

# Determinação de relevos de risco usando o método de máxima inclinação aparente

*Barcellos, Álvaro G. S.<sup>1</sup>; Barcellos, Renato G. S.<sup>2</sup>; Barcellos, Pedro M. S.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais - CPRM; <sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense - IFF; <sup>3</sup>KADME AS

**RESUMO:** No início de abril de 2010, as cidades de Niterói e Friburgo, no Rio de Janeiro, sofreram diversos desastres devidos a deslizamentos e inundações causadas por tempestades, com mortes e deixando milhares de desabrigados. A necessidade de mapas temáticos indicativos de risco em áreas urbanas de ocupação ou trânsito, estabeleceu a busca por modelos digitais de terreno, nos quais os valores de declividade e de aspecto, calculadas com elevações e usando as formulações clássicas, são utilizados para integração com modelos relativos à geologia, à hidrografia, à pluviometria e a bancos de dados de eventos, para avaliação dos relevos e orientar ações de prevenção. Neste trabalho são propostos indicadores de risco, utilizando nova metodologia de cálculo da inclinação do terreno e o agrupamento de direções principais, que associados aos parâmetros geotécnicos, apresentam maior sensibilidade na definição de limites das áreas de risco, por utilizar a escala real da malha de pontos e simplificar a delimitação de tendências de fluxo. A estabilidade de taludes está associada às condições geotécnicas relativas ao grau de fraturamento e cavidades, da coesão do solo, do tipo de litologia, do lençol freático e aos ângulos de fricção interno das camadas do talude. A inclinação do terreno e a direção da inclinação, regulam diretamente a capacidade de escoamento superficial e o potencial erosivo da drenagem e condicionam o acúmulo e a deposição do material transportado. Todos estes componentes tem extensa variabilidade e dependem de avaliação local específica, contudo o ângulo interno de fricção apresenta associação bem definida em relação a carga, fraturamento e litologia, estabelecendo um parâmetro correlacionável a inclinação do relevo. Declividade não é inclinação. A declividade, do modo como calculada nos programas de GIS, representa a aproximação do plano tangente da inclinação das medições próximas ao ponto central. O método de Inclinação Máxima Aparente apresentado neste trabalho, realça a localização das áreas de inclinação, utilizando a diferença máxima de cota entre os pontos próximos e permitindo a correta avaliação do risco geológico associado aos taludes e planícies, que são classificados automaticamente por limites característicos de processos geotécnicos.

## Introdução

No início de abril de 2010 as cidades de Niterói e Friburgo, no Rio de Janeiro, sofreram diversos desastres devidos a deslizamentos e inundações causadas por tempestades, com mortes e deixando milhares de desabrigados (referência).

A necessidade de mapas indicativos de risco em áreas de ocupação ou trânsito urbano, apontou a demanda por modelos digitais de terreno, nos quais a declividade e o aspecto, calculados a partir das elevações e usando as formulações clássicas, são utilizadas para integração com modelos relativos de geologia, de hidrografia, de pluviometria e de bancos de dados de eventos, para avaliação do risco dos relevos e orientar ações de prevenção.

Diapositivos por equivalentes registros digitais numéricos e a produção automatizada de modelos digitais de elevação. O projeto RADAMBRASIL (CPRM 1), durante os anos de 1970 a 1985, realizou o mapeamento analógico das regiões Norte e Nordeste do território nacional, em escala 1:250.000, utilizando imagens de radar GEMS (Goodyear Mapping System - 1000), com resolução de pixel aproximada em 20 metros, obtidas em de voo com altitudes de 11 a 12 km e velocidades de 700 a 800 km/h e faixas de recobrimento de 37 km.

A integração de procedimentos locais e de diversas metodologias de seleção e correlação digital, foram estabelecidas para o agrupamento e o reconhecimento de feições principais de relevo, permitindo a classificação semi automática das imagens com os recursos disponíveis.

