

## **DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NA FACHADA ORIENTAL DA ILHA DE SANTIAGO (CABO VERDE)**

MARIA DO CARMO NUNES\*; FERNANDO LAGOS COSTA\*; ANTÓNIO JORGE DE SOUSA\*\*

\*Instituto de Investigação Científica Tropical, Lisboa, Portugal

\*\*CERENA, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal

[mcarmonunes15@gmail.com](mailto:mcarmonunes15@gmail.com)

### **Resumo**

Cabo Verde é um país de características semi-áridas sahelianas, em que os solos são muito pouco espessos e pobres em matéria orgânica, onde predominam as culturas de sequeiro. Assim, o conhecimento da distribuição espacial da precipitação, dos seus valores máximos e da sua concentração temporal é fundamental para a tomada de medidas de desenvolvimento rural, nomeadamente visando a conservação do solos e o aumento da produtividade agrícola.

Durante os três meses da estação húmida (Julho a Setembro), a precipitação ocorre num limitado número de dias, com episódios chuvosos intensos e concentrados. Nas ilhas mais montanhosas, devido à grande irregularidade topográfica, a distribuição e intensidade das chuvas têm uma grande variabilidade espacial.

A precipitação tem vindo a ser objecto da maioria dos estudos climáticos neste arquipélago, sendo a Ilha de Santiago o principal alvo desses trabalhos. No entanto, a avaliação da distribuição espacial da precipitação, à escala regional e local é parca, assim como a análise dos seus valores extremos e da intensidade pluviométrica. No presente estudo pretende-se divulgar os principais resultados obtidos na sequência de vários trabalhos levados a cabo pelos mesmos autores sobre a distribuição espacial e temporal da precipitação e a determinação dos seus valores extremos, na fachada oriental da Ilha de Santiago.

Neste estudo utilizou-se os valores medianos da precipitação de 77 postos udométricos, relativos a um período de 20 anos. A modelização da precipitação foi realizada por métodos geoestatísticos e a cartografia dos valores estimados foi produzida num Sistema de Informação Geográfica (SIG). Verificou-se que as precipitações mais baixas ocorrem nos setores próximos do litoral leste e as mais elevadas se observam nas regiões com maiores altitudes, a oeste e mais a sul e sudeste, expostas aos fluxos pluviogénicos de nordeste. Observa-se ainda que o maior número de dias com chuva e a intensidade pluviométrica mais acentuada não ocorrem nos locais mais pluviosos dos maciços montanhosos dominantes, mas nas suas vertentes orientais, bem como nos primeiros alinhamentos de relevo do setor mais a sul, directamente expostos àqueles fluxos pluviogénicos de nordeste.

**Palavras-chave:** Precipitação, valores extremos, geoestatística, SIG, Cabo Verde.

\*

### **1. Introdução**

Cabo Verde é um país insular da África ocidental, de clima semi-árido Saheliano, com uma estação húmida curta, de apenas 3 meses (Julho a Setembro), e com chuvas que ocorrem sobretudo em 10% dos dias dessa estação. Os totais anuais da precipitação, só muito localmente, em altitude, excedem os 600mm, caso da Serra da Malagueta na Ilha de Santiago. As precipitações têm uma grande variabilidade inter-anual com períodos húmidos e de boas colheitas agrícolas, como na década de 50, e outros de seca, como nas décadas de 70 e 80, em que se registou um total anual de precipitação de menos de metade do observado naquela década mais húmida (Correia e Temudo, 1999; Correia, 2000). A esta variabilidade associam-se outras condições climáticas que conferem a Cabo Verde uma grande fragilidade ambiental, como a elevada

variação espacial e a concentração temporal das precipitações, que se reflete em chuvadas frequentemente intensas de erosividade elevada.

A maioria dos estudos climáticos desenvolvidos sobre Cabo Verde incidem na análise da precipitação e tem como principal objecto a Ilha de Santiago (Correia, 1996). No entanto, são poucos os trabalhos sobre a distribuição da precipitação, assim como dos seus valores extremos e intensidade, à escala regional e local.

O conhecimento espacial das precipitações depende dos registos meteorológicos que, em Santiago, se iniciaram no século 19, na cidade da Praia. Na década de 40, do século passado, a Ilha contava apenas com 8 postos udométricos, a maioria dos quais nas áreas de maior altitude. A rede expandiu-se nos anos 60 e atingiu a maior cobertura nas décadas de 70 a 90, com cerca de uma centena de postos, com uma distribuição muito irregular, cobrindo predominantemente a sua fachada oriental.

