



Instabilidade de Vertentes: Tipologia e Causas dos Movimentos

José Luís Zêzere

Centro de Estudos Geográficos – IGOT – ULisboa
(zezere@igot.ulisboa.pt)



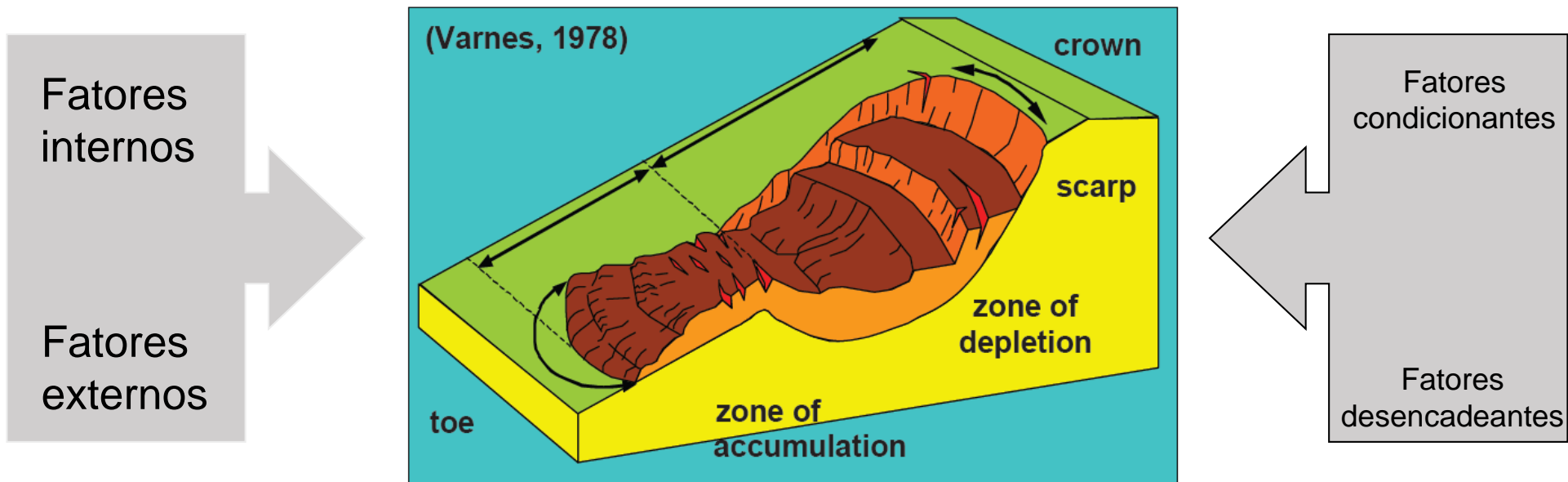
1. Definição do processo
2. Os tipos de movimentos de vertente
 - a) Desabamento (Queda)
 - b) Deslizamento (Escorregamento)
 - c) Escoada (Fluxo)
3. Incidência territorial dos movimentos de vertente em Portugal
4. As causas dos movimentos de vertente
5. Da identificação dos processos à análise de risco
6. Considerações finais



MOVIMENTO DE VERTENTE (LANDSLIDE)

Movimento de descida, numa vertente, de uma massa de rocha ou solo (Cruden, 1991).

O centro de gravidade do material afetado progride para jusante e para o exterior (Terzaghi, 1952).



2. OS TIPOS DE MOVIMENTOS DE VERTENTE



Tipo de Movimento	
Desabamento (<i>Fall</i>)	
Tombamento (<i>Topple</i>)	
Deslizamento (<i>Slide</i>)	Rotacional
	Translacional
Expansão lateral (<i>Lateral Spread</i>)	
Escoada; Fluxo (<i>Flow</i>)	

Rocha		Tipo de Material
Grosseiros	Solos de Engenharia	
Finos		

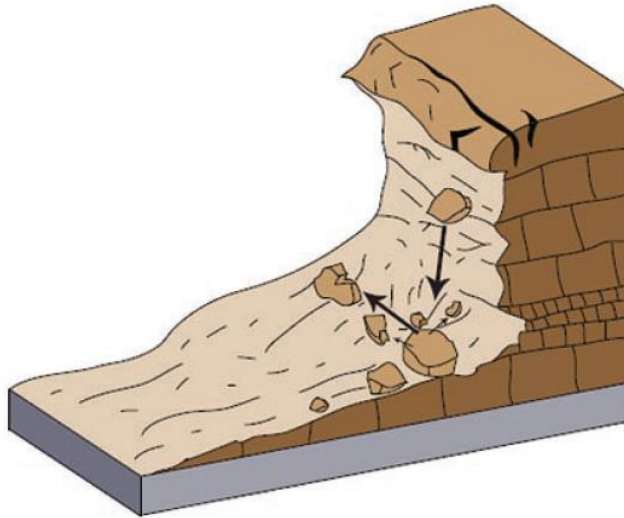


Varnes (1978); Hutchinson (1988); WP/WLI (1993); Dikau et al. (1996); Cruden & Varnes (1996); Highland & Bobrowsky (2008); Hungr et al. (2014)

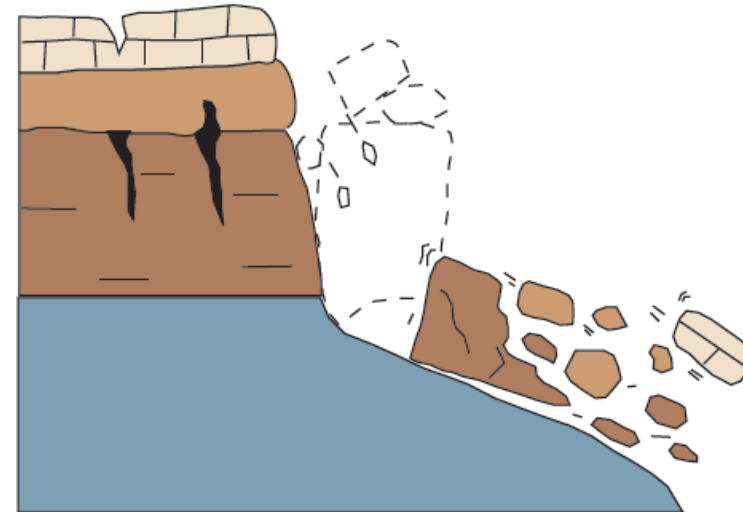
2. OS TIPOS DE MOVIMENTOS DE VERTENTE (Highland & Bobrowsky, 2008)



Desabamento



Tombamento



Processo

Tipos movs.