O estabelecimento de metodologias de fotogrametria (estereoscopia, paralaxe, interferometria, ortofotogrametria, etc) e de modelos de interpolação analítica, acompanhado ao desenvolvimento da capacidade de armazenamento e processamento digital, permitiu a partir da década de 1990, a substituição da imagem analógica de

Em fevereiro de 2000, a **Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM)**, realizou o recobrimento zona da Terra entre 56 °S e 60 °N, de modo a gerar uma base completa de cartas topográficas digitais terrestre de alta resolução. A técnica utilizada conjugou software interferométrico com radares de abertura sintética (SAR). Os modelos altimétricos resultantes estão divididos por zonas de 1° de latitude por 1° de longitude, com resolução espacial das células de aproximadamente 30 metros (1") sobre os EUA e

cerca de 90 metros (3") para o resto do mundo, e podem ser obtidos através do site <http://earthexplorer.usgs.gov>.

Em final de 2008, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais lançou Topodata (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil), com resolução espacial igual 30 metros (1"), disponibilizando os arquivos no site <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>.

Em dezembro de 1999, foi lançado o sistema ASTER (The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) is an imaging instrument onboard Terra, the flagship satellite of NASA's Earth Observing System ([EOS](#)) launched in December 1999. ASTER is a cooperative effort between NASA, Japan's Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), and Japan Space Systems([J-spacesystems](#)). ASTER data is used to create detailed maps of land surface temperature, reflectance, and elevation. The coordinated system of EOS satellites, including Terra, is a major component of NASA's Science Mission Directorate and the [Earth Science Division](#). e podem ser obtidos através do site <http://earthexplorer.usgs.gov>.

TABELA 1

STRM	90 m (satelite orbital)
TOPODATA	30 m (satelite orbital)
ASTER	30 m (satelite orbital)
IBGE	20 m (aerofotogrametria)
IKONOS	1 m

## Aspectos Legais

De acordo com a Lei 6.766, de 19 de dezembro de 1979, no Artigo 3, regulando sobre o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, especifica que

*Art. 3º Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal.*

*Parágrafo único - Não será permitido o parcelamento do solo:*

*I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas;*

...

*III - em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes;*

O código florestal, o antigo na Lei Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e o atual na Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012, estabelece no Artigo 4 como áreas de preservação permanente:

*Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:*

...

*V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;*

...

*IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;*

O aspecto importante na forma da lei é a inclusão explícita da “linha de maior declividade” como diretriz para identificação e classificação de formas de relevo e áreas de preservação permanente.

Neste trabalho são propostos indicadores de risco associados às declividades, baseados em parâmetros geotécnicos e nova metodologia de cálculo da inclinação do terreno e agrupamento de direções principais, com maior sensibilidade e definição dos limites das áreas, por utilizar a escala real da malha de pontos e simplificar a delimitação de tendências de fluxo.

## Objetivos

1. Identificar os indicadores de risco associados às declividades baseados nos parâmetros geotécnicos;
2. identificar os indicadores de risco definidos pela nova metodologia de cálculo da inclinação do terreno e agrupamento de direções principais;
3. Apresentar ...

## Materiais e Métodos

A estabilidade de taludes esta associada as condições geotecnicas relativas ao grau de fraturamento e cavidades, da coesão do solo, do tipo de litologia, do lençol freático e aos ângulos de fricção interno das camadas do talude.

Todos estes componentes tem extensa variabilidade e dependem de avaliação local específica, contudo o ângulo interno de fricção apresenta associação bem definida ao em relação a carga, fraturamento e litologia,

A inclinação do terreno e a direção da inclinação, regulam diretamente a capacidade de escoamento superficial e o potencial erosivo da drenagem e condicionam o acúmulo e a deposição do material transportado. Assim, a tensão de cisalhamento sobre o plano de ruptura esta associada a capacidade de carga em fundações, a estabilidade de taludes em barragens, aterros e pilhas de rejeito, a pressão lateral de terra em cortes e muros de contenção.

No limite do deslizamento, a pressão de ruptura supera a resistência ao cisalhamento.

Os estudos geotecnicos procuram definir os valores de tensão característicos e os correspondentes os ângulos, que proporcionem a utilização segura do máximo de carga suportável.

No caso da análise de riscos de desabamentos procuramos exatamente o mesmo....

A correlação entre o limite de tensão cisalhante (shear strength)  $\tau$  e a tensão normal (normal stress)  $\sigma$ , pode ser representada pelo critério de Mohr-Coulomb, onde  $c$  representa a coesão do material e  $\phi$  representa o ângulo interno de fricção.

