



**13º CONGRESSO DA APDR**  
**1º Congresso de Gestão e Conservação da Natureza**  
Congresso Lusófono de Ciência Regional



*Recrutar e Valorizar o Território*

**Contributos para o conhecimento da perda de solo  
na bacia da Ribeira Seca (Santiago, Cabo Verde)**

Fernando L. Costa & M. Carmo Nunes

Instituto de Investigação Científica Tropical (IICT)  
Trav. Conde da Ribeira, 9-B, 1º, 1300-142 Lisboa, Portugal, Tel/Fax: (351) 213640046  
E-mail: flcosta1955@gmail.com; mcarmonunes@hotmail.com

# **Contributos para o conhecimento da perda de solo na bacia da Ribeira Seca (Santiago, Cabo Verde)**

Fernando L. Costa & M. Carmo Nunes

Instituto de Investigação Científica Tropical (IICT)

Trav. Conde da Ribeira, 9-B, 1º, 1300-142 Lisboa, Portugal, Tel/Fax: (351) 213640046

E-mail: flcosta1955@gmail.com; mcarmonunes@hotmail.com

**Resumo:** A maioria das avaliações de perda de solos por erosão hídrica em Cabo Verde foi realizada nas décadas de 80 e 90 e incidiram na ilha de Santiago, em particular na bacia da Ribeira Seca. Basearam-se em cálculos empíricos, em medições de carga sólida de cursos de água ou dos sedimentos acumulados em diques e em registos de parcelas instaladas em vertentes. Os resultados obtidos foram muito díspares, utilizaram séries curtas de dados e as perdas de solo não foram relacionadas com os processos erosivos que as originaram, nem com as condições locais de erosividade e de erodibilidade.

O presente trabalho surge na sequência de outros já realizados pelos autores, sobre os processos erosivos e suas condicionantes na bacia da Ribeira Seca. Pretende-se avaliar a importância relativa de variáveis morfológicas e geológicas de erodibilidade, cujo papel foi reconhecido localmente, e comparar com os factores correspondentes da Equação Universal da Perda de Solo (USLE-Wischmeier). Conclui-se que os resultados obtidos com base nas variáveis geomorfológicas, como utilizam a informação à escala da vertente, traduzem melhor a realidade observada do que os baseados em factores da USLE, que a tratam a nível regional.

**Palavras-chave:** Formas de relevo, Erosão hídrica; Condicionantes de erodibilidade; Perda de solo; SIG; Santiago; Cabo Verde.

## **1 – Introdução**

A bacia da Ribeira Seca é a mais extensa de Santiago e desenvolve-se na sua fachada oriental, mais pluviosa, entre o Maciço do Pico da Antónia, o mais elevado da ilha (1350 m), e a costa leste a sul de Pedra Badejo (fig. 1). Trata-se de uma das bacias

mais relevantes do ponto de vista da produção agrícola, com contrastes regionais nas condições geomorfológicas, litológicas, pedológicas, hidrográficas, climáticas e da cobertura vegetal.

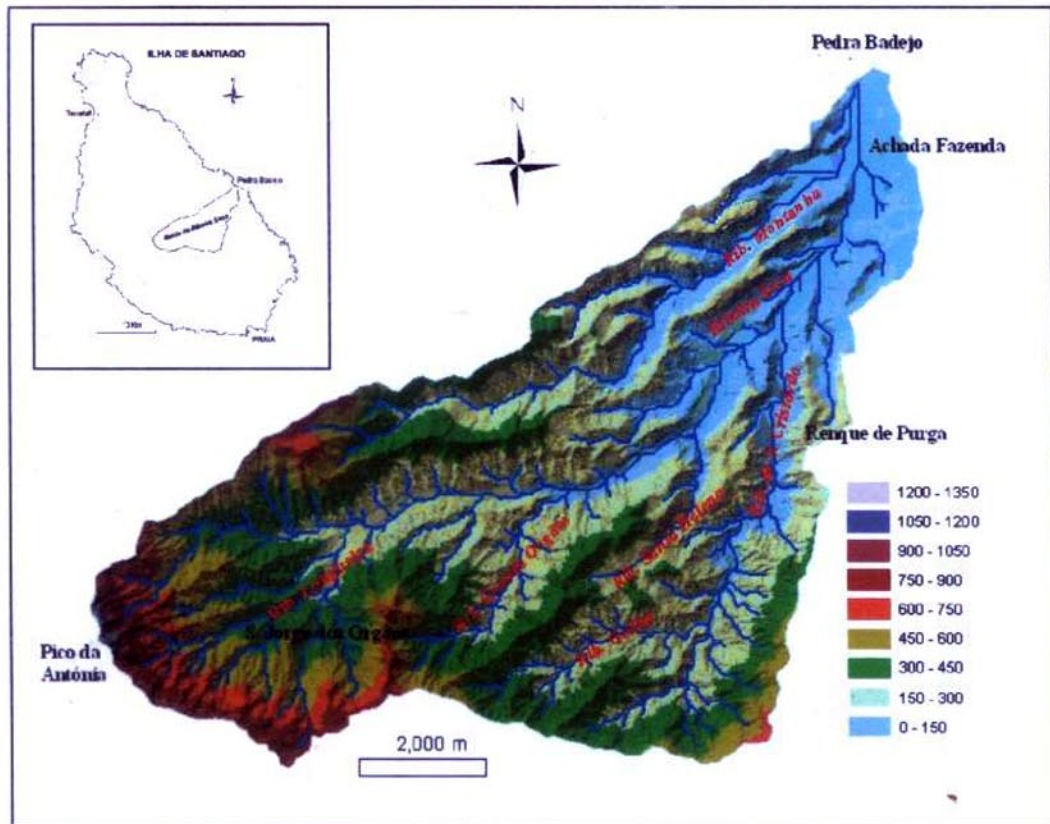


Fig. 1 – Bacia da Ribeira Seca.

