

# Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira - Fase 2

Nota técnica B4

Estimativas de volumes de  
deslizamentos associados aos eventos  
estudados

**Dezembro de 2017**



# Estimativas de volumes de deslizamentos associados aos eventos estudados

<b>Ficha do documento</b>	
<b>Projecto</b>	Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira - Fase 2
<b>Coordenação</b>	António Betâmio da Almeida (IST), Rodrigo Proença de Oliveira (IST), Paulo França (UMa)
<b>Cliente</b>	Governo Regional da Madeira / Direção-regional de Infraestruturas e equipamentos
<b>Documento</b>	Nota técnica B4. Estimativas de volumes de deslizamentos associados aos eventos estudados
<b>Autores</b>	António Jorge Sousa, Maria João Pereira
<b>Data</b>	Dezembro de 2017
<b>Versão</b>	Versão para divulgação pública



# Análise de imagem para inventariação automática e rápida dos deslizamentos de vertentes

## Índice de texto

Índice de texto.....	iii
Índice de figuras .....	iv
Índice de quadros.....	v
1 Enquadramento .....	1
2 Objetivos .....	2
3 Informação de base.....	2
4 Metodologia.....	3
5 Identificação das cicatrizes de deslizamento e deslizamentos completos .....	3
6 Cálculo de volumes .....	3
7 Validação de cicatrizes .....	6

## Índice de figuras

Figura 1 - Levantamento das cicatrizes de deslizamento para a Ribeira Brava e o Funchal..... 5

## Índice de quadros

Quadro 1 - Validação de cicatrizes na Ribeira Brava .....	6
Quadro 2 - Exemplos da delineação realizada pelo operador e o levantamento <i>in situ</i> das cicatrizes validadas.....	9
Quadro 3- - Validação de cicatrizes no Funchal .....	10
Quadro 4 - Exemplos da delineação realizada pelo operador e o levantamento <i>in situ</i> das cicatrizes validadas.....	11
Quadro 5 – Diferenças entre a delineação efectuada pelo operador e os <i>levantamentos in situ</i> .....	14





# Análise de imagem para inventariação automática e rápida dos deslizamentos de vertentes

## 1 Enquadramento

Este documento foi produzido no âmbito da 2ª fase do Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira (EARAM2), um projeto desenvolvido para o Governo Regional da Madeira por um consórcio constituído pelo Instituto Superior Técnico (IST), pela Associação para o Desenvolvimento do IST (ADIST) e pela Universidade da Madeira (UMa).

O EARAM2 vem na sequência da 1ª fase do Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira, lançado pela Secretaria Regional do Equipamento Social da Região Autónoma da Madeira (SRES) após o acontecimento hidrológico ocorrido em 20 de fevereiro de 2010. Os trabalhos da referida 1ª Fase decorreram entre 1 de maio e 31 de dezembro de 2010 e tiveram os seguintes objetivos gerais:

- Caracterização fenomenológica do evento de 20 de fevereiro;
- Avaliação dos riscos associados às aluviões na Ilha da Madeira;
- Estabelecimento de princípios gerais de orientação das intervenções de prevenção e proteção.

O âmbito geográfico desta 1ª fase compreendeu a área abrangida pelas bacias hidrográficas mais afetadas pelo evento de 20 de fevereiro de 2010: as bacias das ribeiras de João Gomes, Santa Luzia e São João, do Concelho do Funchal, e as bacias das ribeiras da Ribeira Brava e Tabua, do Concelho da Ribeira Brava.

A descrição dos estudos efetuados, as principais conclusões obtidas e os princípios orientadores propostos foram apresentados no Relatório Final (dezembro de 2010), no Relatório-Síntese (novembro de 2010) e no relatório com os Princípios Orientadores (agosto de 2010).

O EARAM2 complementa os trabalhos da 1ª fase do projeto e tem os seguintes objetivos estratégicos:

- Aprofundar o conhecimento sobre o fenómeno das aluviões, melhorar da metodologia para avaliação do risco e contribuir para a implementação da Diretiva da EU sobre cheias e inundações (Diretiva 2007/60/CE) à Região Autónoma da Madeira;
- Estender a avaliação do risco a toda a ilha da Madeira;
- Conceber o sistema de previsão e aviso de aluviões;

- Avaliar os condicionalismos sociais na prevenção do risco de aluviões
- Desenvolver ações de divulgação pública e de formação sobre este tipo de risco.