Este modelo paramétrico pode ser refinado incluindo as componentes do ângulo de rugosidade entre as camadas **i**, ou os coeficientes de rugosidade **JRC** e de compressão **JCS** das juntas e fraturamentos, conforme:

TABELA 2

criterio de Mohr-Coulomb	$\tau = \sigma \tan ( \varphi ) + c$
criterio de Patton	$\tau = \sigma \tan ( i + \varphi )$
criterio de Barton-Brandis	$\tau = \sigma \tan ( JRC * \log ( JCS / \sigma ) + \varphi )$

Hoek (Hoek, 2007) apresenta estas equações com abordagem teórica completa e detalhes analíticos em gráficos.

Barton and Choubey (1977), demonstraram que o modelo cisalhamento clássico de Mohr-Coloumb pode ser refinado e que o ângulo total de fricção limite para ocorrência de cisalhamentos pode ser estimado com testes laboratoriais com precisão de até 1 grau.

Estes parâmetros podem ser avaliados com valores que podem ser estabelecidos em ensaios laboratoriais de cargas direcionais, plasticidade e de ruptura triaxial, conforme os descritos por Gersovich (Gersovich, 2010).

As equações apresentadas na tabela mostram as relações empíricas observadas em ensaios controlados, de forma que os parâmetros descritos **i**, **JRC**, **JCS** e **c** mostram relação direta com o ângulo limite de fricção **φ**.

No caso extremo da ausência da coesão em superfície perfeitamente lisa, o ângulo total de fricção corresponde ao arco tangente da razão entre a tensão cisalhante (shear strength) **τ** e a tensão normal (shear stress) (**σ**) conforme **φ = arctan (τ / σ)**

Barton (Barton, 1973, tabela IV, pag 31) apresenta na tabela IV relacionando diferentes tipos de rochas e os ângulos internos de fricção, sendo o menor ângulo de **23°** e o maior de **40°**.

Portanto podemos admitir que a referência de declividade para encostas, como indicadores de tendência, abaixo de **20°** a ser estáveis e acima de **40°** a ser críticas.

A capacidade e a velocidade de escoamento em área, são parâmetros ...

Os sistemas de drenagem naturais ou artificiais, podem ser superficiais ou subterrâneos e podem ser especificados quanto à capacidade de absorção, esgotamento e acumulação.

Nos .... são aplicados modelos de escoamento e acumulação, conforme os apresentados nos manuais técnicos conforme “Instruções técnicas para elaboração de estudos Hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana” (PCRJ, 2010) para sistemas urbanos e “Normas para o projeto das estradas de rodagem” (DNIT, 1973) para sistemas rodoviários.

Áreas urbanas não devem ser completamente horizontais ou não haverá escoamento da água nos dias de chuva. Além de permitir o escoamento, a declividade deve ser tal que a velocidade da água seja suficiente para carrear pequenos detritos.

Os modelos hidrodinâmicos de escoamento livre podem ser laminares ou turbulentos .

declividade mínima de **0.5%** e máxima de **12%**

declividade transversal mínima das ruas em **2%**

Estabelecem que a declividade longitudinal urbana mínima de e que a declividade transversal dos acostamentos rodoviários deverá ser de **5%**.

H. Rahardjo, Although Darcy's law is applicable to water flow through both saturated and unsaturated soils, there are two major differences between the water flows through saturated and unsaturated soils. First, the ability of an unsaturated soil to retain water varies with the soil suction (an SWCC defines the relationship between the soil suction and the water content; see Fig. 1). Second, like saturated soils, the hydraulic conductivity of an unsaturated soil is not a constant but rather a function of the soil suction (a permeability function curve defines the relationship between soil suction and the water content).

In eq. [1], both  $k_w$  and  $m^2_w$  are influenced by the changing pore-water pressure as a consequence of infiltration. Infiltration changes pore-water pressure and, since pore-water pressure is related to both water retention (through the SWCC) and hydraulic conductivity (through the permeability function curve) of an unsaturated soil, the flow of water through an unsaturated soil (eq. [1]) is largely affected by the infiltration. Thus it is essential to understand the response of a residual soil slope to rainfall and infiltration.