Incidência

Causas

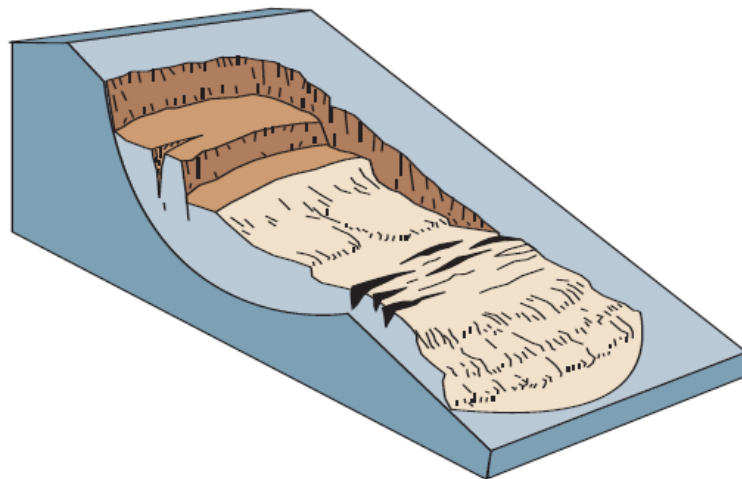
Risco

Cons. finais

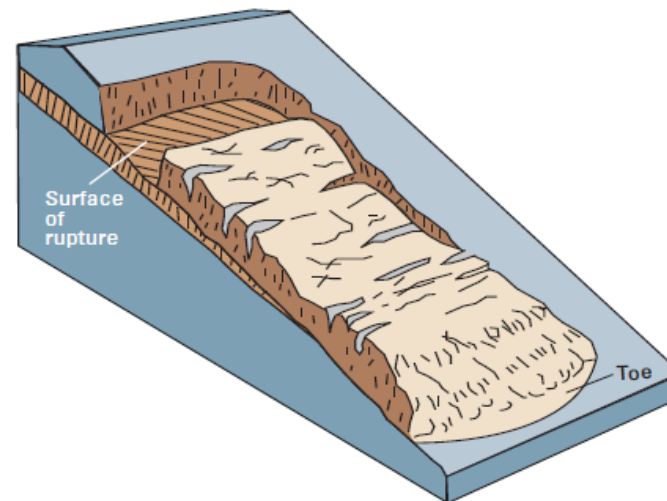
2. OS TIPOS DE MOVIMENTOS DE VERTENTE (Highland & Bobrowsky, 2008)



Deslizamento Rotacional



Deslizamento translacional



Processo

Tipos movs.

Incidência

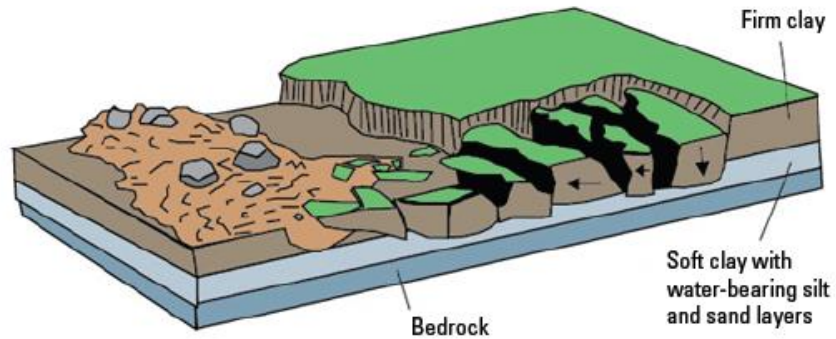
Causas

Risco

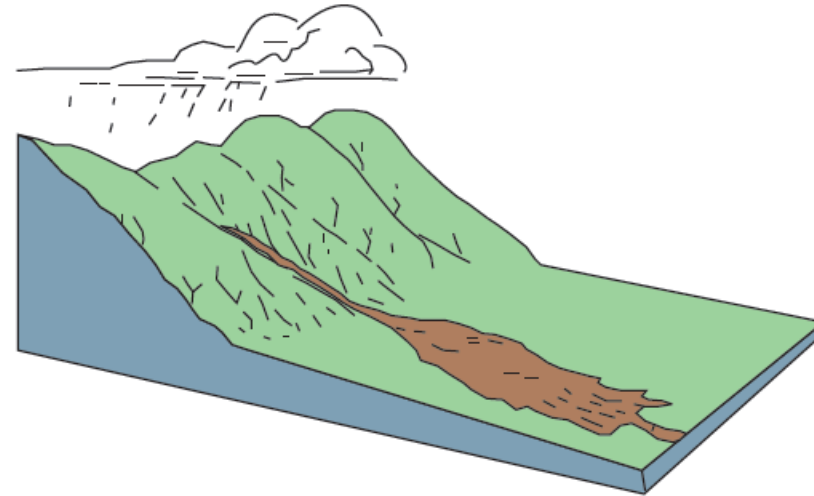
Cons. finais



Expansão Lateral



Escoada (Fluxo)



DESABAMENTO (QUEDA)



Deslocação de solo ou rocha a partir de um **abrupto**, ao longo de uma superfície onde os **movimentos tangenciais** são **nulos ou reduzidos**. O material desloca-se predominantemente pelo **ar**, por queda, saltação ou rolamento (WP/WLI, 1993). Movimento **brusco**; **velocidade elevada**.

DESLIZAMENTO (ESCORREGAMENTO)



Movimento de solo ou rocha que ocorre predominantemente ao longo de **planos de ruptura** ou de zonas relativamente estreitas, alvo de **intensa deformação tangencial** (WP/WLI, 1993).

Critérios de **subdivisão**: geometria da ruptura tangencial; material afetado.

ESCOADA (FLUXO)

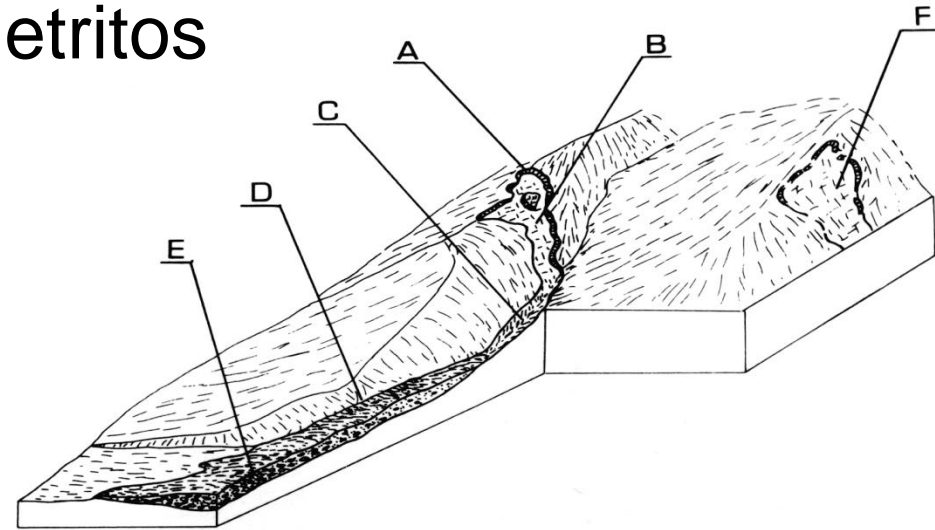


Movimento **espacialmente contínuo** onde as superfícies de tensão tangencial são efêmeras e mal preservadas. A distribuição das velocidades na massa afetada assemelha-se à de um **fluido viscoso** (WP/WLI, 1993).

Velocidades de deslocação **diferenciadas**, maiores junto à superfície.