Este documento é um dos produtos intermédios do EARAM2 e tem por principal objetivo a partilha de informação entre os elementos da equipa IST/UMa e dos vários organismos da administração regional que acompanham o projeto. Pode ser objeto de revisão e atualização frequente e deve, por isso, ser lido como documento de trabalho. A versão final do documento será integrada no relatório final do projeto.

## 2 Objetivos

O cálculo de volumes de materiais, que se movem durante um evento de deslizamentos de terra é essencial para o estudo de movimentos de vertente, prevenção e planeamento do território. Na sequência do evento de fevereiro de 2010, várias foram as variáveis que foram submetidas a uma análise exaustiva sendo o volume de sedimentos um elemento muito importante a ter em consideração neste estudo. Para obter valores de volume mais próximos da realidade, muitas foram as informações de base e metodologias tidas em consideração, aqui apresentadas.

## 3 Informação de base

A informação de base utilizada para a realização do cálculo de volumes incluiu a utilização de:

- Imagens multiespectrais Geoeye – 1 adquiridas após o evento de fevereiro – 23 e 28 de fevereiro de 2010 (R-G-B-NIR de 2 m/pixel de resolução espacial e PAN de 0.5 m/pixel de resolução espacial);
- Ortofotomapas pré (2007) e pós-evento (2010) cedidos pela DSIGC, com bandas RGB de 0,4 m de resolução espacial e sistema de coordenadas UTM (zona 28);
- Modelo digital de terreno de 2009 obtido por LIDAR (*Light Detection And Ranging*) à escala 1:2000, sendo a resolução final 4m;
- Modelo digital de terreno (MDT) de 2010 obtido por processos de restituição fotogramétrica com 2 m de resolução espacial. Este modelo foi adensado a partir do MDT com 5 m de resolução, caracterizado pelo erro máximo admissível de 0.75m e 1.25 m respetivamente em planimetria e altimetria;
- Inventário de dados geométricos de cicatrizes (área e tipo de cicatriz) ocorridos no evento de fevereiro de 2010 e;
- Levantamento *in situ* de 30 cicatrizes de deslizamentos pela DRIGOT.

## 4 Metodologia

Este trabalho teve por base o uso de imagens Geoeye-1, para identificação dos deslizamentos e cicatrizes ocorridos no evento e dois modelos digitais do terreno, um obtido por LIDAR em 2009 com 4 m de resolução espacial e outro de 2010 obtido por técnicas de fotogrametria com resolução espacial de 2m. Os principais passos da metodologia foram:

- Identificação e delimitação das cicatrizes pelo operador;
- Obtenção da superfície com as diferenças altimétricas entre o modelo pré-evento, normalizado para uma resolução de 2m, e o modelo pós-evento para utilização dessa diferença nos passos seguintes;
- Cálculo do volume por comparação entre o modelo digital do terreno anterior ao evento e o modelo obtido após o evento.

## 5 Identificação das cicatrizes de deslizamento e deslizamentos completos

A delimitação das cicatrizes de deslizamentos e deslizamentos teve por base a observação da banda panshaped das imagens Geoeye, a partir das quais se realizou o inventário de deslizamentos entre 2003 e 2012 (2003, 2004, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011 e 2012) para as bacias hidrográficas do Funchal e Ribeira Brava. O ano de 2011 foi a exceção, cujo inventário foi realizado para toda a ilha da Madeira. Para o cálculo de volumes apenas foi utilizado o ano do evento (2010).

Os princípios para a sua delimitação foram:

- Delimitar todas as áreas afetadas das bacias do Funchal e Ribeira Brava;
- Não considerar zonas de nuvem e sombra;
- Recorrer aos ortofotomapas onde zonas da imagem Geoeye não sejam claras a olho nú, mas nunca classificar de todo o que não está na imagem Geoeye, a fim de se encontrar ocorrências entre diferentes anos.

