como a frequência de leitura dos medidores de nível d'água e piezômetros.

A instrumentação instalada na barragem 1, como já referido, compreende:

- Piezômetros e INA's
- Réguas no reservatório
- Inclinômetros
- Drenos

Os desenhos VL47-DE-202 a VL47-DE-208 apresentam a implantação e as seções transversais com os instrumentos. Os tipos e quantidades de instrumentos estão indicados na tabela 1, a seguir:

Tabela 1 - Resumo da instrumentação instalada na barragem 1

	Instrumento	Qtde.	Objetivo	Local	Observação
1	Marco Superficial	18	Medir deformações horizontais e verticais (recalques)	Sobre as bermas dos diques	Instalados em 2006
2	Inclinômetro	2	Medir deformações em profundidade na barragem e detectar possíveis círculos de ruptura	Fixo na fundação; seções principais; parte central da barragem.	Instalados em 2005. Profundidades de 35 e 45 m.
3	Piezômetro Casagrande	90	Medir pressões neutras	Fundação dos diques; no aterro de rejeito e nos maciços dos diques.	Alguns talvez não estejam funcionando.
4	Indicador de nível d'água	38	Medir pressões neutras - hidrostáticas	Aterro de rejeito e nos maciços dos diques iniciais	Alguns talvez não estejam funcionando.
5	Drenos controlados com medição de vazão	53	Medir a vazão dos drenos e consequentemente a vazão percolada pela Barragem 1	Nos taludes de jusante dos diques da barragem	Vários drenos encontram-se secos.
6	Régua de medição de nível d'água no reservatório	1	Medir o nível d'água do reservatório	Próximo ao talude esquerdo do reservatório	A régua foi instalada em 2004.
7	Pluviômetro	1	Medir o índice pluviométrico da região	Região de Córrego do Feijão - Região da Barragem 1	

A frequência de leitura dos instrumentos foi estabelecida com base em alguns critérios, conforme descritos a seguir:

- *Histórico de leituras*: Há instrumentos que historicamente apresentam-se secos, portanto para esses foram reduzidas as frequências de leituras, sendo que estas poderão ser alteradas caso sejam identificadas leitura de nível d'água no instrumento.
- *Proximidades entre instrumentos*: optou por adotar leituras com maior frequência apenas para 1 instrumento, pois este pode representar o comportamento do nível freático na

região. Entretanto, caso seja identificado elevação significativa na leitura, à frequência deste e dos demais instrumentos poderá ser intensificada.

- *Instrumentos de baixas profundidades:* de forma geral estes instrumentos apresentam se secos, portanto não há necessidade de leituras frequentes. Entretanto, caso seja identificado elevação significativa na leitura, à frequência destes instrumentos poderá ser intensificada.

Na tabela 2 são nomeados todos os instrumentos instalados e em operação na barragem 1, com a frequência recomendada para as leituras dos mesmos. Adicionalmente, são apresentadas algumas observações que deverão ser verificados a posteriori.

Tabela 2 – Frequência recomendada para leitura dos instrumentos.

Nº. Sequencial	Instrumento	Localização		Frequência de medições (ver nota 1 e 2)				Observações
		Seção	Berma	Q	M	B	T	
1	PZC-19B	4	871,5	x				
2	PZ3C	4	885	x				verificar profundidade
3	PZM-15	4	885	x				verificar profundidade e observar evolução
4	PZ18C	1	909	x				
5	PZ21C	3	909	x				
6	PZ23C	4	909	x				
7	PZ20C	entre 2 e 3	909	x				
8	INA-07	4	922	x				
9	INA-09	5	922	x				
10	PZ47C	1	929	x				
11	PZM-6	3	871,5		x			verificar funcionamento
12	PZC-20C	entre 3 e 4	871,5		x			
13	PZ12C	2	885		x			
14	PZC-25	5	885		x			
15	PZF-1	1	885		x			
16	PZF-19	5	885		x			
17	PZM-7	3	885		x			
18	PZM-16	entre 3 e 4	885		x			
19	PZ4C	4	890		x			verificar profundidade
20	PZC-24	2	890		x			
39	PZM-20	5	890		x			
21	PZC-21	1	893		x			
22	PZM-9	3	893		x			
38	PZM-17	4	893		x			
23	INA-06	3	899		x			
24	INA-08	4	899		x			
25	INA-17	2	899		x			
26	PZ5C	4	899		x			
27	PZ6C	4	899		x			
28	PZC-23	2	899		x			
29	PZM-22	5	899		x			
30	INA-03	2	904		x			
31	INA-21	4	904		x			
32	PZ19C-1	2	904		x			
33	PZ22C-1	3	904		x			Caso seja identificado elevação considerável no PZ21C, a leitura deverá ocorrer quinzenalmente.
34	PZ24C	4	904		x			
35	PZ26C	5	904		x			
36	PZ17C	1	909		x			Caso seja identificado elevação considerável