A grande diversidade das formas de relevo, os declives acentuados, a grande variabilidade do perfil e do traçado das vertentes e a existência de rochas e solos com graus de erodibilidade variados, induzem uma dinâmica actual das vertentes marcada por processos erosivos profundamente relacionados com limitantes locais (Costa, 1996 e 2002). A estes factores associam-se a fraca cobertura vegetal e o remeximento antrópico do solo para fins agrícolas, no quadro de condições de clima semi-árido saheliano, que acentuam ainda mais aquela dinâmica.

Os processos erosivos resultantes da acção da gravidade, que se desencadeiam durante a longa estação seca, afectam sectores bem definidos pelas condicionantes lito-estruturais das rochas do substracto. Neles se incluem os desabamentos, como as quedas de blocos e de calhaus, que afectam essencialmente vertentes talhadas em basaltos fragmentados e/ou com rebordos rochosos (Costa, 2004). Neles se integram também as escoadas que ocorrem a seco, mais frequentes em materiais granulares, como os fluxos a seco, a reptação ou as escoadas de detritos.

Os processos erosivos sob a acção do escoamento que ocorrem no curto período húmido, quando a intensa actividade agrícola torna o solo mais vulnerável (Costa e Raposo, 2005), afectam de forma generalizada todas as áreas. Atingem, no entanto, de uma forma mais acentuada os sectores que se encontram talhados em materiais geológicos mais friáveis, como os piroclastos ou os materiais de cobertura de texturas granulares, onde se formam os sulcos e as ravinas mais extensos, largos e profundos e com uma maior densidade. Na bacia da Ribeira Seca estes processos relacionados com a acção da escorrência em vertentes são os mais activos e os que afectam maiores extensões, apesar dos episódios chuvosos só ocorrerem, geralmente, em 10% dos dias dos três meses da estação húmida. A erosão hídrica, condicionada pelo carácter concentrado e intenso das precipitações, atinge os vários tipos de unidades geológicas e de condições morfológicas locais existentes na bacia, embora com diferentes graus de intensidade na dependência de factores locais de erodibilidade (geomorfológicos, pedológicos e de coberto do solo) (Costa, 2004).

Os cursos de água transportam um elevado caudal sólido, como consequência da erosão hídrica acentuada quando ocorrem os episódios chuvosos. A constatação desse fenómeno esteve na base de avaliações de perda de solos e de análises dos processos erosivos e das suas condicionantes fisiográficas e geológicas.

Os estudos de quantificação de perda de solo sob a acção do escoamento em vertentes realizados em Cabo Verde incidiram na Ilha de Santiago e, particularmente, na bacia da Ribeira Seca. Compreenderam cálculos empíricos em bacias hidrográficas, registos de carga sólida, avaliações de taxas de sedimentação em diques transversais construídos em fundos de vales e medições em parcelas experimentais localizadas em determinados sectores de vertentes.

Os cálculos empíricos efectuados com recurso às equações de Fournier (Marques, 1984) e Universal de Perda de Solo (USLE-Wischmeier) (Faurès e Morais 1988), para bacias afluentes da Ribeira Seca, permitiram obter valores demasiado elevados se comparados com as medições directas. Os registos de carga sólida (Faurès e Morais 1988) cifram-se abaixo das 100 ton./ha/ano, o que corresponde a cerca de metade dos calculados empiricamente (USLE) para as bacias dos mesmos colectores. Os valores obtidos em parcelas experimentais instaladas em vertentes têm uma grande variabilidade em função do comportamento anual das precipitações e dos tipos de ocupação do solo das várias parcelas. Os máximos obtidos referem-se a solos a nu, logo seguidos dos sectores ocupados com a cultura mista tradicional de milho e feijão,

atingindo o máximo de 87,7 ton./ha/ano, valor que se aproxima ao das cargas sólidas observadas em cursos de água (Barry e outros, 1995).

A avaliação da sedimentação em diques transversais instalados no vale da Ribeira Seca apontou para uma taxa de 13,9 ton./ha/ano (Sabino, 1992). Esta taxa é um pouco inferior ao registo médio de todas as parcelas experimentais instaladas em vertentes na bacia. Corresponde, no entanto, a cerca de 7 vezes menos do que o valor de medições locais de cargas sólidas médias daquela ribeira (Faurès e Morais 1988).

O valor da taxa de sedimentação em fundos de vale pode reflectir, de uma forma mais clara, a erosão e as potenciais perdas que efectivamente se verificam. Na realidade as medições efectuadas nas próprias vertentes referem-se a parcelas que se localizam próximo dos topos, onde ocorre uma erosão hídrica activa por sulcagem e lavagem de elementos finos em toalha. Não entram em linha de conta com a sedimentação que se verifica para a base, responsável pela frequente concavidade de sopé, nem tão pouco com a acumulação predominante nos fundos de vale.

No seu conjunto os resultados obtidos são muito díspares, baseiam-se em séries de dados muito limitadas no tempo e não relacionam a perda de solo com a erosividade das precipitações ou com o escoamento superficial no mesmo período e local de observação. Não consideram os tipos de processos erosivos que a originam, a sua extensão, intensidade e densidade, nem sequer a erodibilidade condicionada pela sua posição, pelas formas de relevo, pela geologia e pelos tipos e uso de solo.

## **2 – Condicionantes geomorfológicas de erosão hídrica**

Os estudos de geomorfologia realizados na bacia da Ribeira Seca, baseados em levantamentos detalhados de campo, avaliaram algumas das condicionantes morfológicas e morfométricas responsáveis pelo desencadeamento de processos de erosão hídrica, como a variabilidade das formas de relevo, os declives, o perfil e o traçado das vertentes, bem como as condições de erodibilidade relativa das diferentes unidades litológicas ou dos materiais de cobertura.