## 6 Cálculo de volumes

No interior das cicatrizes mapeadas o cálculo do volume foi determinado a partir das diferenças entre o modelo pré-evento (2009) reamostrado em células de dimensão de 2m e o modelo digital do terreno de 2010 utilizando o software ArcGIS da ESRI.

O primeiro passo consiste na extração da altimetria do interior das cicatrizes quer de 2009 quer de 2010, utilizando a ferramenta *extract by mask*, recorrendo aos polígonos das cicatrizes. De seguida, convertem-se os contornos das cicatrizes em formato vetorial para formato matricial, de forma a atribuir um código de identificação a cada cicatriz, utilizando a ferramenta *convert polygon to raster*. Por último, calcula-se a diferença entre as

altimetrias de 2009 e 2010 extraídas anteriormente, através do *raster calculator*. Concluídos os passos anteriores, cria-se a tabela de estatísticas com todos os atributos para cada cicatriz. Através do *zonal statistics as table*, define-se como *input* a matriz com os códigos dos polígonos criados no 2º passo. Em *zone field* seleciona-se *value*. O *input value raster* resulta da diferença entre 2009 e 2010 criados no 3º passo e por último seleciona-se SUM em *statistics type*. A tabela terá no seu conteúdo a área e volume para cada cicatriz. Para obter a profundidade média, basta multiplicar o volume pela área. Os valores positivos correspondem à perda de volume e os valores negativos correspondem a depósito.

#### **Estatísticas obtidas para a Ribeira Brava**

Total de 1849 cicatrizes

1390 com perda de material

458 com acumulação (24.77%)

62928.57m<sup>3</sup> de escavação

Profundidade média de escavação – 0.40m (Fig. 1)

#### **Estatísticas obtidas para o Funchal**

Total de 2963 cicatrizes

2596 com perda de material

367 com acumulação (12.38%)

91370.83m<sup>3</sup> de escavação

Profundidade média de escavação – 0.64m (Fig. 3 e 4)