Nº. Sequencial	Instrumento	Localização		Frequência de medições (ver nota 1 e 2)				Observações
		Seção	Berma	Q	M	B	T	
								no PZ18C, a leitura deverá ocorrer quinzenalmente.
37	PZ25C	5	909		x			
40	INA-01	1	916		x			
41	INA-02	2	916		x			Caso seja identificado elevação considerável no PZ20C, a leitura deverá ocorrer quinzenalmente.
42	INA-05	3	916		x			Caso seja identificado elevação considerável no PZ21C, a leitura deverá ocorrer quinzenalmente.
43	INA-12	0	916		x			
44	PZ27C	1	916		x			
45	PZ30C	2	916		x			Caso seja identificado elevação considerável no PZ20C, a leitura deverá ocorrer quinzenalmente.
46	PZ35C	5	916		x			
47	INA-11	0	922		x			
48	INA-14	6	922		x			
49	INA-13	6	929		x			
50	PZ48C	2	929		x			
51	PZ49C	3	929		x			
52	PZ11C	2	inicial		x			
53	PZF-11-1	4	inicial		x			Última leitura em 26/11/2014 - Verificar funcionamento.
54	PZC-19C	4	871,5			x		Caso seja identificado elevação considerável no PZC19B, a leitura deverá ocorrer no mínimo mensalmente.
55	PZM-14	4	871,5			x		Caso seja identificado elevação considerável no PZ3C, a leitura deverá ocorrer no mínimo mensalmente.
56	PZF-23	entre 4 e 5	871,5			x		
57	INA-22	2	890			x		Se em alguma leitura observar nível d'água, a frequência de leituras deverá ser no mínimo mensal.
58	PZM-2	1	890			x		
59	PZC-22	2	899			x		Caso seja identificado elevação considerável no PZ23C, a leitura deverá ocorrer mensalmente ou quinzenalmente.
60	INA-10	5	904			x		Caso seja identificado elevação considerável no PZ26C, a leitura deverá ocorrer no mínimo mensalmente.
61	PZ28C	1	916			x		Caso seja identificado elevação considerável no PZ27C e/ou INA-01, a leitura deverá ocorrer mensalmente ou quinzenalmente.
62	PZ32C	3	916			x		Se em alguma leitura observar nível d'água à frequência de leituras deverá ser no mínimo mensal.
63	PZ34C	4	916			x		Se em alguma leitura observar nível d'água, a frequência de leituras deverá ser no mínimo mensal.
64	PZ36C	5	916			x		Caso seja identificado elevação considerável no PZ35C, a leitura deverá ocorrer quinzenalmente.
65	PZ40C	2	922			x		Se em alguma leitura observar nível d'água, a frequência de leituras deverá ser no mínimo mensal.
66	PZ42C	3	922			x		Se em alguma leitura observar nível d'água, a frequência de leituras deverá ser no mínimo

Nº. Sequencial	Instrumento	Localização		Frequência de medições (ver nota 1 e 2)				Observações
		Seção	Berma	Q	M	B	T	
								mensal.
67	PZ46C	5	922			x		Se em alguma leitura observar nível d'água, a frequência de leituras deverá ser no mínimo mensal.
68	PZ50C	4	929			x		
69	PZ51C	5	929			x		
70	INA-24	0	937			x		
71	INA-25	1	937			x		
72	INA-26	2	937			x		
73	INA-27	3	937			x		
74	INA-28	4	937			x		
75	INA-29	5	937			x		
76	INA-30	6	937			x		
77	INA-31	0	942			x		
78	INA-32	1	942			x		
79	INA-33	2	942			x		
80	INA-34	3	942			x		
81	INA-35	4	942			x		
82	INA-36	5	942			x		
83	INA-37	6	942			x		
84	INA-38	7	942			x		
85	PZ1C	4	inicial			x		Se em alguma leitura observar nível d'água, a frequência de leituras deverá ser no mínimo mensal.
86	PZ2C	4	inicial			x		Observar evolução
87	PZF-13	4	871,5				x	Caso seja identificado elevação no PZC19B, à frequência de leitura deverá ser, no mínimo, mensal.
88	PZF-5	2	871,5				x	
89	PZC-20B	entre 3 e 4	871,5				x	
90	INA-23	2	893				x	Se em alguma leitura observar nível d'água, a frequência de leituras deverá ser quinzenal.
91	PZM-10	3	899				x	Se em alguma leitura observar nível d'água, a frequência de leituras deverá ser quinzenal.
92	PZ29C	2	916				x	Caso seja identificado elevação considerável no PZ30C, à frequência de leituras deverá ser, no mínimo, mensalmente.
93	PZ33C	4	916				x	Se em alguma leitura observar nível d'água, a frequência de leituras deverá ser quinzenal.
94	PZ37C	1	922				x	
95	PZ39C	2	922				x	Caso seja identificado elevação considerável no PZ30C, à frequência de leituras deverá ser, no mínimo, mensalmente.
96	PZ41C	3	922				x	Se em alguma leitura observar nível d'água, à frequência de leituras deverá ser quinzenal.
97	PZ43C	4	922				x	
98	PZ44C	4	922				x	Ultima leitura em 18/08/2009 - Verificar funcionamento.
99	PZ45C-1	5	922				x	Se em alguma leitura observar nível d'água, à frequência de leituras deverá ser quinzenal.
100	PZ52C	1	929				x	
101	PZ53C	3	929				x	Se em alguma leitura observar nível d'água, à frequência de leituras deverá ser quinzenal.
102	PZ54C	5	929				x	Se em alguma leitura observar nível d'água, à frequência de leituras deverá ser quinzenal.
103	PZC-26	0	937				x	