O declive foi referido, pela maioria dos autores que estudaram a bacia, como um dos factores de erosão hídrica mais relevantes (Marques, 1984 e Bertrand, 1994). Nos sectores das vertentes com declives muito acentuados, superiores a 70%, não se encontram vestígios de erosão hídrica, contrariamente aos que se observam em troços

mais suaves, a meia vertente ou mais próximos dos fundos de vale (Costa, 2004). Nos topos das vertentes mais desnudados ocorre alguma erosão hídrica, que se acentua imediatamente abaixo, sob a acção do escoamento superficial em toalha e linear. O rebaixamento topográfico regista-se, sobretudo, em sectores próximos dos topos das vertentes e a sulcagem a meia vertente (Costa, 2002), ambos em condições de declive superiores a 20%, e as ravinas em troços com declives mais suaves, para a base das vertentes, por acumulação e aumento do escoamento.

Observações directas de campo permitem afirmar que em condições de declive inferiores a 2% não há condições de escoamento e não se registam vestígios de erosão hídrica. O escoamento lento e a escorrência difusa elementar ocorrem em condições de declives inferiores a 10% ou em sectores próximos dos topos provocando erosão em toalha (Costa, 2006). Em condições de declives entre 10 e 20% o escoamento é fácil e a concentração da drenagem facilita a formação de ravinas e raros sulcos. Sob declives entre 20 e 35% predominam o ravinamento e sulcagem intensos, entre 35 e 70% a sulcagem é predominante e acima deste último valor o escoamento é muito rápido não permitindo o desenvolvimento de formas de erosão hídrica. Mais de 70% da área da bacia da Ribeira Seca tem declives entre 10 e 35%, com condições de escoamento fácil, correspondendo a sectores que permitem uma erosão hídrica intensa (Costa e Nunes, 2006).

O perfil das vertentes foi igualmente apontado como outra das condicionantes de erosão hídrica mais importantes na bacia. Nos sectores das vertentes de perfil rectilíneo, os que têm maior representação na área, regista-se uma intensa erosão hídrica, fundamentalmente por sulcos, que, nestas condições de declive constante, atingem uma maior densidade, extensão, largura e profundidade. Estas formas de erosão observam-se normalmente a meia vertente e próximo dos topos convexos, em particular nas cabeceiras dos valeiros (Costa, 2004). Nos sectores das vertentes com este tipo de perfil e talhados em material friável de cobertura, ocorrem as maiores perdas de solo sob a acção do escoamento (Bertrand, 1994), pelo que a susceptibilidade à erosão é elevada. Nos troços de perfil convexo formam-se algumas ravinas e os sulcos são igualmente comuns, mas não atingem as proporções dos sectores rectilíneos, constituindo troços com condições de erodibilidade média. Nos sectores de perfil côncavo com mais de 50m de extensão, regista-se uma concentração da drenagem tal que os sulcos evoluíam rapidamente em ravinas (Bertrand, 1994). Nestas áreas, que se encontram sobretudo a meia vertente e para a base, em declives mais suaves, desenvolvem-se com maior

frequência ravinas e os sulcos são pouco comuns (Costa, 2004), correspondendo a sectores de menor susceptibilidade à erosão hídrica.

O traçado das vertentes foi também referenciado como um dos factores de erosão hídrica, de acordo com observações detalhadas de campo (Costa, 2004 e 2006). Nos sectores das vertentes de traçado côncavo os sulcos atingem uma maior densidade, comprimento, largura e profundidade e as ravinas são mais extensas, têm, no entanto, maior densidade em sectores de traçado rectilíneo. Na bacia verifica-se uma grande variação espacial do perfil e do traçado das vertentes, sendo predominantes as de perfil rectilíneo e côncavo, correspondendo respectivamente a 40 e 38%, e as vertentes de traçado rectilíneo e convexo, com 46 e 39% (Costa e Nunes, 2006).

As vertentes irregulares são mais sujeitas à erosão hídrica, sendo os sectores mais afectados os com declives entre 20 e 35%, com perfil rectilíneo e traçado côncavo, onde predominam o rebaixamento topográfico e a sulcagem. Seguem-se os troços com declives de 10 a 20% e de 35 a 70%, com perfil e traçado convexo. Os menos susceptíveis são os sectores com declive entre 2 e 10% e acima de 70%, com perfil côncavo e traçado rectilíneo, onde é mais frequente o ravinamento (Costa e Nunes, 2006).

A geologia, mais concretamente a litologia, foi também assinalada como uma das condicionantes de erodibilidade. Nos sectores com um elevado teor de material granular de cobertura observa-se lavagem de elementos finos e conseqüentemente rebaixamento topográfico. Este processo, resultante do escoamento elementar em toalha ou laminar difuso, é pouco visível nas áreas cobertas por cascalheiras (Costa, 2002). Em vertentes talhadas em materiais friáveis, com texturas granulares a finas, como alguns piroclastos, depósitos fluviais e sobretudo conglomerados e brechas sedimentares são mais comuns os sulcos. Estas últimas formações, que ocupam 36% da bacia (fig. 6), foram consideradas como as de maior susceptibilidade à erosão hídrica, dada a sua comum arenização superficial. As ravinas são mais frequentes no contexto das mesmas unidades geológicas dos sulcos e também em vertentes onde afloram lavas em almofada e em sectores cobertos por cascalheiras (Costa, 2002). Estes últimos sectores podem-se considerar de erodibilidade média e encontram-se em apenas 14% da superfície da bacia. As unidades menos susceptíveis à erosão hídrica são as formações sedimentares plio-quadernárias e os mantos lávicos do complexo eruptivo dominante na bacia, ocupando metade da sua área.