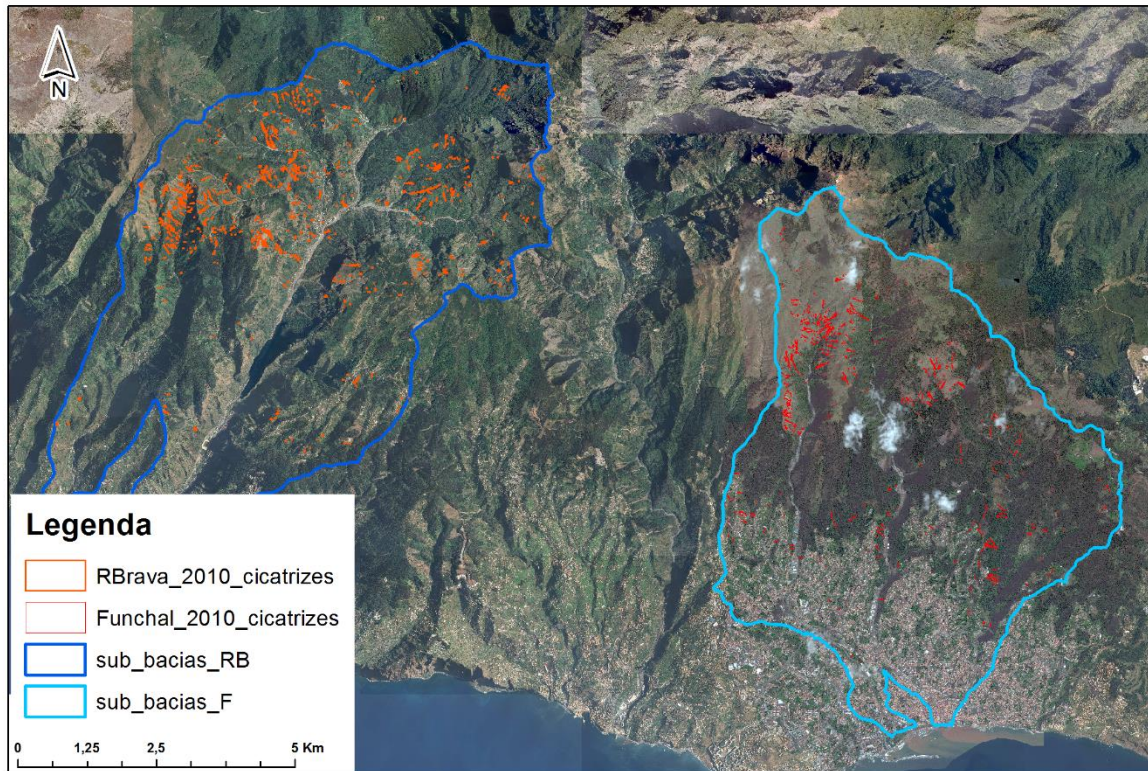


Figura 1 - Levantamento das cicatrizes de deslizamento para a Ribeira Brava e o Funchal