Os limites de declividade utilizados originalmente pela EMBRAPA (1979) para descrição de relevo em domínios morfológicos estão apresentados na tabela 2.

Estes limites são atualmente utilizados genericamente para classificação supervisionada de áreas de risco em associação com hidrometria hipsometria geologia etc

TABELA 3

Declividade (%)	Angulo de Inclinação (graus)	Relevo
0–3	0 a 1.72	plano
3–8	1.72 a 4.57	suavemente ondulado
8–20	4.57 a 11.31	ondulado
20–45	11.31 a 24.23	fortemente ondulado
45–75	24.23 a 36.87	montanhoso
> 75	36.87	fortemente montanhoso

Cabe ressaltar os valores calculados resultantes são independentes do o valor no ponto central, que não é utilizado nas fórmulas e portanto representam a diferença entre valores de pontos correspondente ao dobro dos espaçamentos.

## Escalas

## Processamento e visualização

O processamento e visualização dos dados de elevação foi realizado com os programas Quantum GIS 2.0, GRASS,

## Base de dados



A folha 1:25000 27454SE foi escolhida para implementação por apresentar relevos diferenciados de montanhas e lagoas, constituindo diversidade suficiente para avaliação do método.

Como modelo digital de terreno foi utilizado o arquivo da folha MDE-27454SE (IBGE,1), de área 7'30" por 7'30" e gerado através de algoritmos automáticos de extração altimétrica por correlação de imagens, contendo possíveis anomalias ocasionadas por limitações práticas e exatidão em média,  $\pm 5$  metros na componente altimétrica, dependendo das características da região, conforme descrito no metadados do projeto do IBGE (IBGE, 2).

O arquivo da folha é formado por 508660 pontos, organizado em matriz de 720 por 704 pontos, em formato ASCII, contendo a elevação em metros e as coordenadas na projeção UTM, referenciada a zona utm de fuso 23, e com distância entre pontos de 20 por 20 metros.

As coordenadas do arquivo foram convertidas de utm para geográficas, no padrão SIRGAS 2000, utilizando elipsoide GRS 1980 e meridiano central de 45oS, com programa baseado nas fórmulas indicadas por Snyder (Snyder, 1982) e resultados coincidentes ao do INPE (INPE,1) e resolução menor que 10 metros.

Os limites da área de estudo foram definidos em coordenadas geográficas referenciadas como -43,1322 e -23,0014 a -42,9933 e -22,8699.

Para a diferenciação das porções oceânicas e terrestres foi utilizado o contorno político dos limites do estado do Rio de Janeiro referente ao censo 2010, disponibilizado pelo IBGE (IBGE, 3), originado em escala 1:250.000 e recortado entre as coordenadas de limites da área.

Os pontos no arquivo de terreno situados no oceano ou com elevações negativas, tiveram a elevação modificada para a cota zero.

## Resultados e Discussão

Aqui entra os resultados do modelo que vc gerou e discute-se a comparação com o modelo tradicional utilizado. daqui vem a discussão crítica apontando as falhas do modelo utilizado através de percentuais, figuras ilustrativas, gráficos, etc. que sustentam a crítica.

## Conclusões

Declividade não é inclinação. A declividade tal como calculada nos programas de GIS representa a aproximação da inclinação das medições próximas ao ponto central.

O método de Inclinação Máxima Aparente apresentado, realça a localização das áreas de inclinação utilizando a diferença máxima de cota entre os pontos próximos, permitindo a correta avaliação do risco geológico associado aos taludes e planícies.

A definição de limites de inclinação baseados em exemplos da literatura geotécnica e urbanística, ( 40 22o 45o) auxilia a identificação de potenciais...

## Anexo

Em modelos digitais de elevação representados por matrizes de pontos com valores de elevação inferidos, por interpolação, sendo arbitrárias as direções ortogonais da malha, porém geralmente coincidentes com as orientações norte e este geográficas.

A declividade (slope) é expressa como a diferença de elevação entre pontos do terreno, em relação à distância que os separa, e a orientação da declividade (aspect) é expressa pelo ângulo cuja a tangente é a razão entre as declividades na direção x e na direção y (ESRI, 1 e 2).