Nº. Sequencial	Instrumento	Localização		Frequência de medições (ver nota 1 e 2)				Observações
		Seção	Berma	Q	M	B	T	
104	PZC-27	1	937				x	
105	PZC-28	4	937				x	
106	PZC-29	3	937				x	
107	PZC-30	4	937				x	
108	PZC-31	5	937				x	
109	PZC-32	6	937				x	
110	PZC-33	0	942				x	
111	PZC-34	1	942				x	
112	PZC-35	2	942				x	
113	PZC-36	3	942				x	
114	PZC-37	4	942				x	
115	PZC-38	5	942				x	
116	PZC-39	6	942				x	
117	PZC-40	OMB. ESQUERDA	942				x	
118	INA-04	2	praia					Não foi encontrado registro de leitura (deve ter sido destruído).
119	INA-15	4	praia					Não foi encontrado registro de leitura (deve ter sido destruído).
120	INA-16	5	praia					Não foi encontrado registro de leitura (deve ter sido destruído).
121	INA-18	5	praia					Não foi encontrado registro de leitura (deve ter sido destruído).
122	PZM-4	1	899					Não foi encontrado registro de leitura.
123	PZ13C	2	893					Não foi encontrado registro de leitura.
124	PZ14C-1	2	899					Não foi encontrado registro de leitura.
125	PZ16C	2	904					Não foi encontrado registro de leitura.
126	INA-19A	4	871,5					Não foi encontrado registro de leitura.
127	INA-20A	entre 3 e 4	871,5					Não foi encontrado registro de leitura.
128	PZ38C	1	922					Não foi encontrado registro de leitura.
129	PZF-11	4	inicial					destruído/substituído
130	PZM-18	4	899					destruído
131	PZ14C	2	899					destruído/substituído
132	PZ15C	2	899					destruído/substituído
133	PZ19C	1	904					destruído/substituído
134	PZ22C	3	904					destruído/substituído
135	PZ31C	3	916					destruído
136	PZ45C	5	922					destruído/substituído

Nota: <sup>1</sup>Para os instrumentos com leituras bimestral e trimestral, se for observado elevação considerável na leitura dos instrumentos a montante e/ou a jusante, estes deverão ser aferidos, independentemente da frequência de medição.

<sup>2</sup> Q - Quinzenal; M - Mensal; B - Bimestral; T - Trimestral

## 5. AÇÕES DE RESPOSTA

Para cada nível de alerta devem corresponder ações da equipe responsável pela operação da barragem, a saber:

Nível normal: Continuar as leituras dos instrumentos

Nível de atenção: Observar  
Identificar as causas  
Avaliar a evolução  
Aumentar a frequência das leituras/medições - semanais  
Consultar a projetista  
Adotar ou preparar-se para adotar medidas corretivas

Nível de alerta: Convocar a Projetista  
Aumentar a frequência das leituras/medições - diárias  
Adotar ações corretivas  
Adotar ações preparatórias para emergência  
Participar e envolver a Gerência da Unidade

Nível de emergência: Convocar a Projetista  
Aumentar a frequência de leituras / medições - 2 x por dia ou mais  
Adotar ações corretivas  
Adotar ações emergenciais de acordo com o Plano de Emergência  
Participar e envolver a Gerência da Unidade  
Se julgar necessário evacuar as áreas a jusante da barragem

## 6. NÍVEIS DE SEGURANÇA PARA A INSTRUMENTAÇÃO

Na tabela 4 são apresentados os níveis de segurança dos instrumentos, nas respectivas seções de análise, com as profundidades correspondentes aos níveis normal, de atenção, alerta e emergência para a crista da barragem na cota 942 m.

As análises estáticas de estabilidade foram calculadas para as seções 0 a 6 (ver locação em planta, desenho VL47-DE-202), apresentadas nas figuras 1 a 14, buscando círculos de ruptura para FS's iguais a 1,5, 1,3 e 1,1, variando as posições dos NA's. Com base nestas análises foram definidos os níveis máximos para os vários níveis de segurança, os quais são indicados na tabela 4.

Destaca-se que, para uma mesma seção de análise, há várias modelagens que possibilitam o mesmo fator de segurança. A avaliação de segurança aqui apresentada buscou traçar a linha freática que possui um comportamento pertinente aos materiais envolvidos na análise. Ainda assim, conforme discutido nos itens acima, a avaliação de segurança da barragem deve ser baseada na análise conjunta de toda a instrumentação, nos critérios de operação do reservatório e nas inspeções regulares.

Para as análises de estabilidade foram adotados os seguintes parâmetros de resistência apresentados na tabela 3. Os parâmetros foram estimados tendo como base os valores utilizados no projeto e em experiências anteriores em projetos semelhantes.

Tabela 3 – Parâmetros de resistência dos materiais

Material	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	Parâmetros de Resistência	
		Drenada	
		$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
Rejeito compactado	30	5	37
Rejeito lançado fofo	26	0	34
Rejeito lançado compacto	27	0	37
Solo alúvio-coluvionar	18	5	26
Solo silto-argiloso compactado	19,5	10	30
Solo alúvio-coluvionar c/ pedreg.	18	0	33
Solo residual	20	20	30

As análises de estabilidade foram realizadas por meio do método de equilíbrio limite, utilizando-se as formulações apresentadas pelo método de Bishop Simplificado. Para o processamento das análises foi utilizado o software Slide, em condição estática.

Na tabela 4 são apresentados os níveis de segurança dos instrumentos, estimados para as respectivas seções de análises, com profundidade normal do NA e profundidades correspondentes aos níveis normal, de atenção, alerta e emergência para a barragem 1.