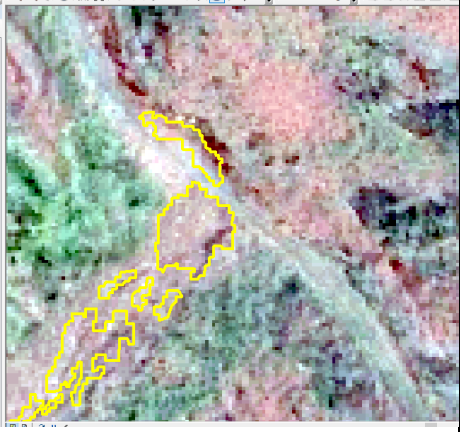

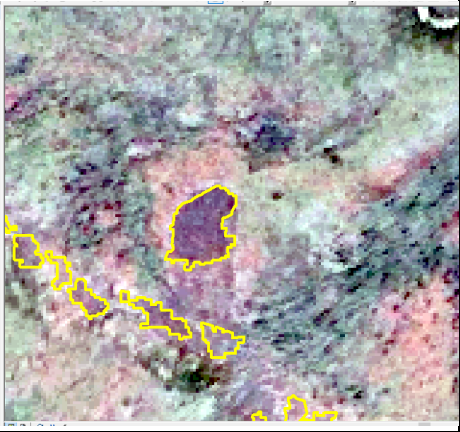

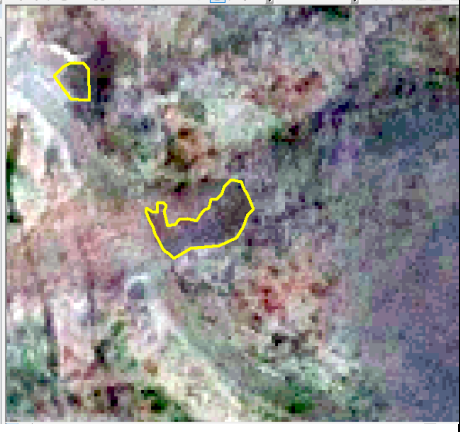

## 7 Validação de cicatrizes

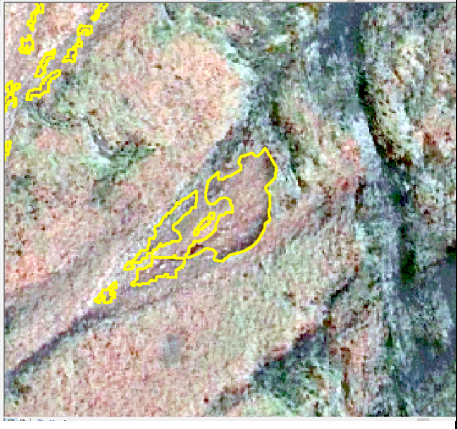



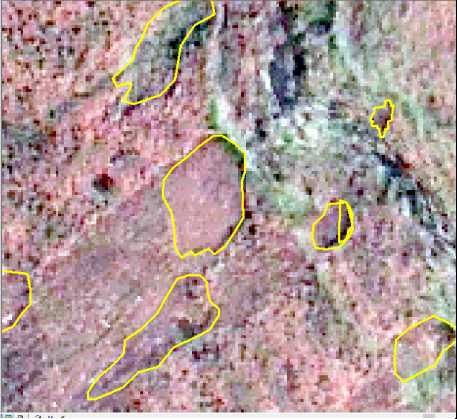

Para validar a metodologia aplicada, foi necessário comparar os valores obtidos em ArcGIS e os levantamentos *in situ* (Quadro 1 e 3). O quadro que se segue e o quadro 3 apresentam as diferenças para cada cicatriz validada. As cicatrizes delineadas pelo operador são baseadas na leitura das imagens geoeye-1, apresentando por vezes algumas diferenças em relação às cicatrizes validadas em campo, contribuindo para diferentes valores de volume, profundidade e área (Quadro 5).

**Quadro 1 - Validação de cicatrizes na Ribeira Brava**

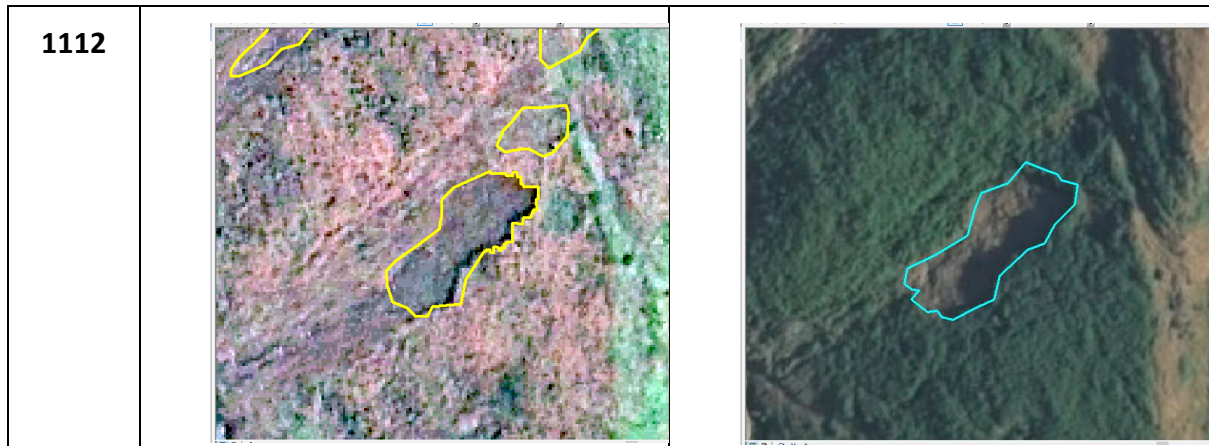
<b>Código Cicatriz Validada</b>		<b>Validação</b>	<b>Cicatrizes delineadas</b>
103	Volume (m <sup>3</sup> )	94.13	69.44
	Área (m <sup>2</sup> )	128.48	120
	Profundidade (m)	0.73	0.58
107	Volume (m <sup>3</sup> )	56.09	42.88
	Área (m <sup>2</sup> )	126.19	140
	Profundidade (m)	0.44	0.30
1051	Volume (m <sup>3</sup> )	56.83	54.60
	Área (m <sup>2</sup> )	94.63	88
	Profundidade (m)	0.60	0.62
1071	Volume (m <sup>3</sup> )	655.85	236.52
	Área (m <sup>2</sup> )	744.50	472
	Profundidade (m)	0.88	0.501
1092	Volume (m <sup>3</sup> )	164.48	77.04
	Área (m <sup>2</sup> )	87.73	80
	Profundidade (m)	1.87	0.96
111	Volume (m <sup>3</sup> )	226.54	109.13
	Área (m <sup>2</sup> )	274.21	392
	Profundidade (m)	0.83	0.27
1111	Volume (m <sup>3</sup> )	220.22	62.34
	Área (m <sup>2</sup> )	257.76	260
	Profundidade (m)	0.85	0.23
1112	Volume (m <sup>3</sup> )	427.23	146.69
	Área (m <sup>2</sup> )	425.87	384
	Profundidade (m)	1	0.38