A integração do conjunto das variáveis formas de vertente (perfil e traçado), declives e geologia, permitiu elaborar um modelo de susceptibilidade à erosão hídrica, para a bacia da Ribeira Seca (fig. 2) (Costa e Nunes, 2006). Esse modelo serviu de base para o estudo comparativo com os correspondentes factores da USLE, que é realizado no presente estudo.

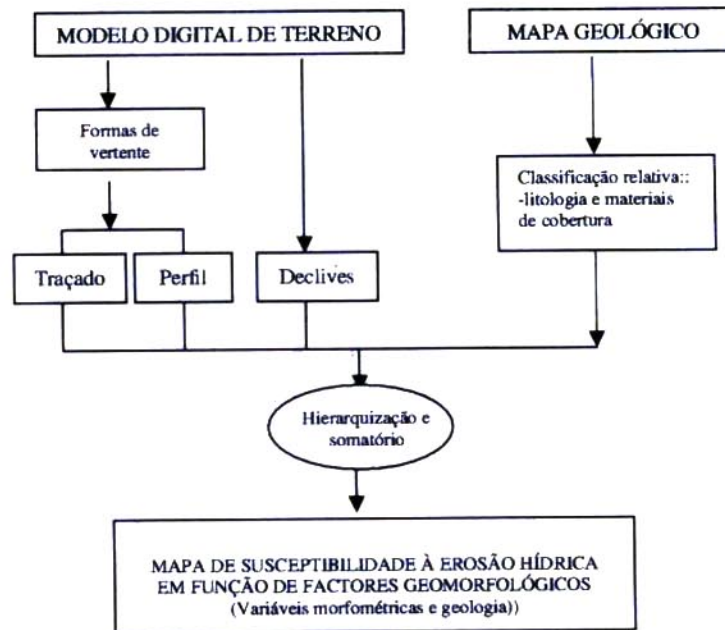


Fig. 2 – Modelo de susceptibilidade à erosão hídrica em função de variáveis geomorfológicas.

### 3 - Metodologia e Dados

Neste estudo comparam-se os resultados obtidos com base em variáveis geomorfológicas, referentes às formas das vertentes e à litologia, com os factores correspondentes da Equação Universal de Perda de Solo (USLE – Wischmeier), relativos às características do relevo e dos solos.

Para o efeito recorreu-se ao Modelo Digital do Terreno (MDT), criado a partir da altimetria obtida do mapa topográfico na escala de 1/25 000 (SCE, 1972) em que a equidistância das curvas de nível é de 10 metros. Foi criado o modelo de rede de triângulos (TIN), do qual se obteve o modelo em grelha (MDT), com uma resolução espacial de 15 metros. O MDT esteve na origem da produção de mapas de declives, de perfil e de traçado das vertentes, com base em algoritmos *fuzzy* aplicados à classificação

das formas de relevo (Schmidt e Hewitt, 2003). Cada um destes mapas foi reclassificado com base numa análise qualitativa, sendo atribuído um grau hierárquico relativo a cada classe em função da susceptibilidade à erosão hídrica (fig. 2). Do seu somatório e nova reclassificação obteve-se um mapa de erodibilidade relativa em função da morfologia (fig. 4). Recorreu-se também ao mapa geológico na escala de 1/25.000 (JIU/IICT, 1975), cujas unidades geológicas, após digitalização, foram reclassificadas pelo grau hierárquico de erodibilidade e apresentadas em mapa (fig. 6). Como resultado obtiveram-se 4 mapas, um por cada uma das componentes (perfil, traçado, declive e geologia), cujo somatório em *rank* e reclassificação permitiu obter um mapa final de susceptibilidade à erosão hídrica (figs. 2 e 8) (Costa e Nunes, 2006).

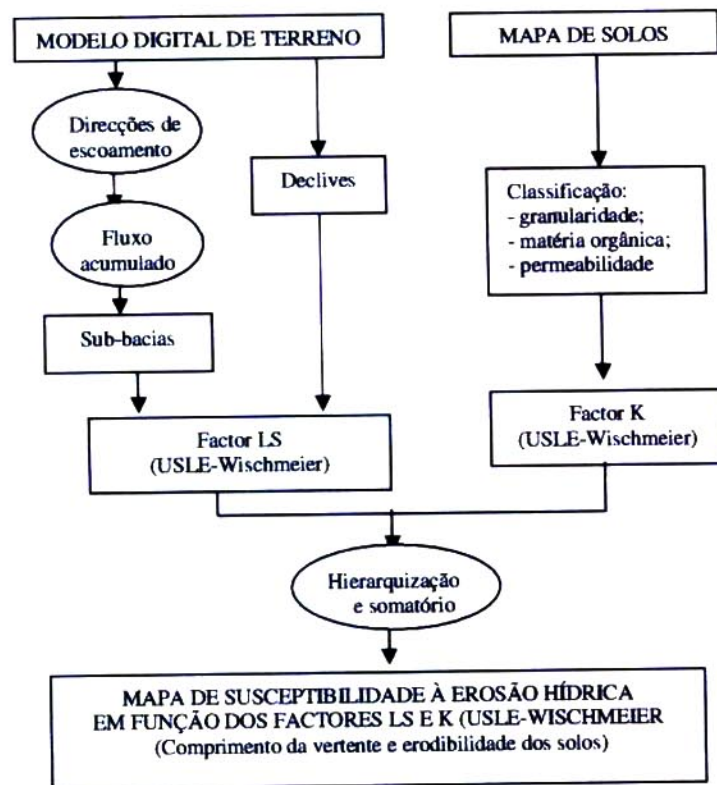


Fig. 3 – Modelo de susceptibilidade à erosão hídrica em função dos factores comprimento das vertentes (LS) e erodibilidade dos solos (K) da USLE (Wischmeier).