Elementos de uma escoada de detritos



▶ **Área de partida (A)**

▶ **Canal principal (C)**

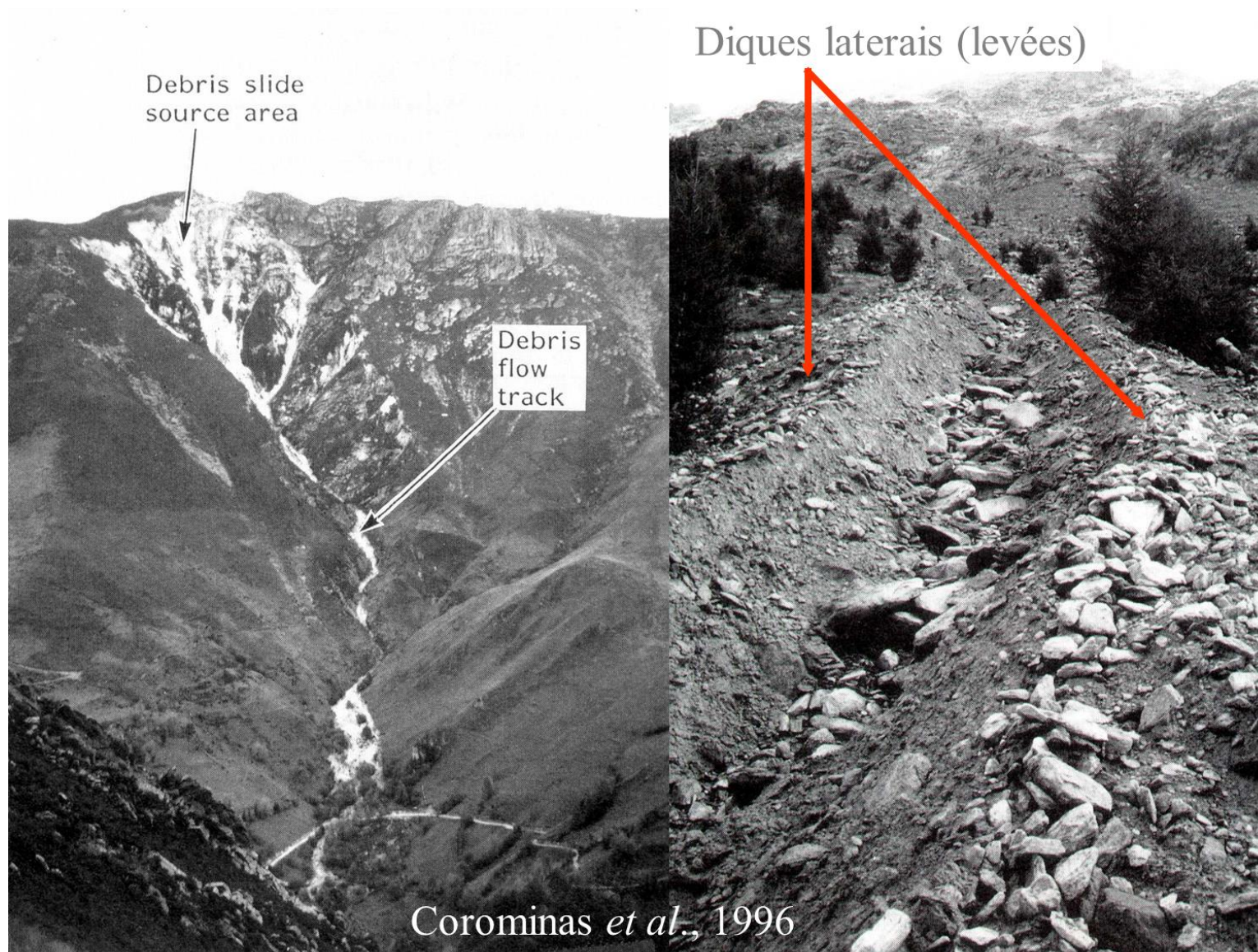
Perfil em V

Diques laterais (levées) **(D)**

▶ **Área de acumulação (E)**

Na base de frente montanhosa
Diminuição do gradiente do canal

ESCOADA (FLUXO)



Processo

Tipos movs.

Incidência

Causas

Risco

Cons. finais



Tipos de escoadas de detritos

- Escoada de vertente
- Escoada canalizada (seguindo canais fluviais pré-existent)
- Lahars
 - nas vertentes de um vulcão (mobilizando materiais vulcanoclásticos);
 - podem ocorrer em qualquer momento, antes, durante ou após uma erupção;
 - podem atingir distâncias > 100 km;
 - a velocidade pode ser > 50 km/h.





Armero, Colombia, Novembro 1985



Processo

Tipos movs.

Incidência

Causas

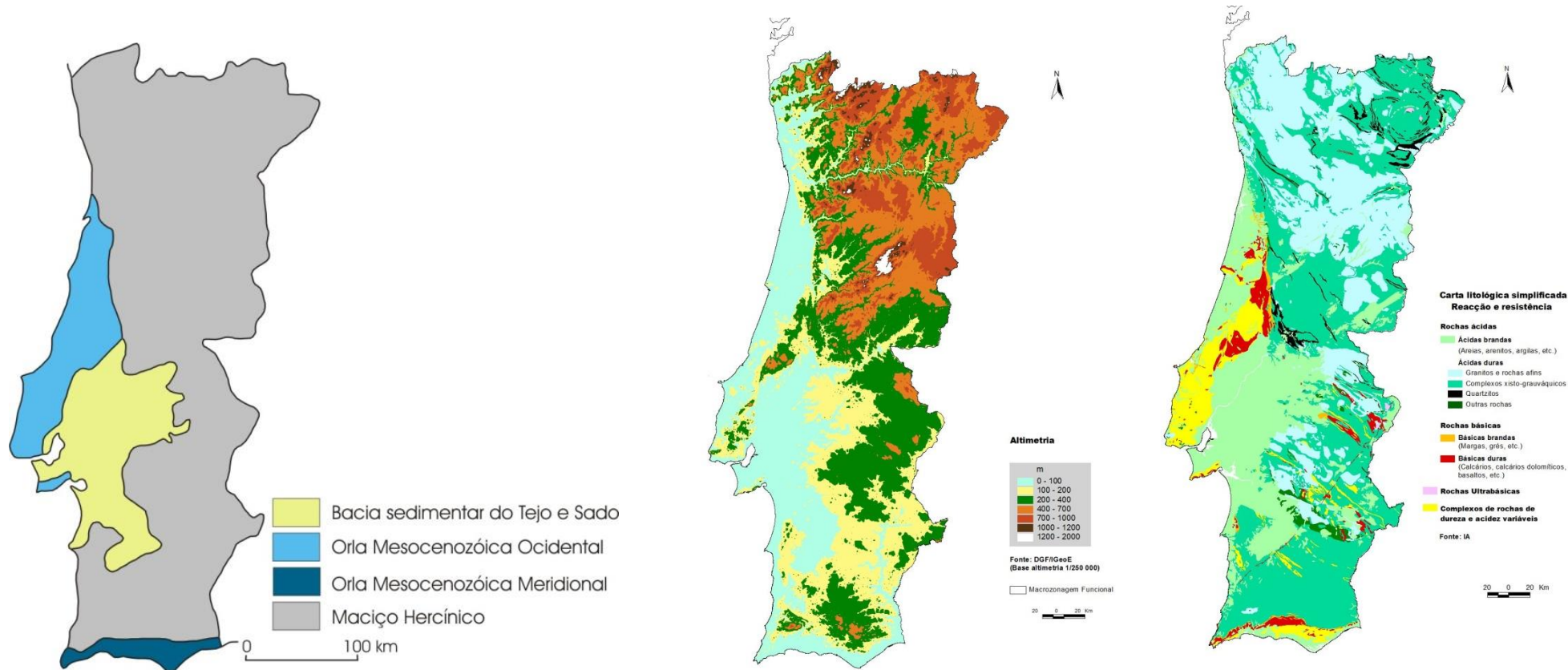
Risco

Cons. finais

3. INCIDÊNCIA TERRITORIAL DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE EM PORTUGAL



3 unidades morfoestruturais: incidência de diferentes tipos de movimentos de vertente (Rodrigues & Coelho, 1989; Ferreira & Zêzere, 1997; Zêzere, 2020)



Processo

Tipos movs.