Código	Cicatriz delineada sobre Geoeye	Validação
103		
107		
1051		

<p>1071</p>		
<p>111</p>		
<p>1111</p>		




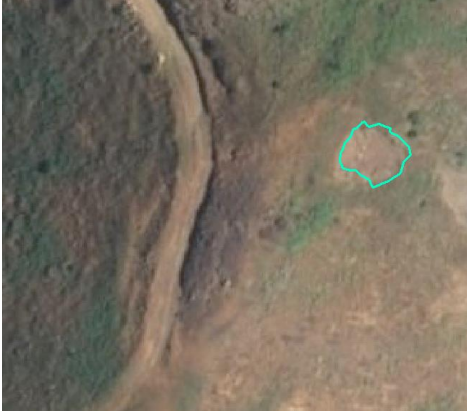
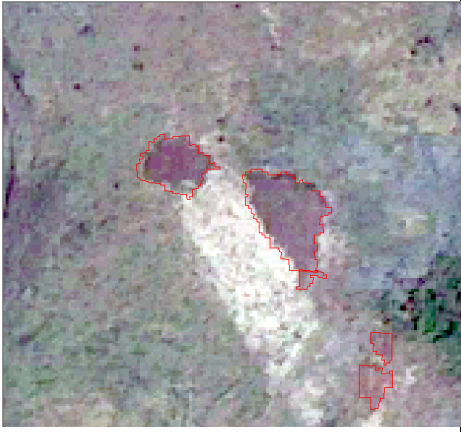





**Quadro 2** - Exemplos da delineação realizada pelo operador e o levantamento *in situ* das cicatrizes validadas

**Quadro 3- - Validação de cicatrizes no Funchal**

<b>Código da Cicatriz Validada</b>		<b>Validação</b>	<b>Cicatrizes delineadas</b>
1	Volume (m <sup>3</sup> )	65.17	52.34
	Área (m <sup>2</sup> )	101.93	104
	Profundidade (m)	0.64	0.50
2	Volume (m <sup>3</sup> )	132.28	89.20
	Área (m <sup>2</sup> )	177.28	184
	Profundidade (m)	0.75	0.48
3	Volume (m <sup>3</sup> )	69.48	63.36
	Área (m <sup>2</sup> )	119.14	128
	Profundidade (m)	0.58	049
5	Volume (m <sup>3</sup> )	138.72	305.87
	Área (m <sup>2</sup> )	427.01	428
	Profundidade (m)	0.32	0.71
7	Volume (m <sup>3</sup> )	7.02	31.47
	Área (m <sup>2</sup> )	50.64	76
	Profundidade (m)	0.14	0.41
8	Volume (m <sup>3</sup> )	50.90	61.13
	Área (m <sup>2</sup> )	92.33	80
	Profundidade (m)	0.55	0.76
10	Volume (m <sup>3</sup> )	328.71	164.42
	Área (m <sup>2</sup> )	377.57	248
	Profundidade (m)	0.87	0.66
114	Volume (m <sup>3</sup> )	119.32	188.67
	Área (m <sup>2</sup> )	230.94	216
	Profundidade (m)	0.52	0.54
1141	Volume (m <sup>3</sup> )	137.52	114.38
	Área (m <sup>2</sup> )	185.59	180
	Profundidade (m)	0.74	0.64
1142	Volume (m <sup>3</sup> )	324.04	178.88
	Área (m <sup>2</sup> )	275.05	248
	Profundidade (m)	1.18	0.72
600	Volume (m <sup>3</sup> )	64.05	95.45
	Área (m <sup>2</sup> )	114.34	144
	Profundidade (m)	0.56	0.66
601	Volume (m <sup>3</sup> )	15.06	16.45
	Área (m <sup>2</sup> )	48.78	24
	Profundidade (m)	0.31	0.69