Tabela 4 - Variações do NA e níveis de segurança para os piezômetros e indicadores de nível de água (cota 942 m).

Seção	Instrumentos	Berma	Cota de topo do instrumento (m)	Níveis de operação da Barragem 1 em função da leitura dos instrumentos					
				Normal (FS $\geq$ 1,50)	Atenção (1,50<FS $\geq$ 1,30)		Alerta (1,30<FS $\geq$ 1,10)		Emergência (FS<1,10)
				Menor que	De	Até	De	Até	Superior a
SEÇÃO 0	INA-11	922	922,09	920,69	920,69	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA-12	916	916,81	914,97	914,97	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA -24	937	938,14	934,96	934,96	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZC-26		938,145	934,75	934,75	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA -31	942	943,52	940,19	940,19	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZC-33		941,177	938,27	938,27	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
SEÇÃO 1	PZF 1	885	886,13	883,82	883,82	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZM 2	890	890,80	887,00	887,00	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZC-21	893	894,87	890,65	890,65	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ19 C - 1	904	904,47	902,54	902,54	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ17C	909	910,60	909,52	909,52	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ18C		909,50	907,53	907,53	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA -01	916	916,52	913,73	913,73	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ27C		916,07	915,97	915,97	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ28C		917,42	913,95	913,95	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ37C	922	922,21	921,37	921,37	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ38C		922,20	920,00	920,00	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ47C	929	929,91	928,94	928,94	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ52C		930,71	927,38	927,38	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA -25	937	938,21	934,67	934,67	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZC-27		938,217	934,51	934,51	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA -32	942	943,42	939,78	939,78	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZC-34		941,259	937,82	937,82	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	SEÇÃO 2	PZ11C	inicial	876,29	171,31	171,31	875,78	875,78	875,78
PZF 5		871,5	875,89	872,63	872,63	875,79	875,79	875,79	875,79

Seção	Instrumentos	Berma	Cota de topo do instrumento (m)	Níveis de operação da Barragem 1 em função da leitura dos instrumentos					
				Normal (FS $\geq$ 1,50)	Atenção		Alerta		Emergência
					Menor que	De	Até	De	Até
	PZ12C	885	883,77	880,09	880,09	881,05	881,05	889,93	889,93
	INA-22	890	890,87	885,00	885,00	886,17	886,17	888,95	888,95
	PZC-24		891,01	884,35	884,35	885,26	885,26	888,25	888,25
	INA-23	893	894,40	SECO	SECO	889,31	889,31	891,6	891,6
	INA-17	899	898,89	896,13	896,13	897,54	897,54	897,67	897,67
	PZC-22		899,69	889,60	889,60	893,43	893,43	896,08	896,08
	PZC-23		899,62	889,47	889,47	893,21	893,21	895,81	895,81
	PZ19 C - 1	904	904,47	901,48	901,48	902,68	902,68	902,68	902,68
	INA -03		905,38	902,87	902,87	903,93	903,93	903,93	903,93
	PZ20C	909	909,57	907,82	907,82	908,30	908,3	908,3	908,3
	PZ30C	916	917,55	916,18	916,18	916,18	916,18	916,18	916,18
	INA -02		916,65	915,46	915,46	915,59	915,59	915,59	915,59
	PZ29C		916,10	914,47	914,47	914,66	914,66	914,66	914,66
	PZ39C	922	922,42	920,20	920,20	920,56	920,56	920,56	920,56
	PZ40C		922,41	921,38	921,38	921,66	921,66	921,66	921,66
	PZ48C	929	929,30	929,09	929,09	929,27	929,27	929,27	929,27
	INA -26	937	938,33	935,43	935,43	935,80	935,8	935,8	935,8
	INA -33	942	943,53	940,07	940,07	940,64	940,64	Não se Aplica	Não se Aplica
PZC-35	941,162		938,49	938,49	941,64	941,64	Não se Aplica	Não se Aplica	
SEÇÃO 3	PZM 6	871,5	872,28	868,77	868,77	869,58	869,58	870,79	870,79
	PZM 7	885	885,94	878,66	878,66	881,15	881,15	882,27	882,27
	PZM 9	893	893,73	885,88	885,88	888,39	888,39	890,59	890,59
	PZM 10	899	898,96	SECO	SECO	891,37	891,37	894,22	894,22
	INA-06		898,88	896,32	896,32	897,99	897,99	897,99	897,99
	PZ22C-1	904	905,46	901,06	901,06	902,58	902,58	902,58	902,58