Incidência

Causas

Risco

Cons. finais

3. INCIDÊNCIA TERRITORIAL DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE EM PORTUGAL



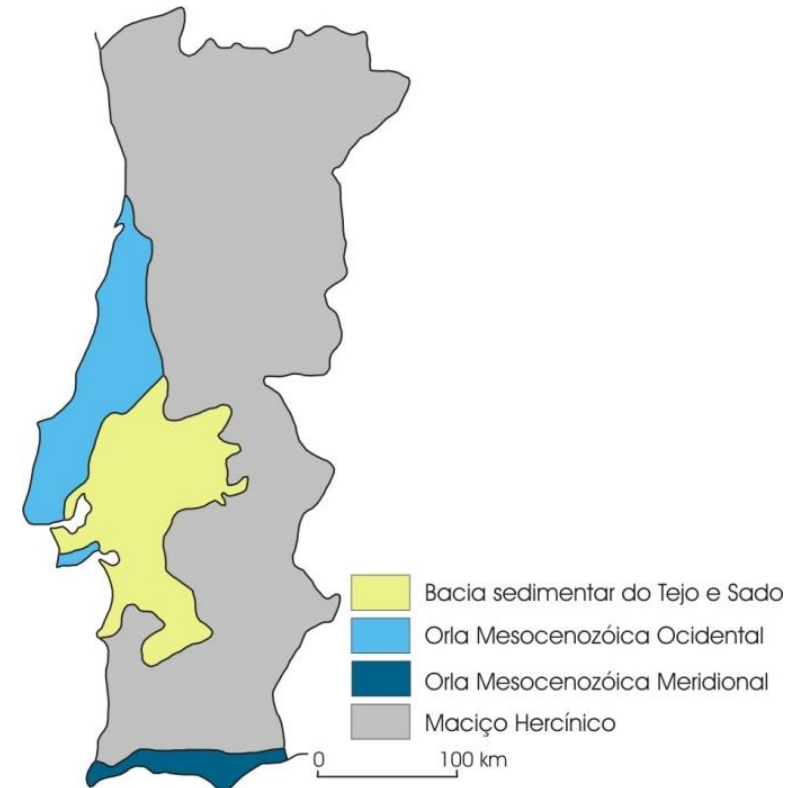
MACIÇO ANTIGO

Granitos e rochas afins

- desabamentos
- escoadas

Metassedimentos (Xistos)

- deslizamentos
- escoadas



3. INCIDÊNCIA TERRITORIAL DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE EM PORTUGAL



Escoada detrítica
Frades (Arcos de
Valdevez)
Dezembro 2000



Processo

Tipos movs.

Incidência

Causas

Risco

Cons. finais

3. INCIDÊNCIA TERRITORIAL DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE EM PORTUGAL



Escoada detrítica
Vale de Alforfa (Serra da Estrela)
Outubro 2005

3. INCIDÊNCIA TERRITORIAL DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE EM PORTUGAL



Deslizamento translacional
em metassedimentos

Régua

Janeiro 2003





ORLAS MESOCENOZÓICAS

Margas, argilas e arenitos do Cretácico Superior:

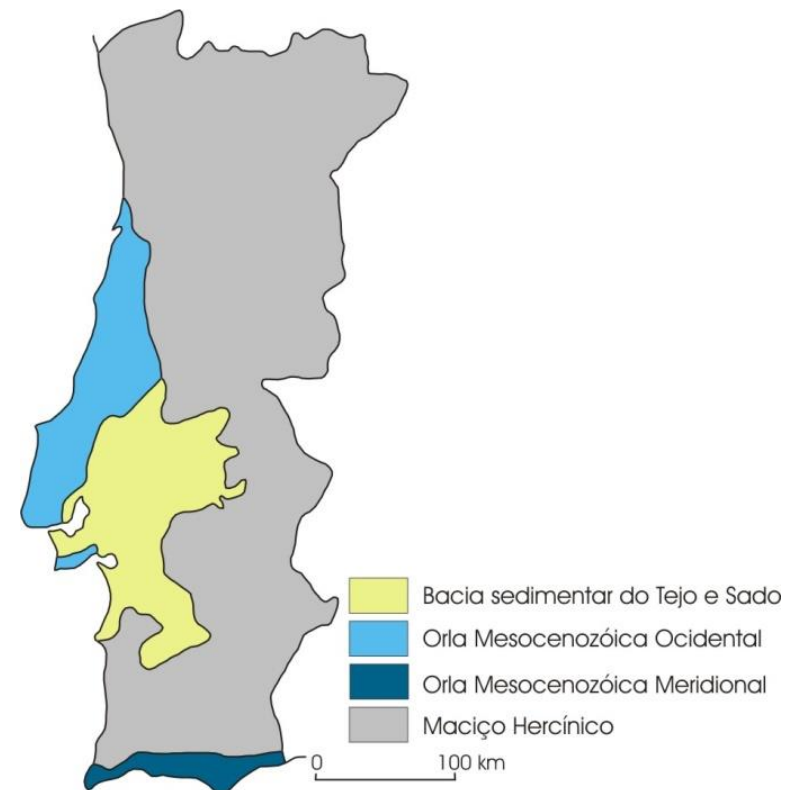
- deslizamentos rotacionais
- movimentos complexos

Margas e calcários margosos do Cretácico Médio:

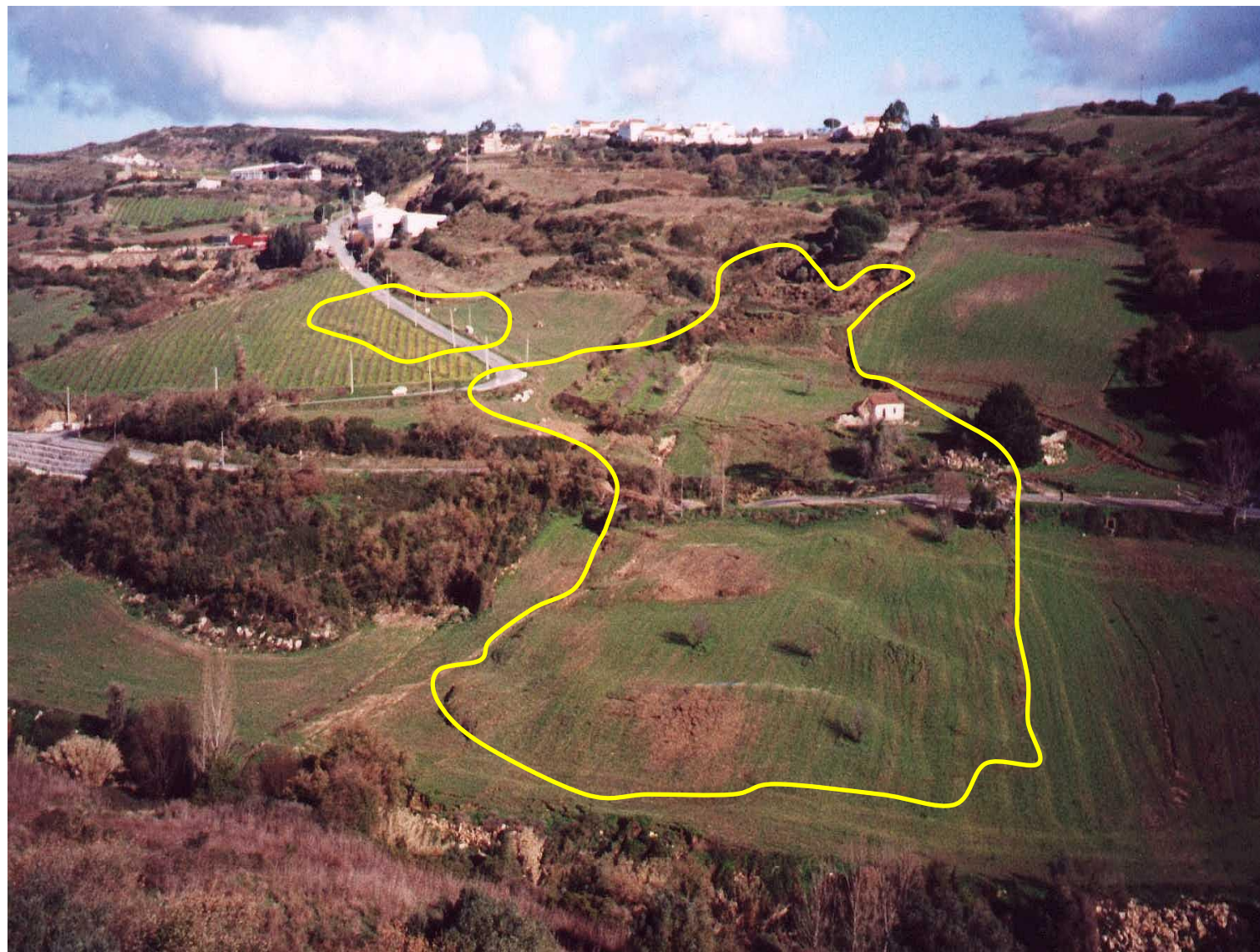
- deslizamentos translacionais

Margas e argilas do Jurássico Superior:

- deslizamentos rotacionais
- deslizamentos translacionais
- escoadas lamacentas



3. INCIDÊNCIA TERRITORIAL DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE EM PORTUGAL



Deslizamento rotacional de Alrota, Bucelas
Janeiro, 2000

Processo

Tipos movs.

Incidência

Causas

Risco

Cons. finais

3. INCIDÊNCIA TERRITORIAL DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE EM PORTUGAL



Deslizamento rotacional-translacional das Cachoeiras, Vila Franca de Xira

Processo

Tipos movs.

Incidência

Causas

Risco

Cons. finais

3. INCIDÊNCIA TERRITORIAL DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE EM PORTUGAL



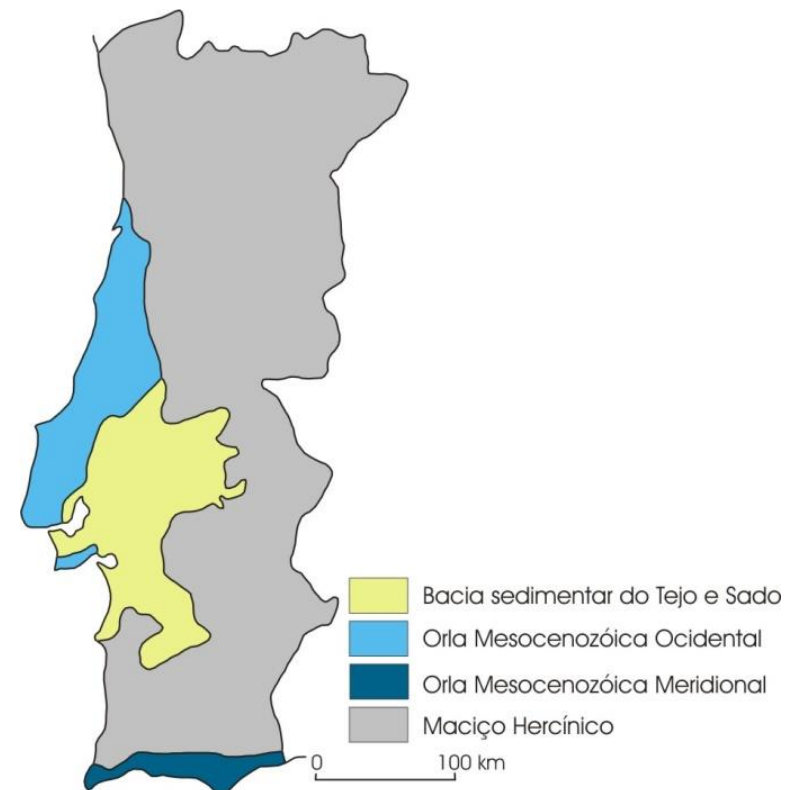
BACIA CENOZÓICA DO TEJO E SADO

Argilas do Miocénico na região de Lisboa:

- deslizamentos superficiais

Sedimentos do Miocénico na região de Santarém:

- deslizamentos superficiais
- desabamentos



3. INCIDÊNCIA TERRITORIAL DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE EM PORTUGAL



Deslizamento de Quinta da Boavista, Loures)
Dezembro 1989

Processo

Tipos movs.

Incidência

Causas

Risco

Cons. finais

3. INCIDÊNCIA TERRITORIAL DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE EM PORTUGAL



MADEIRA

- Desabamentos (arribas litorais)
- Deslizamentos translacionais superficiais
- Escoadas de detritos



Madeira,
Fevereiro 2010

3. INCIDÊNCIA TERRITORIAL DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE EM PORTUGAL



AÇORES

- Desabamentos (arribas litorais)
- Deslizamentos translacionais superficiais
- Escoadas de detritos



Ribeira Quente,
Povoação
Outubro, 1997

3. INCIDÊNCIA TERRITORIAL DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE EM PORTUGAL



AÇORES



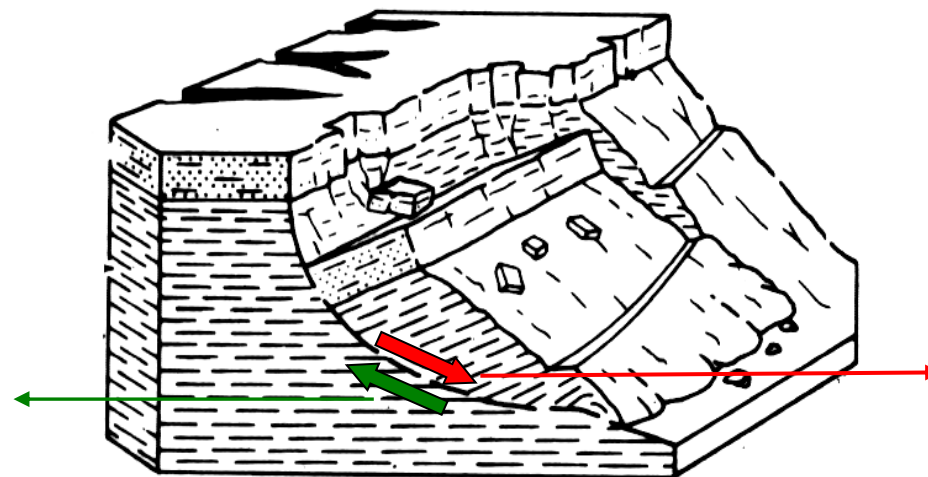
Bacia da Ribeira Quente,
Povoação
6 de Março 2005
(Amaral *et al.*, 2009)

4. AS CAUSAS DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE



Fator de Segurança

Resistência
ao corte
(coesão; fricção)