Compararam-se estes resultados com os alcançados através dos factores da USLE comprimento das vertentes (LS) e erodibilidade dos solos (K). Para o cálculo do LS foram delimitadas regiões, nomeadamente sub-bacias, a partir do MDT, e utilizadas as funções de direcção de escoamento e de fluxo de drenagem acumulado (fig. 3)

(Jensen e Domingue, 1988). O comprimento das vertentes de uma região é calculado atribuindo a todos os *pixels* que nela se integram o valor máximo encontrado nessa região, no caso, as sub-bacias definidas automaticamente com uma dada área mínima. Após reclassificação do resultado obteve-se um mapa de erodibilidade relativa das bacias em função do comprimento das vertentes (fig. 5).

O factor K (USLE-Wischmeier) de erodibilidade dos solos foi determinado a partir dos valores médios de granularidade (% de limo e areia fina, % de areia), % de matéria orgânica e permeabilidade de cada subgrupo de solos da Ilha de Santiago definido em Faria (1970). Os valores de K obtidos foram reclassificados em três classes em função da erodibilidade relativa de cada tipo de solos (quadro 1 e fig. 7).

Quadro 1 – Factor K (USLE-Wischmeier) de solos da Ilha de Santiago.

Sigla	Tipo de solos	K	Hierarquia
<b>SOLOS INCIPIENTES</b>			
E	Litossolos	<b>0,33</b>	1
Rg	Regossolos	<b>0,33</b>	1
A	Aluviossolos modernos	<b>0,35</b>	1
At	Aluviossolos antigos	<b>0,35</b>	1
<b>SOLOS POUCO EVOLUÍDOS</b>			
L	Litólicos	<b>0,30</b>	1
<b>SOLOS ISOHÚMICOS</b>			
Cn	Castanhos normais	<b>0,50</b>	3
Ca	Castanhos avermelhados	<b>0,50</b>	3
Cv	Castanhos vérticos	<b>0,42</b>	2
Pn	Pardos sub-áridos normais	<b>0,40</b>	2
Pa	Pardos sub-áridos avermelhados	<b>0,45</b>	2
Pv	Pardos sub-áridos vérticos	<b>0,55</b>	3
Pc	Pardos sub-áridos com crosta	<b>0,52</b>	3
V	Vertissolos	<b>0,42</b>	2
PF	Paraferalíticos	<b>0,45</b>	2

Para obter a contribuição dos factores da USLE comprimento das vertentes e erodibilidade de solos foi efectuado o somatório em *rank*, seguido de reclassificação em 3 classes de susceptibilidades à erosão hídrica (figs. 3 e 9).

#### 4 - Resultados e conclusões

Como principais resultados produziram-se mapas de susceptibilidade à erosão hídrica em função da morfologia, do comprimento das vertentes (LS), da erodibilidade relativa das unidades geológicas e dos grandes tipos de solos (K), de variáveis geomorfológicas e dos factores LS e K.

Em função da morfologia, mais concretamente com base nas variáveis morfométricas declive, perfil e traçado das vertentes, verificou-se que predominam as áreas de erodibilidade relativa baixa, com 55%, sendo a superfície restante referente às classes de susceptibilidade média e elevada, que ocupam respectivamente 24 e 21% da bacia (fig. 4). Os sectores menos susceptíveis à erosão hídrica encontram-se nos topos planálticos dominantes do sector oriental e ao longo dos vales principais, quer nos seus fundos, quer ainda para as bases das suas vertentes. As áreas de maior susceptibilidade encontram-se a meia vertente e nos troços imediatamente abaixo dos topos. Contrariamente aos resultados alcançados por estas variáveis morfométricas, de acordo com o factor LS (USLE) a nível de sub-bacias hidrográficas, verifica-se que predominam as áreas de susceptibilidade à erosão elevada, com 53%, sendo a restante superfície da bacia distribuída pelas classes de erodibilidade relativa média e baixa, que correspondem respectivamente a 27 e 20% (fig. 5). De acordo com as variáveis morfométricas, muitas das áreas do sector oriental da bacia, foram consideradas com erodibilidade baixa e parte dos sectores central e ocidental com elevada (figs. 4 e 5). Pelo contrário, em conformidade com o factor LS, as regiões de maior susceptibilidade à erosão são as orientais e as de baixa a média as centrais e ocidentais

Relativamente aos resultados obtidos com base na geologia (litologia e materiais de cobertura) metade da bacia é considerada de erodibilidade baixa, 14% média e 36% elevada (fig. 6). As áreas mais susceptíveis encontram-se no sector central meridional da bacia e ao longo do colector principal. As de erodibilidade baixa distribuem-se praticamente por todos os sectores da bacia e as de média sobretudo nas vertentes dos troços vestibulares dos principais vales do sector oriental. Contrariamente a estes resultados, de acordo com o factor K, equivalente da USLE, que depende das características granulométricas e da permeabilidade do solo, 72% da bacia tem uma susceptibilidade à erosão média, 21% baixa e apenas 0,7% elevada (fig. 7).