Seção	Instrumentos	Berma	Cota de topo do instrumento (m)	Níveis de operação da Barragem 1 em função da leitura dos instrumentos					
				Normal (FS $\geq$ 1,50)	Atenção		Alerta		Emergência
					(1,50<FS $\geq$ 1,30)	De	Até	De	Até
				Menor que	De	Até	De	Até	Superior a
	PZ21C	909	910,92	909,63	909,63	909,86	909,86	909,86	909,86
	PZ32C	916	917,70	916,18	916,18	916,43	916,43	916,43	916,43
	INA-05		916,83	915,53	915,53	915,70	915,70	915,70	915,7
	PZ42C	922	922,66	921,42	921,42	921,90	921,90	921,90	921,9
	PZ41C		922,67	920,33	920,33	921,22	921,22	921,22	921,22
	PZ49C	929	929,43	929,13	929,13	929,37	929,37	929,37	929,37
	PZ53C		930,37	927,19	927,19	928,14	928,14	928,14	928,14
	INA -27	937	938,37	935,30	935,30	935,74	935,74	935,74	935,74
	PZC-29		938,40						
	INA -34	942		940,42	940,42	940,74	940,74	940,74	940,74
	PZC-36		941,20	938,50	938,5	941,74	941,74	941,74	941,74
SEÇÃO 4	PZ1C	Inicial	861,12	858,10	858,10	859,31	859,31	860,11	860,11
	PZ2C		869,62	860,89	860,89	863,61	863,61	865,66	865,66
	PZF 11-1		862,96	859,28	859,28	860,62	860,62	861,62	861,62
	PZC-19C	871,5	872,26	864,35	864,35	867,20	867,20	869,24	869,24
	PZC-19B		872,26	864,42	864,42	866,95	866,95	869,06	869,06
	PZF 13		872,06	864,00	864,00	865,96	865,96	868,10	868,10
	PZM 14		877,24	865,66	865,66	871,37	871,37	873,72	873,72
	PZ3C	885	879,38	866,00	866,00	872,60	872,60	875,00	875,00
	PZM 15		885,37	874,45	874,45	881,35	881,35	885,33	885,33
	PZ4C	890	890,58	876,00	876,00	882,44	882,44	868,80	868,80
	PZM 17	893	893,95	876,64	876,64	884,41	884,41	889,73	889,73
	INA-08	899	899,19	893,30	893,30	896,92	896,92	898,22	898,22
	PZ5C		899,55	879,02	879,02	889,00	889,00	895,30	895,30
PZ6C	899,14		877,65	877,65	887,54	887,54	894,11	894,11	

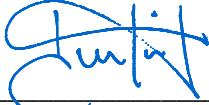
Seção	Instrumentos	Berma	Cota de topo do instrumento (m)	Níveis de operação da Barragem 1 em função da leitura dos instrumentos					
				Normal (FS $\geq$ 1,50)	Atenção		Alerta		Emergência
					(1,50<FS $\geq$ 1,30)	De	Até	De	Até
				Menor que	De	Até	De	Até	Superior a
	INA-21	904	905,62	898,34	898,34	903,11	903,11	903,85	903,85
	PZ24C		905,29	898,22	898,22	902,55	902,55	903,38	903,38
	PZ23C	909	911,55	909,10	909,10	909,24	909,24	910,61	910,61
	PZ33C	916	916,47	SECO	SECO	914,29	914,29	915,36	915,36
	PZ34C		917,95	916,15	916,15	916,21	916,21	916,98	916,98
	INA-07	922	922,32	919,16	919,16	920,70	920,70	921,65	921,65
	PZ43C		922,94	SECO	SECO	919,75	919,75	920,83	920,83
	PZ44C		922,84	920,09	920,09	920,97	920,97	921,85	921,85
	PZ50C	929	929,55	924,48	924,48	928,87	928,87	929,51	929,51
	INA -28	937	938,28	931,68	931,68	934,58	934,58	935,77	935,77
	PZC-30		938,30	931,22	931,22	934,58	934,29	935,6	935,6
	INA -35	942	943,44	938,75	938,75	940,09	940,09	937,25	937,25
	PZC-37		940,975	937,06	937,06	937,11	937,11	938,7	938,7
SEÇÃO 5	PZC-25	885	886,28	880,56	880,56	884,46	884,46	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZF 19		885,71	880,34	880,34	884,60	884,60	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZM 20	890	889,85	884,87	884,87	889,04	889,04	Não se Aplica	
	PZM 22	899	898,62	893,24	893,24	896,84	896,84	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA-10	904	906,32	903,77	903,77	904,38	904,38	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ26C		905,76	901,15	901,15	903,44	903,44	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ25C	909	911,53	909,09	909,09	920,27	920,27	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ35C	916	916,86	916,17	916,17	917,08	917,08	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ36C		918,00	SECO	SECO	915,47	915,47	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA-09	922	923,64	919,22	919,22	922,34	922,34	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ45C -1		923,34	SECO	SECO	921,78	921,78	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ46C		923,31	920,60	920,60	922,54	922,54	Não se Aplica	Não se Aplica

Seção	Instrumentos	Berma	Cota de topo do instrumento (m)	Níveis de operação da Barragem 1 em função da leitura dos instrumentos					
				Normal (FS $\geq$ 1,50)	Atenção (1,50<FS $\geq$ 1,30)		Alerta (1,30<FS $\geq$ 1,10)		Emergência FS<1,10)
					Menor que	De	Até	De	Até
	PZ51C	929	930,50	928,13	928,13	929,82	929,82	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZ54C		930,08	SECO	SECO	928,81	928,81	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA -29	937	938,22	934,04	934,04	936,04	936,04	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZC-31		938,20	930,87	930,87	935,91	935,91	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA -36	942	943,50	938,16	938,16	940,72	940,72	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZC-38		941,0	937,27	937,27	939,03	939,03	Não se Aplica	Não se Aplica
SEÇÃO 6	INA-14	922	924,27	920,45	920,45	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA-13	929	931,40	927,81	927,81	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA -30	937	938,27	933,80	933,8	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZC-32		938,24	933,56	933,56	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	INA -37	942	943,49	939,68	939,68	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
	PZC-39		941,04	936,80	936,8	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica

As figuras com as saídas do programa de análise de estabilidade são apresentadas em Anexo.