Tensão
tangencial

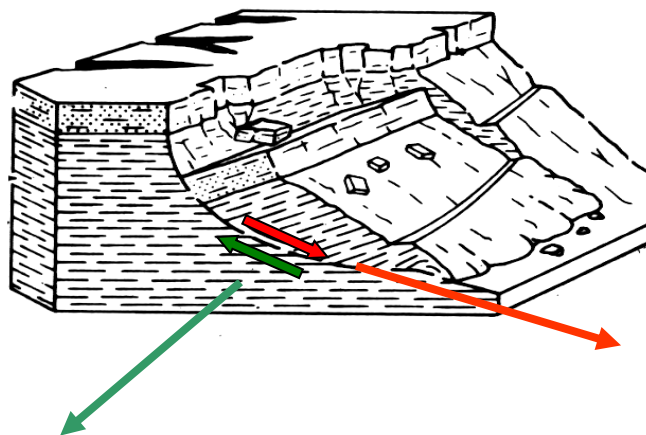
$$\text{FACTOR DE SEGURANÇA (F)} = \frac{\text{Resistência ao corte}}{\text{Tensão tangencial}}$$

F > 1- vertente estável
F <= 1- vertente instável

$$F = \frac{c' + (\gamma Z \cos^2 \beta - u) \tan \phi'}{\gamma Z \sin \beta \cos \beta}$$



$$F = \frac{c' + (\gamma Z \cos^2 \beta - u) \tan \phi'}{\gamma Z \sin \beta \cos \beta}$$



FACTORES RESPONSÁVEIS PELA REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CORTE

- meteorização física e química das rochas
- embeбimento (saturação em água)



redução da pressão intergranular efectiva

FACTORES RESPONSÁVEIS PELO AUMENTO DA TENSÃO TANGENCIAL

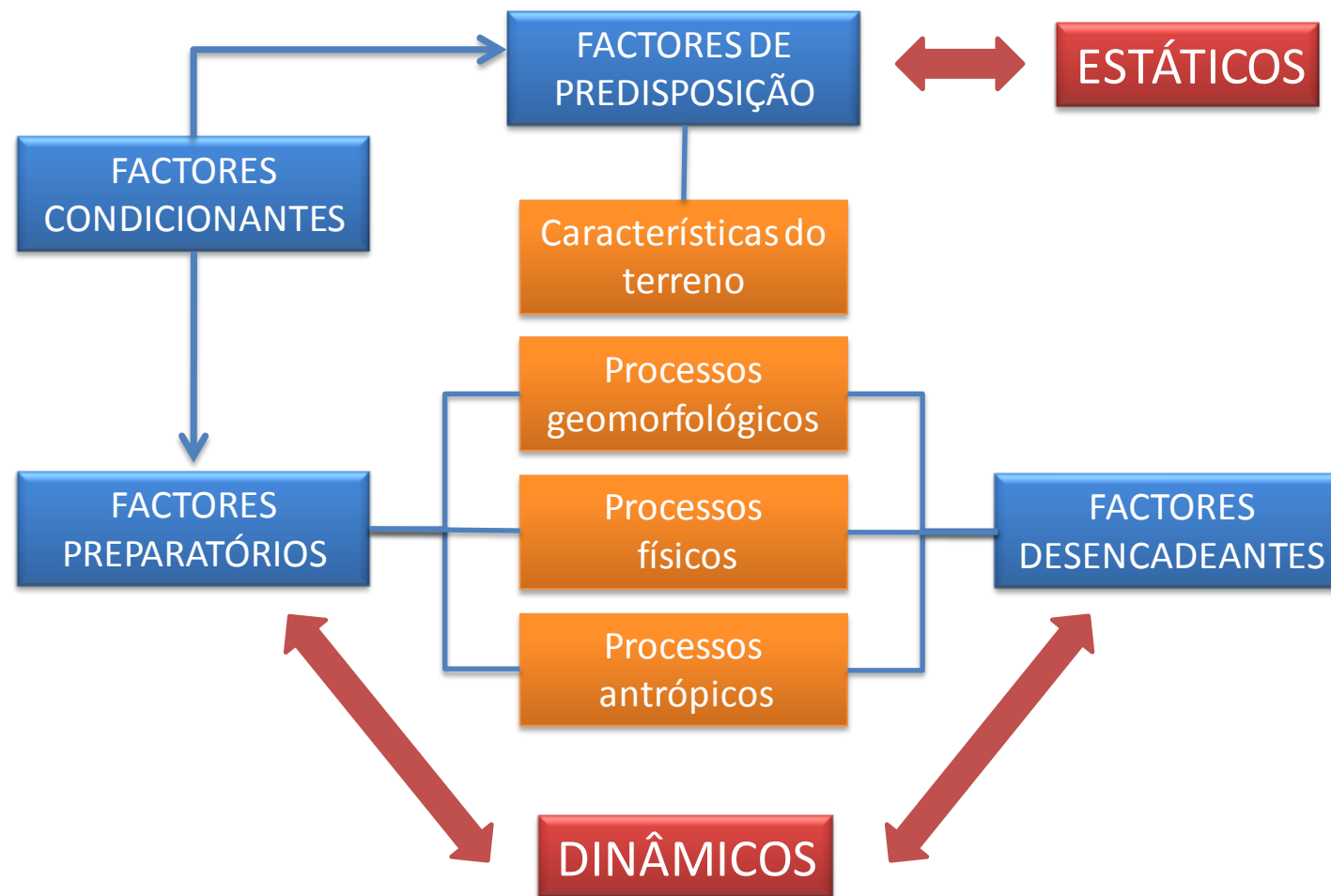
- levantamento ou basculamento tectónico
- remoção do suporte lateral
 - natural (ex: erosão fluvial, marinha, glaciária, etc.)
 - artificial (ex: escavações)
- aumento da carga
 - natural (ex: infiltração da água; actividade vulcânica; crescimento da vegetação)
 - artificial (ex: construção de aterros)
- Tensão transitória
 - natural (ex: sismos)
 - artificial (ex: explosões, tráfego rodoviário e ferroviário)



Na maior parte dos casos, as **causas** dos movimentos de vertente são **múltiplas** e verificam-se em **simultâneo**. Tentar definir qual delas é responsável pela rutura pode ser não só difícil, como incorreto.