Considerando sub-seção de grid formada por 3 x 3 pontos, na dispostos como

A	B	C
D	E	F
G	H	I

Entre os vários modelos de cálculo, o utilizado pelos softwares ARCGIS, Quantum GIS, GRASS, a declividade e a orientação são calculadas como descrito por Horn (Horn, 1981):

$$(dz/dx) = ((a + 2d + g) - (c + 2f + i)) / (8 * \text{espaçamento\_em\_x})$$

$$(dz/dy) = ((a + 2b + c) - (g + 2h + i)) / (8 * \text{espaçamento\_em\_y})$$

$$\text{declividade} = \text{SQRT}(\text{SQR}(dz/dx) + \text{SQR}(dz/dy))$$

$$\text{aspect} = \text{ATAN}((dz/dx) / (dz/dy)) * 57.29578$$

## Referências e Bibliografia

Projeto RADAM-D - Preservação e disseminação das imagens originais geradas pelos projetos RADAM e RADAMBRASIL, <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=796&sid=9>, CPRM, acessado em 13/11/2013

Modelos Digitais de Elevação, Rio de Janeiro, escala 1:25.000, [ftp://geoftp.ibge.gov.br/./modelo\\_digital\\_de\\_elevacao/projeto\\_rj\\_escala\\_25mil/ascii/MDE\\_27454se\\_v1.zip](ftp://geoftp.ibge.gov.br/./modelo_digital_de_elevacao/projeto_rj_escala_25mil/ascii/MDE_27454se_v1.zip), IBGE, acessado 10/11/2013,

Metadados do Modelos Digitais de Elevação, Rio de Janeiro, escala 1:25.000, [ftp://geoftp.ibge.gov.br/./modelo\\_digital\\_de\\_elevacao/projeto\\_rj\\_escala\\_25mil/Metadados\\_MDE\\_RJ25.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/./modelo_digital_de_elevacao/projeto_rj_escala_25mil/Metadados_MDE_RJ25.pdf), IBGE, acessado 10/11/2013,

Malhas digitais dos municípios, referentes ao CENSO de 2010, [ftp://geoftp.ibge.gov.br/./malhas\\_digitais/municipio\\_2010/rj.zip](ftp://geoftp.ibge.gov.br/./malhas_digitais/municipio_2010/rj.zip), IBGE, acessado em 10/11/2013

Malha digital de elevação, referente ao GEOTOPO, <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>, INPE, acessado em 15/11/2013

<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv24022.pdf>, IBGE, acessado em 13/11/2013

Projeto RADAMBRASIL v24 (Suplemento) <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/Projeto%20RADAMBRASIL/Projeto%20RADAMBRASIL%20v24%20%28Suplemento%29.pdf>, IBGE, acessado em 13/11/2013

Calculadora Geográfica, 2013, <http://www.dpi.inpe.br/calcula/>, INPE, acessado em 08/11/2013

Lei 6766, Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano, 1979, [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6766compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6766compilado.htm), acessado em 18/11/2013

<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#>

How Slope works,

<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=How%20Slope%20works>, ESRI 1, acessado em 05/11/2013

How Aspect works

<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=How%20Aspect%20works>, ESRI 1, acessado em 05/11/2013

Resistencia ao cisalhamento dos solos,

<http://professor.ucg.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15811/material/14-%20RESISTENCIA.pdf>, UCG, acessado em 15/11/2013

Aster Global DEM <http://earthexplorer.usgs.gov/>, USGS, acessado em 13/11/2013

Landsat, (ID: LC82170762013214LGN00, CC: 0%, Date: 2013/8/2, Qlty: 9, Product: OLI\_TIRS\_L1T), <http://glovis.usgs.gov/>, USGS, acessado em 15/11/2013

Herbert Glarner, Digital Terrain Analysis, [http://www.gandraxa.com/digital\\_terrain\\_analysis.xml](http://www.gandraxa.com/digital_terrain_analysis.xml), acessado em 13/11/2013

Hunter G. J. and Goodchild M. F. (1997). ["Modeling the uncertainty of slope and aspect estimates derived from spatial databases"](#). *Geographical Analysis* **29** (1): 35–49. UCSB, acessado em 04/11/2013

Horn, B. K. P. (1981). *Hill Shading and the Reflectance Map*, Proceedings of the IEEE, 69(1):14-47.