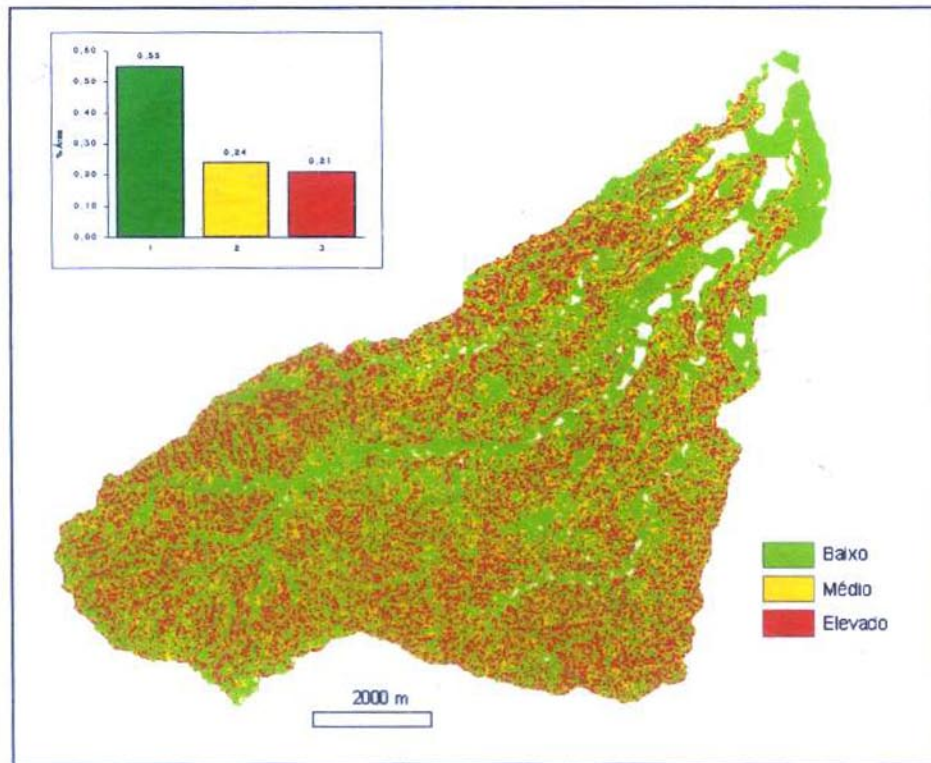


Fig. 4 – Susceptibilidade à erosão hídrica em função da morfologia (declive, perfil e traçado das vertentes) na bacia da Ribeira Seca.

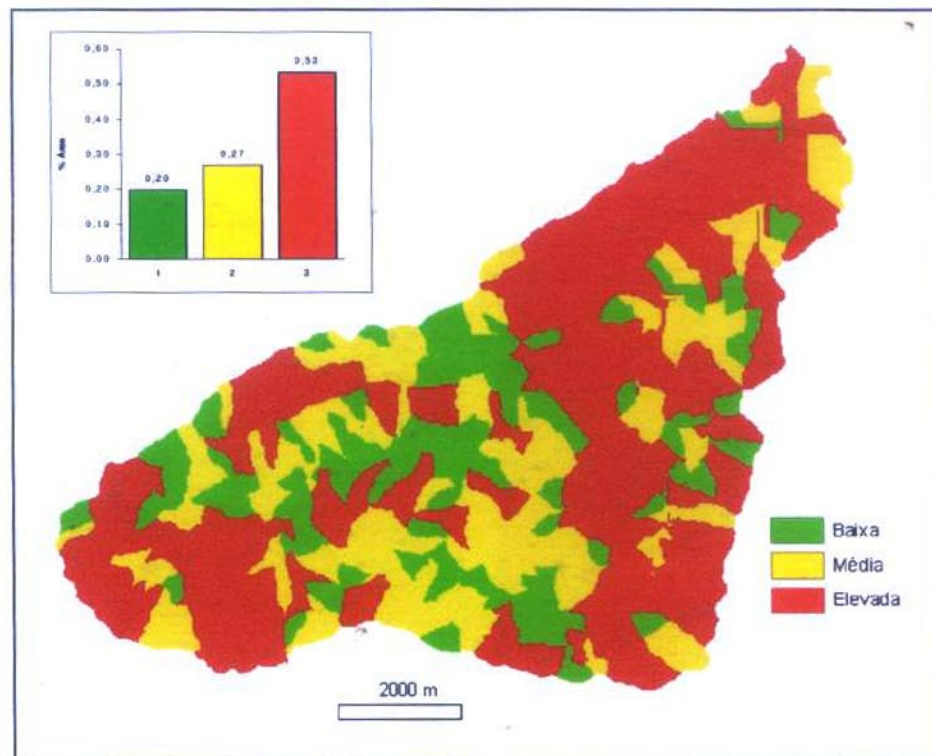


Fig. 5 – Susceptibilidade à erosão hídrica das bacias, em função do factor LS (USLE - Wischmeier) na bacia da Ribeira Seca.