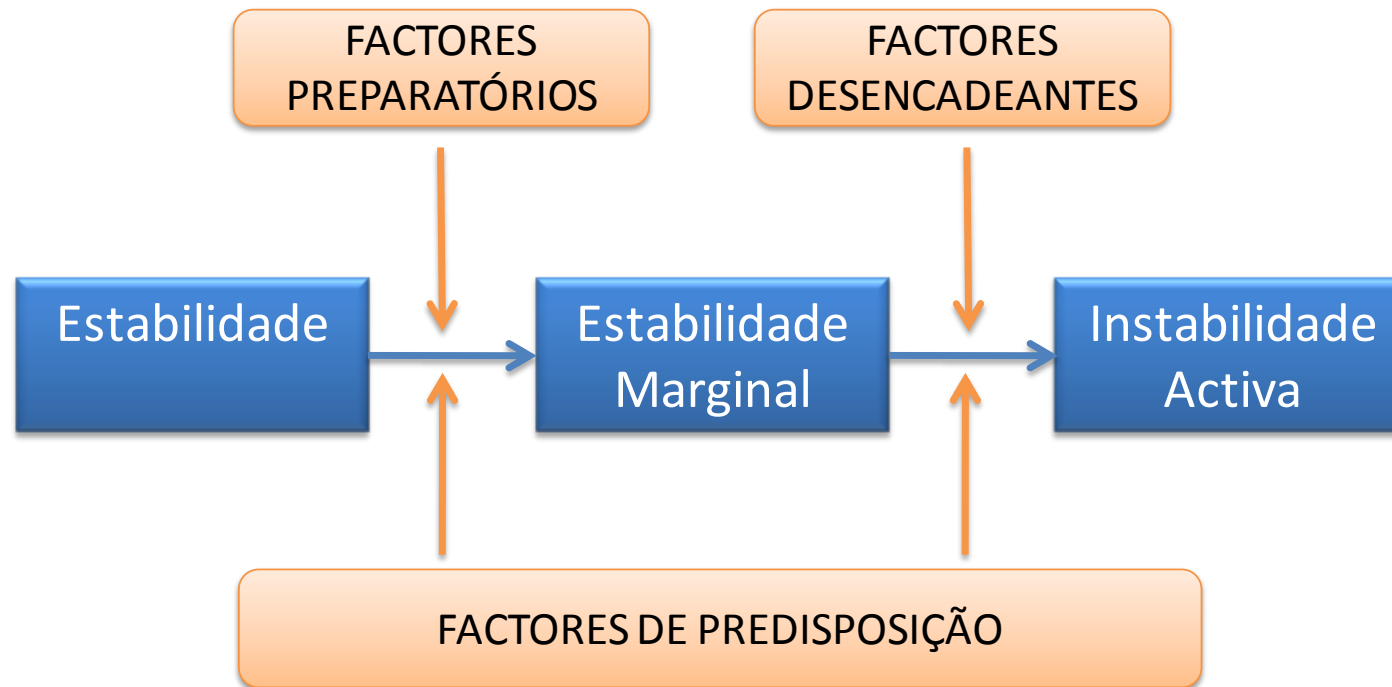
Frequentemente, o fator final não é mais do que um **mecanismo desencadeante** (*triggering factor*) que coloca em movimento uma massa que se encontrava já no limiar da rutura.

FATORES CONDICIONANTES VS FATORES DESENCADEANTES



(adaptado de Popescu, 1994 e Glade & Crozier, 2005)

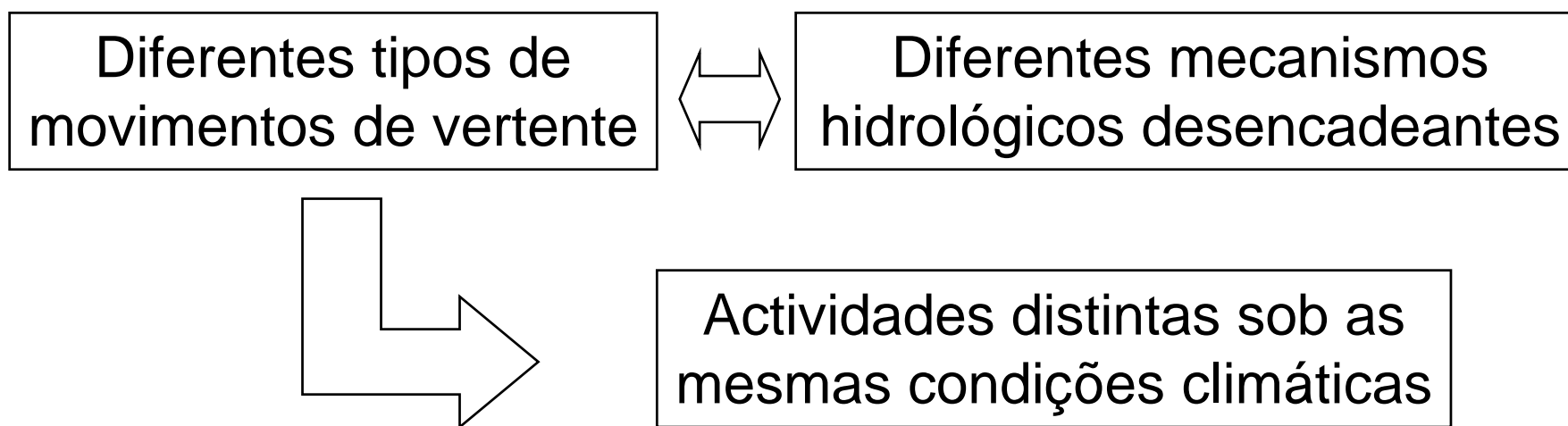
FATORES CONDICIONANTES VS FATORES DESENCADEANTES



Os estádios de estabilidade e os fatores da instabilidade das vertentes
(adaptado de Glade & Crozier, 2005)



A complexidade das relações entre o clima e o sistema da instabilidade das vertentes torna **impossível** a definição de **limiares pluviométricos, com validade universal**, para o desencadeamento dos movimentos de vertente.





Deslizamento na cabeceira ou geração de **escoorrência superficial** com caudal elevadíssimo em sub-bacias de 1ª ordem → **fornecimento de água** às massas de detritos acumulados nos canais → **mobilização da massa** (sólidos + líquido + ar).

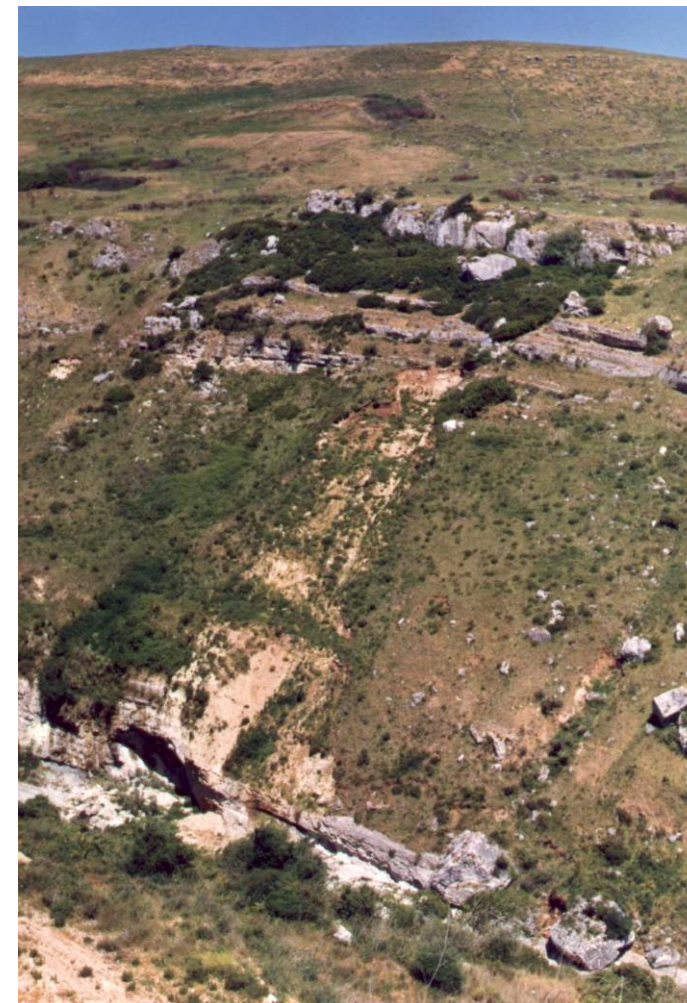


Situação crítica:
Chuvadas muito intensas de curta duração (algumas horas)



Diminuição da resistência ao corte do terreno por redução drástica da **coesão aparente** dos horizontes superiores do solo, decorrente do aumento do teor em água, que progride em **frente de percolação**.