[http://www.cs.bgu.ac.il/~icbv061/Readings/1981-Horn-Hill\\_Shading\\_and\\_the\\_Reflectance\\_Map.pdf](http://www.cs.bgu.ac.il/~icbv061/Readings/1981-Horn-Hill_Shading_and_the_Reflectance_Map.pdf), BGU.AC, acessado em 05/11/2013

John A. Dutton e-Education Institute

<https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/book/export/html/1837>

Burrough, P. A., and McDonell, R. A., 1998. Principles of Geographical Information Systems (Oxford University Press, New York), 190 pp.

Barton, N. and Choubey, V, 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mechanics, pgs 1-54.

Barton N, 1973, A new shear strength criterion for rock joints, [http://www.nickbarton.com/Downloads\\_new/1973.%20Barton-A%20new%20shear%20strength%20criterion%20for%20rock%20joints.%20Eng.%20Geol.zip](http://www.nickbarton.com/Downloads_new/1973.%20Barton-A%20new%20shear%20strength%20criterion%20for%20rock%20joints.%20Eng.%20Geol.zip), acessado em 18/11/2013

Gersovich, Denise M. 2010, Resistência ao Cisalhamento, Faculdade de Engenharia, Departamento de Estruturas e Fundações, <http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/resistenciacisalhamento.pdf>, UERJ, acessado em 05/11/2013

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da X reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979, 83p. [http://library.wur.nl/isric/fulltext/isricu\\_i00006739\\_001.pdf](http://library.wur.nl/isric/fulltext/isricu_i00006739_001.pdf), WUR, acessado em 05/11/2013

J.P.Snyder, 1982, Map projections used by the USGS; USGS Bulletin no. 1532, p 129-131, p 256-258. scribd.com, acessado em 02/11/2013

PCRJ, Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, 2010, Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana, <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/1377338/DLFE-215301.doc/InstrucoesTecnicasProjetosdeDrenagem1.versao.doc>, acessado em 18/11/2013

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006, Manual de Drenagem de rodovias, [http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual\\_drenagem\\_rodovias.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual_drenagem_rodovias.pdf), acessado em 18/11/2013

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 1973, Normas de projeto de estradas de rodagem, <http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/faixa-de-dominio/normas-projeto-es-tr-rod-reeditado-1973.pdf>, acessado em 18/11/2013

AGEFIS, Agência de Fiscalização do Distrito Federal, Declividades e desniveis, [http://www.agefis.df.gov.br/sites/default/files/acessibilidade/projetos\\_urbanos/declividades](http://www.agefis.df.gov.br/sites/default/files/acessibilidade/projetos_urbanos/declividades)

[\\_e\\_desniveis.pdf](#), acessado em 15/11/2013

N.R. Barton, 2008, Shear Strength of Rockfill, Interfaces and Rock Joints, and their Points of Contact in Rock Dump Design, Rock Dumps ©2008, Australian Centre for Geomechanics, Perth,  
[http://www.acg.uwa.edu.au/\\_data/page/4723/RD\\_Sample\\_Chapter.pdf](http://www.acg.uwa.edu.au/_data/page/4723/RD_Sample_Chapter.pdf), acessado em 15/11/2013

Barton-Bandis Criterion,  
[http://www.rocscience.com/help/rocddata/webhelp/rocddata/Barton-Bandis\\_Criterion.htm](http://www.rocscience.com/help/rocddata/webhelp/rocddata/Barton-Bandis_Criterion.htm),  
acessado em 15/11/2013

Hoek E, 2007, Practical Rock Engineering, Shear Strength of discontinuities,  
[http://www.rocscience.com/hoek/corner/4\\_Shear\\_strength\\_of\\_discontinuities.pdf](http://www.rocscience.com/hoek/corner/4_Shear_strength_of_discontinuities.pdf),  
acessado em 15/11/2013

Hoek E, 2007, Practical Rock Engineering,  
[http://www.rocscience.com/education/hoek\\_corner](http://www.rocscience.com/education/hoek_corner), acessado em 15/11/2013

H. Rahardjo, T.T. Lee, E.C. Leong, and R.B. Rezaur, 2005, Response of a residual soil slope to rainfall,  
<http://civil.eng.usm.my/Rezaur/Publications/Journal%20Publications/RezaJpaper9.pdf>,  
acessado em 22/11/2013