Colocamo-nos ao seu inteiro dispor para quaisquer esclarecimentos necessários.

Atenciosamente,



---

Eng.º Adalberto H. Viana  
CREA 5062124275

bcrumbaugh@deloitte.com  
Portal Brumadinho/26:03:2019 14:44  
CONFIDENTIAL

ANEXO

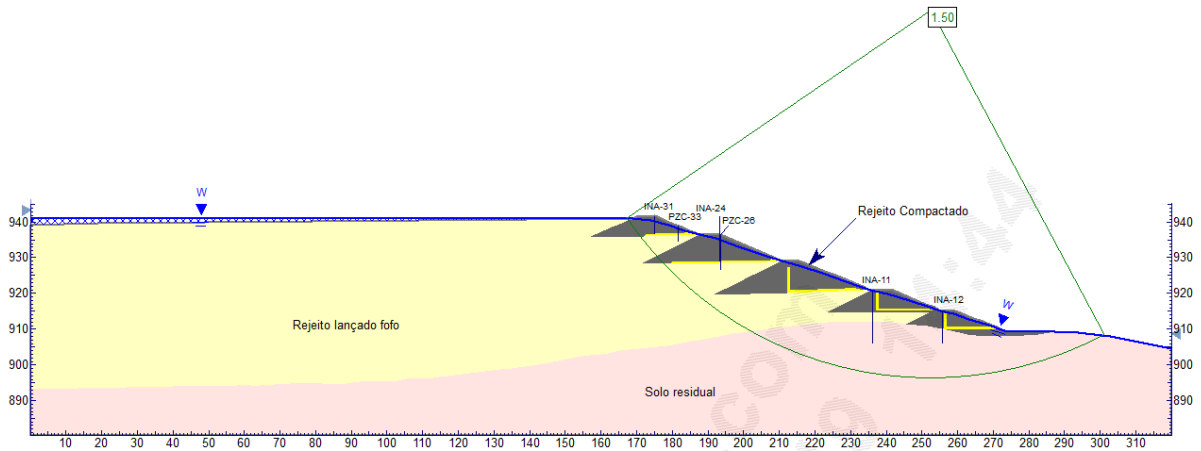


Figura 1 – Seção 0 – Análise de estabilidade para  $F.S=1,5$ .

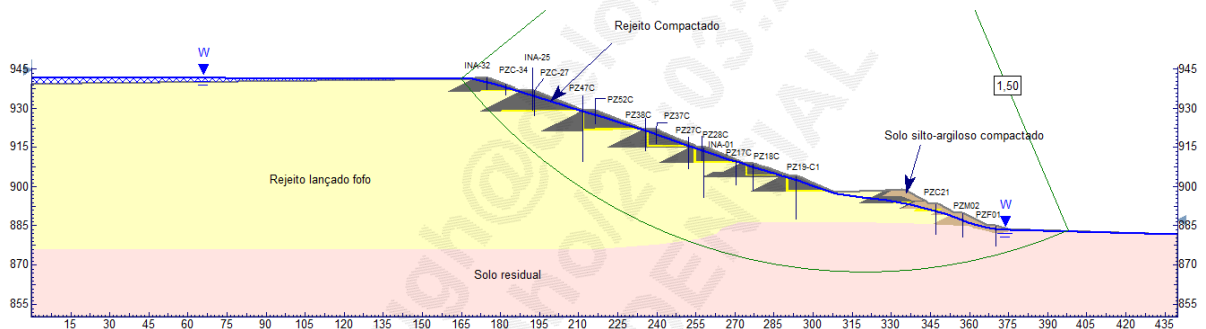


Figura 2 – Seção 1 – Análise de estabilidade para  $F.S=1,5$ .