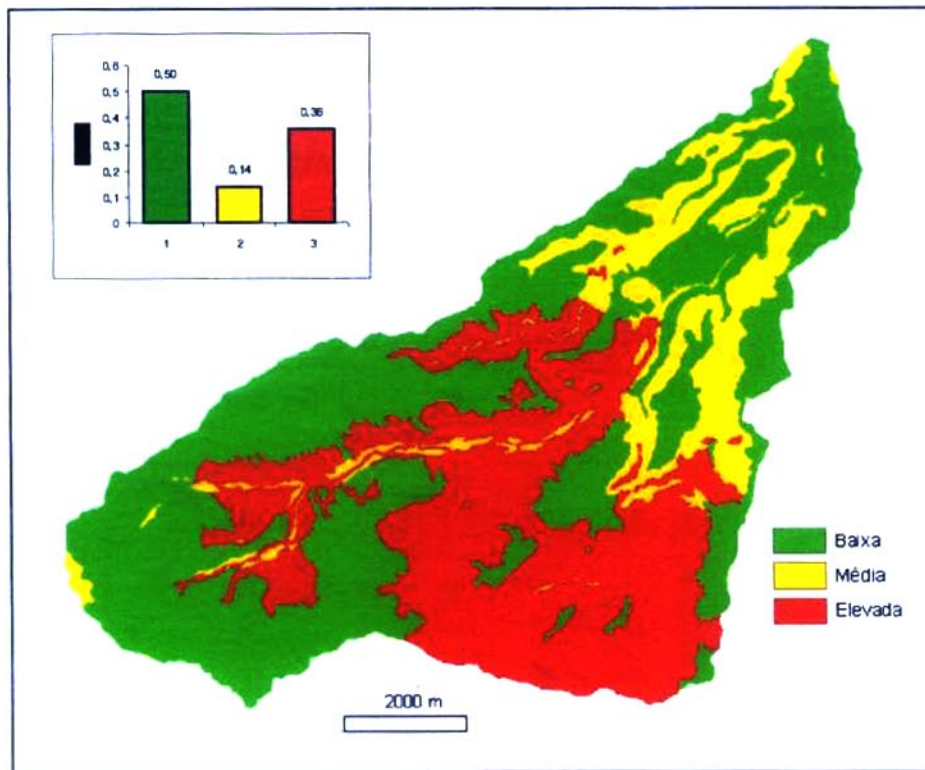


Fig. 6 – Susceptibilidade à erosão hídrica das unidades geológicas na bacia da Ribeira Seca (Costa e Nunes, 2006).

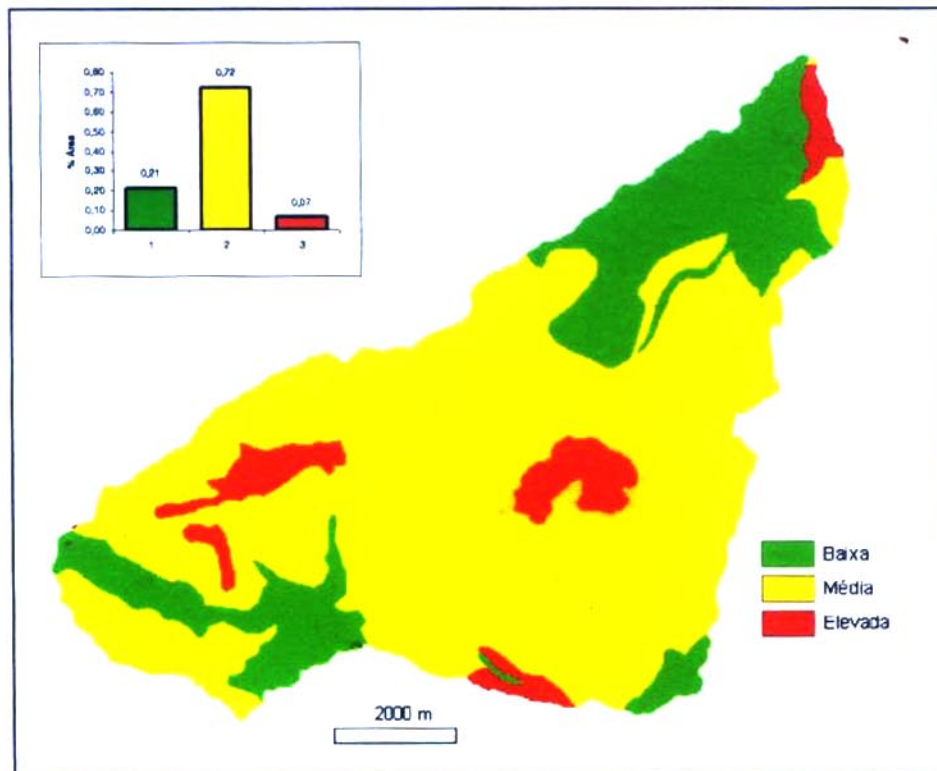


Fig. 7 – Susceptibilidade à erosão hídrica dos solos, em função do factor K (USLE - Wischmeier) na bacia da Ribeira Seca.

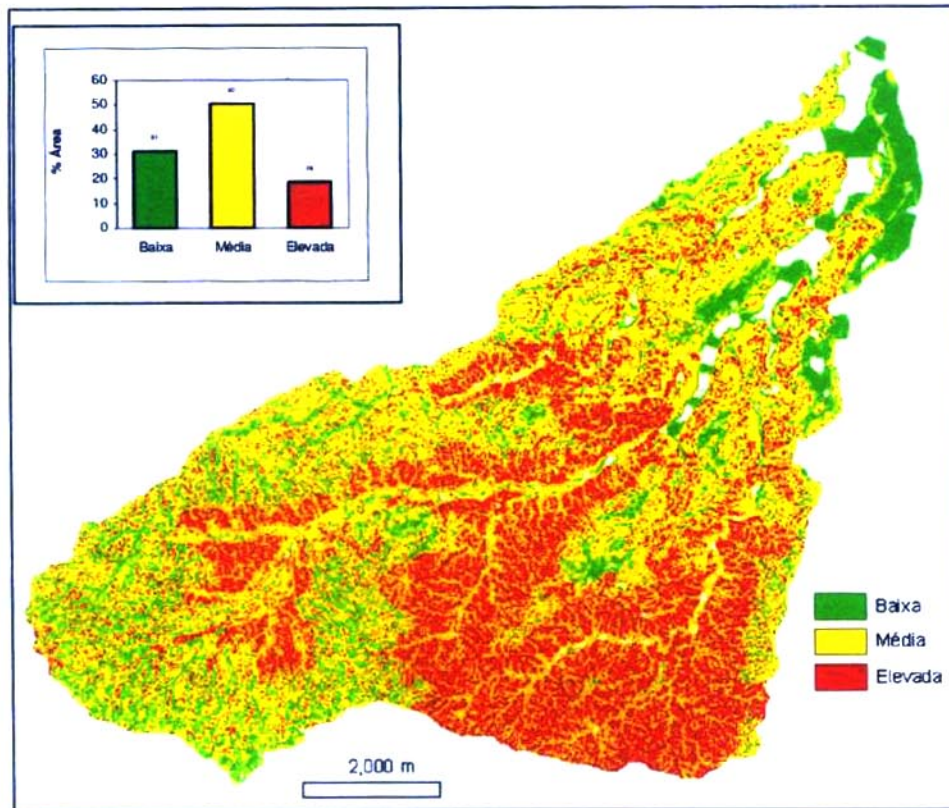


Fig. 8 – Susceptibilidade à erosão hídrica em função de variáveis geomorfológicas na bacia da Ribeira Seca (Costa e Nunes, 2006).