Carvalho, Daniel F e Silva Leonardo D B, Hidrologia -Capitulo 3. Bacia Hidrografica, 2006,  
<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap3-BH.pdf>,  
acessado em 25/11/2013

<http://forums.esri.com/Thread.asp?c=3&f=38&t=132875&mc=7#msgid384532>,

Re: Slope Calculation

Author Dan Patterson

Date: Jul 27, 2004

Message:

Bill, as you know, slope is calculated using the following (from help files)

```
rise_run = SQRT(SQR(dz/dx)+SQR(dz/dy))  
degree_slope = ATAN(rise_run) * 57.29578
```

where the deltas are calculated using a 3x3 roving window, where a through i represent the values in the window:

```
a b c  
d e f  
g h i
```

```
(dz/dx) = ((a + 2d + g) - (c + 2f + i)) / (8 * x_mesh_spacing)  
(dz/dy) = ((a + 2b + c) - (g + 2h + i)) / (8 * y_mesh_spacing)
```

This uses the 8 nearest neighbours. Eppl7 used to have 3 slope options, the one above, one using the 4 nearest neighbours ignoring the 4 diagonal cell and the last (which they referred to as the steepest drop) was one where the slope was calculated using a, b, c, d, f, g, h, i relative to e divided by the cell size (ie distance), hence if a,c,d,f,g,h,i and e all had a value of 10 and b had a value of 0, then the slope would be calculated as 10/cell size which gives quite a different value than the AV formula using the 8 or 4 cardinal direction options. That is what I thought he was referring to as the "highest" slope

Geomatics, Carleton University, Ottawa, Canada



## ASTER Global Digital Elevation Model Data Set Characteristics

Tile Size	3601 x 3601 (1 degree by 1 degree)
Pixel Size	1 arc-second
Geographic coordinates	Geographic latitude and longitude
DEM output format	GeoTIFF, signed 16 bits in units of vertical meters
Geoid reference	WGS84/EGM96
Special DN values	-9999 for void pixels, and 0 for sea water body
Tile volume	25 MB uncompressed, 4–5 MB compressed
Coverage	North 83 degrees to south 83 degrees, 22,702 tiles

fonte: [https://lpdaac.usgs.gov/products/aster\\_products\\_table/astgtm](https://lpdaac.usgs.gov/products/aster_products_table/astgtm)

## Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

Projection	Geographic
Horizontal Datum	WGS84
Vertical Datum	EGM96 (Earth Gravitational Model 1996)
Vertical Units	Meters
Spatial Resolution	1 arc-second for the United States 3 arc-seconds for global coverage
Raster Size	1 degree tiles
C-band Wavelength	5.8 cm

fonte: <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM2>

#### Global Land Survey (GLS)

GLS 1975	Landsat 1-3 Multispectral Scanner (MSS)	Images acquired from 1972 - 1983
GLS 1975	Landsat 4-5* Multispectral Scanner (MSS)	Images acquired from 1982 - 1987 *Landsat 4-5 data were used to fill gaps in the Landsat 1-3 data
GLS 2010	Landsat 5 Thematic Mapper (TM)	Images acquired from 2008 - 2011
GLS 2010	Landsat 7 ETM+	Images acquired from 2008 - 2011

fonte: <https://lta.cr.usgs.gov/GLS>

NBR-11682.

queda, tombamento, escorregamento e escoamento

<http://ebookbrowse.net/comentarios-sobre-norma-nbr-11682-pdf-d392943189>

acessado em 03/06/2014

NBR-13133, MAIO 1994

Execução de levantamento topográficos

[http://www.georeferencial.com.br/old/material\\_didatico/NBR\\_13133\\_Execucao\\_de\\_Levantamento\\_Topografico.pdf](http://www.georeferencial.com.br/old/material_didatico/NBR_13133_Execucao_de_Levantamento_Topografico.pdf)

acessado em 03/06/2014

Dennis Rodrigues da Silva, Julia Célia Mercedes Strauch, Luciana Mara Temponi de Oliveira,

Análise do fator de risco declividade para a cidade de Niterói – RJ, 1988 e 2009

Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.3955

<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0932.pdf>

acessado em 03/06/2014