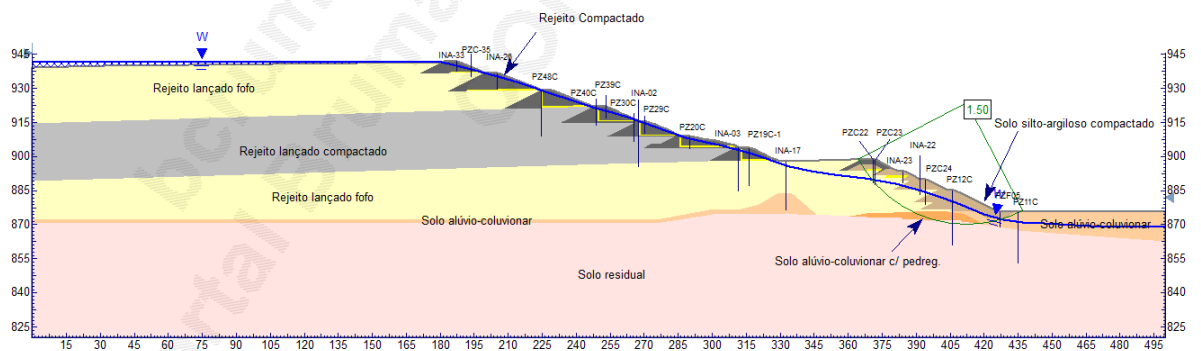
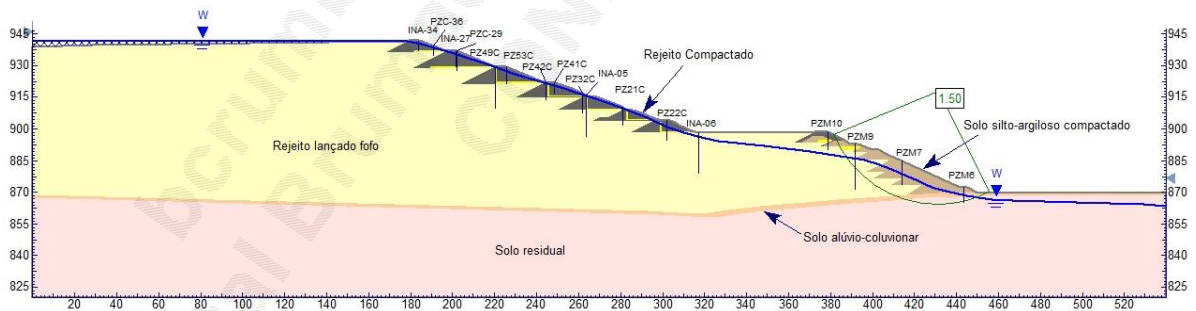
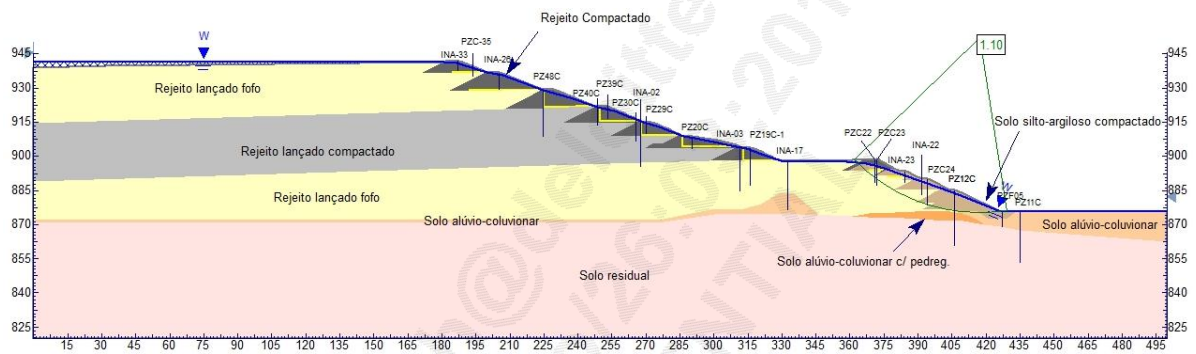
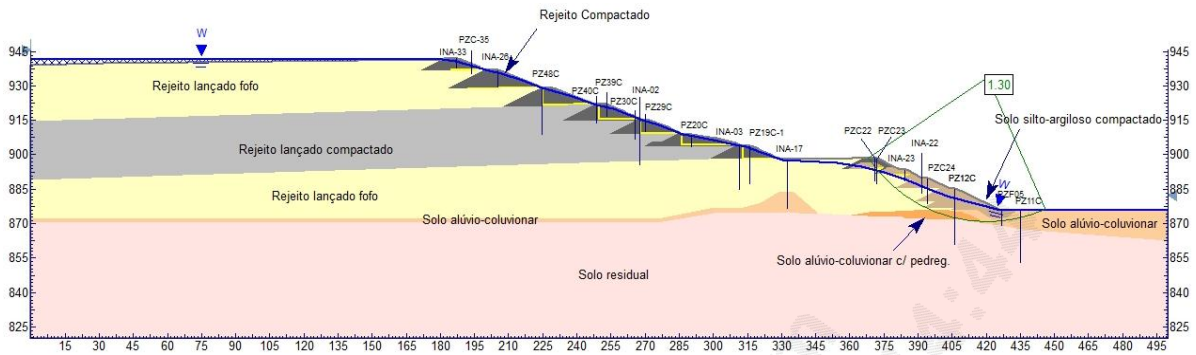
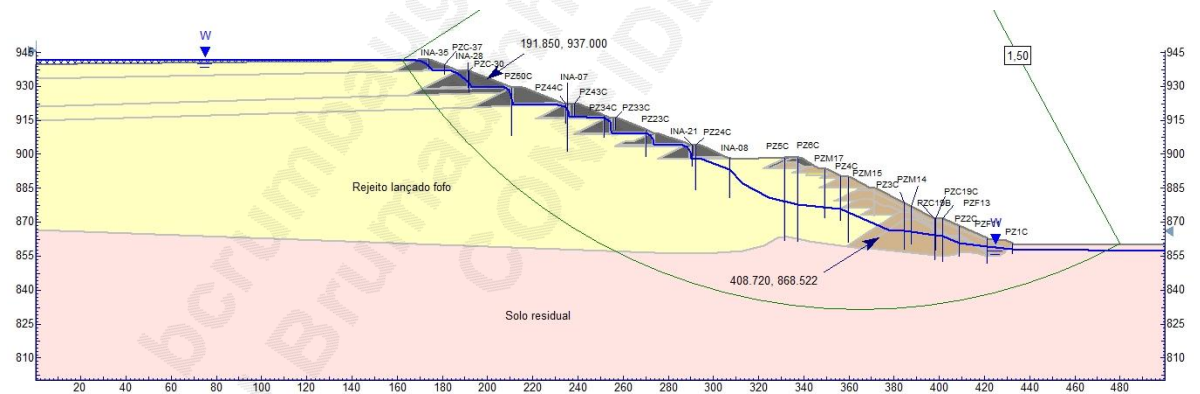
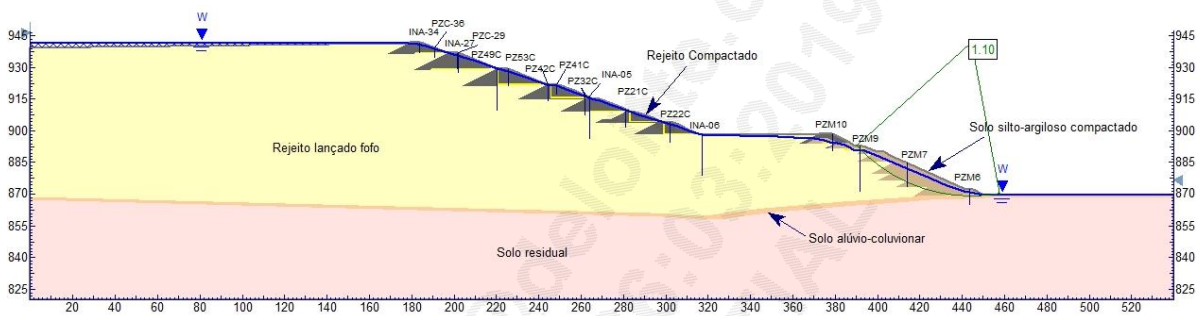
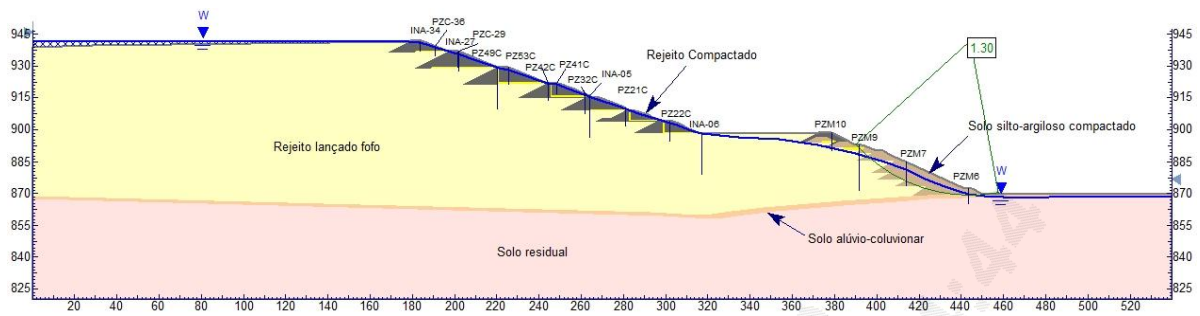