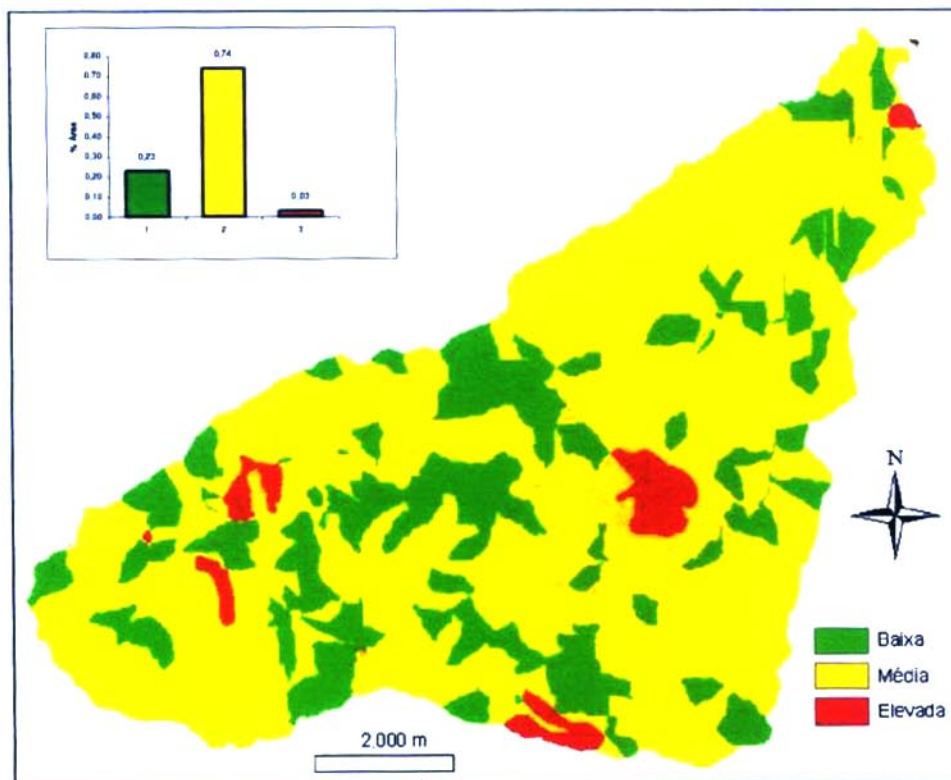


Fig. 9 – Susceptibilidade à erosão hídrica em função dos factores LS e K (USLE - Wischmeier) na bacia da Ribeira Seca.

O modelo de susceptibilidade à erosão hídrica em função de variáveis geomorfológicas de Costa e Nunes (2006) permitiu concluir que apenas 19 % da bacia têm uma susceptibilidade à erosão elevada, 31% baixa e 50% média (fig. 8). As regiões mais sensíveis são as do sector centro oriental, sobretudo devido à elevada erodibilidade das unidades geológicas locais. Na realidade são os tipos de rochas, nomeadamente as coberturas de cascalheiras, e a fraca representatividade dos sectores das vertentes com traçados côncavos, que facilitam a erosão, que atenuam a elevada erodibilidade que os declives e os perfis das vertentes indiciam.

Estes resultados foram comparados com os obtidos pelo somatório em *rank* dos mapas reclassificados dos factores LS e K (USLE) (fig. 9). À semelhança do modelo de susceptibilidade à erosão hídrica, em função de variáveis geomorfológicas, a maior parte da área da bacia tem uma susceptibilidade média, ocupando 74%, 23% baixa e apenas 0,3% elevada.

O mapa obtido através do modelo de susceptibilidade à erosão hídrica tendo por base variáveis geomorfológicas, nomeadamente morfométricas (declive, perfil e traçado das vertentes) e a geologia revela que é possível obter melhores resultados do que através da aplicação dos factores correspondentes da USLE, nomeadamente o comprimento das vertentes (factor LS) e erodibilidade dos solos (factor K). Na realidade o recurso a dados referentes às variáveis morfométricas, à escala local ou seja do *pixel*, permite um detalhe ao nível da vertente (figs. 2 e 8), superior ao obtido através dos factores da USLE, cuja informação de base é mais generalizada, ou seja à escala de sub-bacias e dos grandes tipos de solos (figs. 3 e 9).

Reconhece-se, no entanto, que os resultados obtidos pelo modelo de susceptibilidade à erosão hídrica em função de variáveis geomorfológicas (fig. 2) poderiam vir a melhorar com a inclusão de outros factores adicionais, nomeadamente algumas componentes de erosividade, como a exposição das vertentes aos fluxos pluviogénicos e a intensidade das precipitações, assim como a densidade de coberto vegetal e as medidas de conservação dos solos.

## 5 - Referências bibliográficas

Barry, O.; Smolikowski, B. e Roose, E. (1995) - Un projet de développement innovant au Cap Vert: le PRODAP. *Agriculture et Développement*, Montpellier, 5: 57-68.