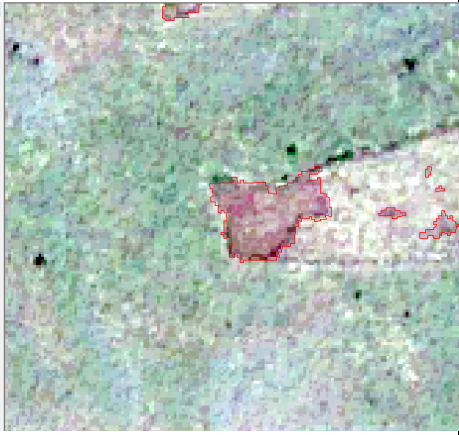

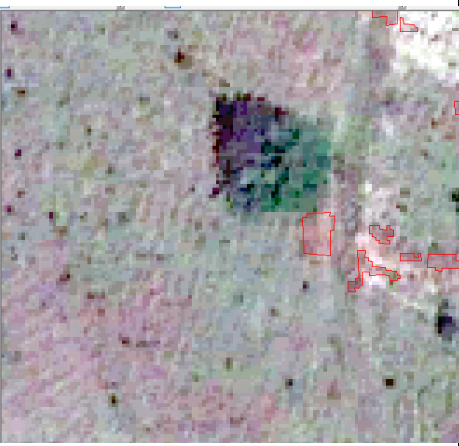

**Quadro 4** - Exemplos da delimitação realizada pelo operador e o levantamento *in situ* das cicatrizes validadas

Código	Cicatriz delineada sobre Geoeye	Validação
1		
2		
3		






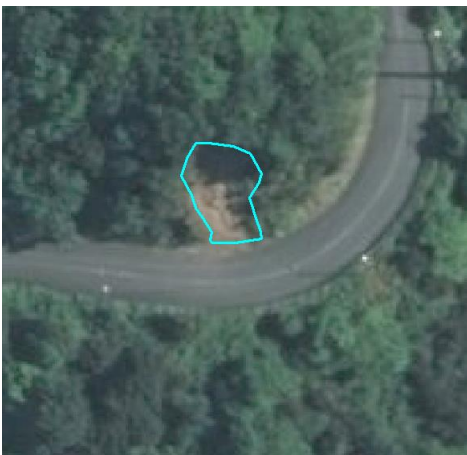
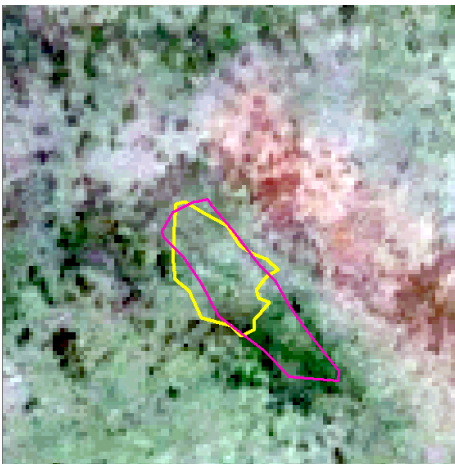

5		
7		
8		



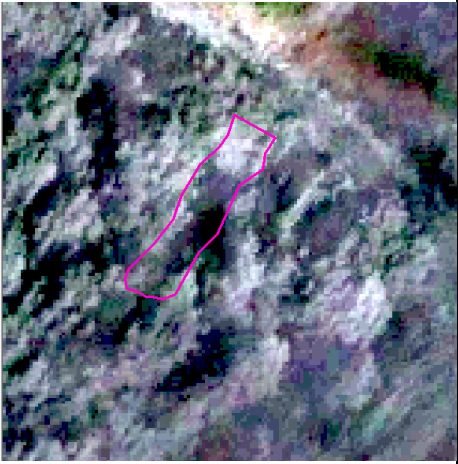

<p><b>114</b></p>		
<p><b>601</b></p>		

Foram várias as cicatrizes cujos volumes e área não puderam ser validadas. Tendo por base os princípios de delimitação, verificaram-se a existência de delimitações diferentes os levantamentos *in situ*, como se pode observar no quadro que se segue. Tendo a imagem Geoeye – 1 como suporte, verificaram-se situações com forma diferente (cod. 1052), incerteza na ocorrência de deslizamentos (105), zonas de sombra (113, 1091), ou cicatrizes não identificadas (109) (Quadro que se segue).

**Quadro 5** – Diferenças entre a delineação efectuada pelo operador e os *levantamentos in situ*

Código	Cicatriz delineada sobre Geoeye	Validação
105		
109		
1052		



1091		
113	