Figura 3 – Seção 2 – Análise de estabilidade para  $F.S=1,5$ .







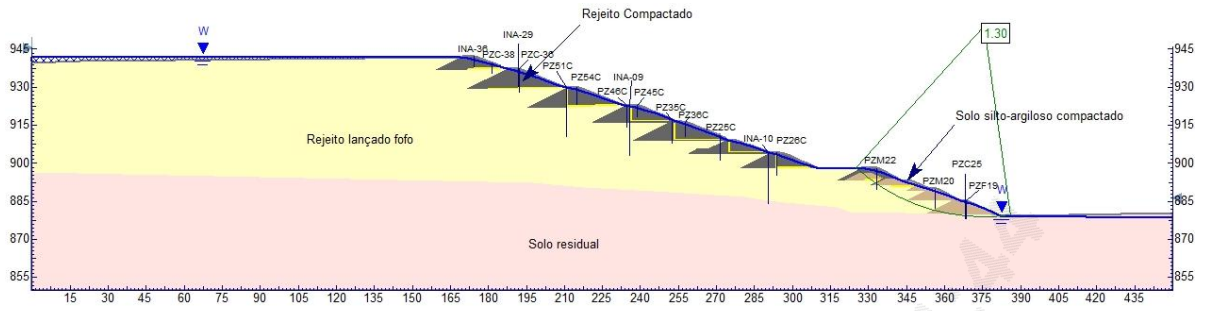


Figura 13 – Seção 5 – Análise de estabilidade para  $F.S=1,3$ .

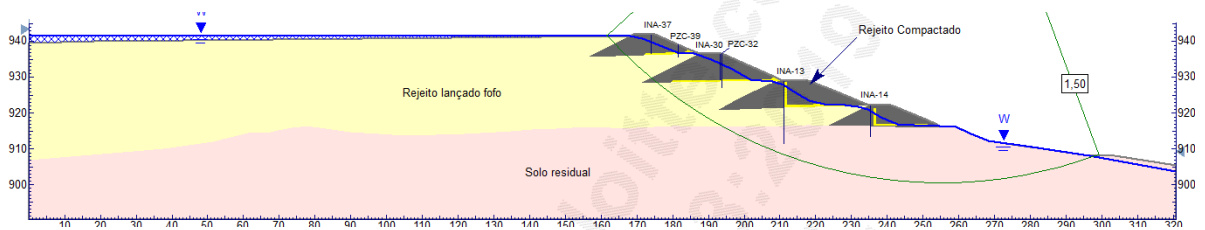


Figura 14 – Seção 6 – Análise de estabilidade para  $F.S=1,5$ .