A profundidade crítica da rutura é determinada pela coesão do solo e pelo declive da vertente.



Situação crítica:

Chuvadas intensas em períodos de duração de 1 a 15 dias

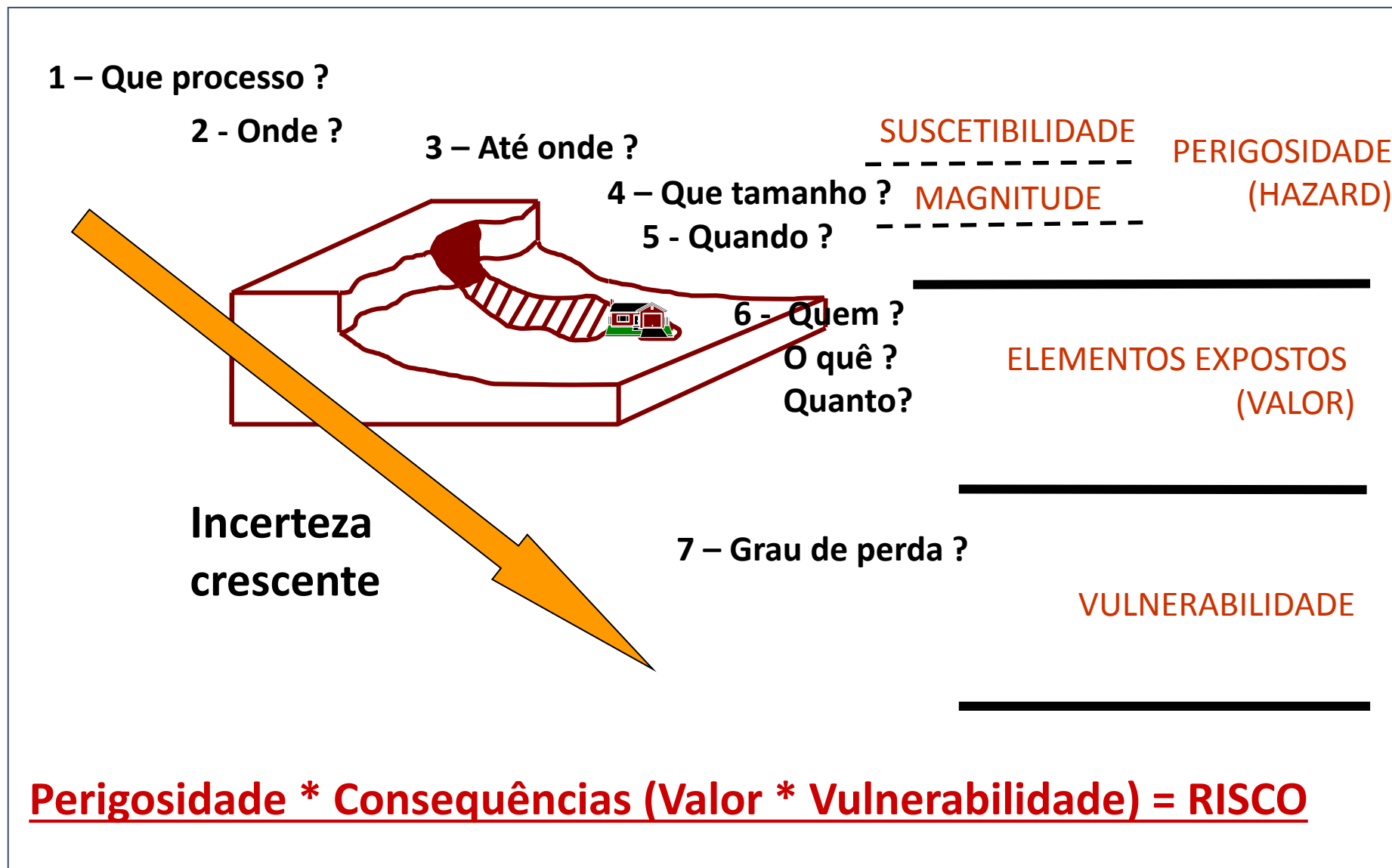


Diminuição da resistência ao corte ao nível do plano de rutura, por desenvolvimento de **pressões intersticiais da água positivas**, determinadas pela **subida da toalha freática** local ou regional.



Situação crítica:
Chuvadas abundantes em períodos de duração de vários dias a vários meses

5. DA IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS À ANÁLISE DE RISCO



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



- Os diferentes tipos de movimentos de vertente envolvem mecanismos de rutura e de deslocação distintos.
- Diferentes tipos de movimentos de vertente são condicionados de modo distinto pelos fatores de predisposição, o que se traduz em padrões particulares de suscetibilidade, num mesmo território.
- Os processos hidrológicos associados ao desencadeamento da instabilidade nas vertentes são variados e justificam comportamentos distintos de diferentes tipos de movimentos de vertentes sob as mesmas condições climáticas.
- O correto entendimento do funcionamento dos movimentos de vertente e dos modos como são condicionados e desencadeados é essencial para garantir avaliação da perigosidade e análise de risco consistentes, assim como para o sucesso de sistemas de alerta precoce.

REFERÊNCIAS



- Cruden, D.M. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43: 27-29.
- Cruden, D.M.; Varnes, D.J. (1996). Landslide Types and Processes. In Turner, A.K.; Schuster, R.L. (Eds.), *Landslides. Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., p. 36-75.
- Ferreira, A.B., Zêzere, J.L. (1997). Portugal and the Portuguese Atlantic Islands. In: Embleton C, Embleton-Hamann C (eds) *Geomorphological hazards of Europe, developments in earth surface processes*, vol 5. Elsevier, Amsterdam, pp 391–407.
- Glade, T., Crozier, M.J. (2005). The nature of landslide hazard and impact. In: Glade, T., Anderson, M.G., Crozier, M.J. (Eds.), *Landslide Hazard and Risk*. Wiley, Chichester, p. 43–74.
- Highland, L.; Bobrowsky, P. (2008). *The Landslide Handbook— A Guide to Understanding Landslides*. US Geological Survey, Circular 1325.
- Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides* 11, 167–194.
- Leroi, E. (1996). Landslide hazard - risk maps at different scales: objectives, tools and developments. In Senneset (Ed.) *Landslides, Proceedings of the 7th International Symposium on Landslides*, Balkema, Rotterdam, p. 35-51.
- Popescu, M. (1994). A suggested method for reporting landslide causes. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 50: 71-74.
- Rodrigues, L.F., Coelho, A.G. (1989). Landslides in Portugal—extent and economic significance. In: Brabb EE, Harrod BL (eds) *Landslides: extent and economic significance*. Balkema, Rotterdam, pp 179–189.
- Terzaghi, K. (1953). *Mecanismo dos escorregamentos de terra*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, separata nº467, São Paulo.
- UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (1993). *Multilingual landslide glossary*. *International Geotechnical Societies*, Canadian Geotechnical Society, Richmond.
- Varnes, D.J. (1978). Slope Movement Types and Processes. In Schuster, R.L.; Krizek, R.J. (Eds.), *Landslides, Analysis and Control*. Transportation Research Board Special Report, 176, Washington D.C., p. 11-33.
- Zêzere, J.L. (2020). Geomorphological Hazards, in: Vieira, G.; Zêzere, J.L.; Mora, C. (Ed.), *Landscapes and Landforms of Portugal*. Springer International Publishing, pp. 47–62.

Processo

Tipos movs.

Incidência

Causas

Risco

Cons. finais



Obrigado pela Atenção!