Um dos primeiros mapas de distribuição da precipitação média, da Ilha de Santiago, foi elaborado manualmente por Cunha (1960), com base em dados dos anos 40 e 50 de 12 postos pluviométricos. A partir dos registos da densa rede de postos do período 1965-90, mas sobretudo dos 22 que dispõem de séries mais completas, Correia (1998) estabeleceu manualmente a distribuição da precipitação mediana em Santiago (fig. 1). Mais recentemente, efetuaram-se estudos mais detalhados com recurso a métodos geostatísticos e a ambiente de SIG, para a bacia da Ribeira Seca (Nunes *et al.*, 2008) e para a fachada oriental da Ilha (Nunes *et al.*, 2009, Costa e Nunes, 2009).

Nos estudos sobre a precipitação em Cabo Verde, pouco se tratou a concentração/dispersão ou a intensidade dos episódios chuvosos, bem como a ocorrência de valores extremos de precipitação. A avaliação da concentração temporal e a intensidade da precipitação limita-se frequentemente à análise do número de dias de precipitação.

Nos setores mais húmidos da Ilha de Santiago, há uma probabilidade estatística de cerca 90% de precipitações acima de 50 mm ocorrerem durante os meses de Agosto e Setembro e de 50% em Outubro (Silva, 1981), com base em registos do período 1938 a 1979 de alguns postos udométricos da Ilha.

Dittrich (1982) estabeleceu funções de distribuição de probabilidades da precipitação, para seis estações meteorológicas de Santiago, relativas ao período de 1949 a 1970, de acordo com as quais é possível verificar que episódios chuvosos de 50mm, têm um período retorno inferior a um ano, nos locais mais pluviosos da Ilha.

Nas ilhas montanhosas de Cabo Verde são frequentes as chuvas de grande intensidade e em alguns dias do ano podem registar-se mais de 50mm de precipitação, como acontece em 7% dos dias de chuva em S. Jorge dos Órgãos (Ferreira, 1986 e 1996). No setor mais chuvoso de Santiago (Serra da Malagueta) a duração

modal de períodos pluviosos é de 3 dias sucessivos, e em Setembro e Outubro acumulam-se frequentemente nesse período valores de 100mm (Ferreira, 1987).

Em Santiago 20 % do total da precipitação anual ocorre nos dias mais chuvosos e em cerca de 20% dos dias do ano a precipitação atinge valores entre 15 e 30mm (Marzol *et al.*, 2006).

Nas regiões mais secas de Santiago precipitações máximas diárias superiores a 50mm e nos setores mais pluviosos acima dos 100mm têm uma probabilidade de ocorrência de 50% para um período de retorno de dois anos, de acordo com os resultados obtidos aplicando a lei de Gumbel a dados de cinco estações meteorológicas de Santiago, do período de 1941-1990 (Costa, 2002).

Nas regiões mais áridas de Cabo Verde, com precipitações médias anuais, que variam entre os 250 e 300mm, o índice de erosividade de Wischemeier atinge valores de 200 ton./ha/ano, devido às chuvadas muito intensas e de curta duração (Mannaerts, 1986). As estruturas de conservação dos solos sofrem roturas frequentes, apesar das precipitações anuais serem pouco elevadas. Em Godim, na vertente oriental do Maciço do Pico da Antónia, durante o ano de 1995, ocorreu apenas um total de 375mm, no entanto em quatro dias a precipitação diária excedeu os 40mm e em dois deles registaram-se intensidades (I30) de 40 mm/h, consideradas muito elevadas para uma região saheliana (Querido, 1995). No mesmo local, na década de 90, registaram-se episódios chuvosos que atingiram mais de 80mm/h (Smolikowski *et al.*, 2001). Em S. Jorge dos Órgãos, também na vertente oriental do Maciço do Pico da Antónia, um episódio chuvoso de 52mm tem um período de retorno de 1,58 anos (Mannaerts e Gabriels, 2000).

A maioria dos estudos sobre a ocorrência de valores extremos de precipitação tem sido baseado apenas em alguns registos locais e incidiu pouco no conhecimento da sua distribuição espacial e temporal na Ilha de Santiago.

Uma primeira abordagem da distribuição da intensidade pluviométrica foi efetuada para a bacia da Ribeira Seca, no setor sul da fachada oriental de Santiago, com base em valores medianos de 40 postos udométricos do período 1977-1997 (Costa e Nunes, 2008). Deste trabalho conclui-se que as maiores concentrações diárias das precipitações não ocorrem nos locais mais pluviosos de maiores altitudes, mas no setor sudeste acima dos 300m de altitude, onde se encontram os primeiros relevos com efeito de barreira aos fluxos pluviogénicos de nordeste.

De acordo com os resultados obtidos em estudos posteriores, realizados pelos mesmos autores (Nunes *et al.*, 2009; Costa e Nunes, 2009), sobre toda a fachada oriental de Santiago, concluiu-se que se registaram 30mm de precipitação em mais de 65% dos dias de chuva e 50mm em mais de 40% desses dias. Verifica-se ainda que, só em 85.8% dos anos se atingiram 30mm diários e apenas em 69,7% se registam 50mm ou mais. Na fachada oriental, os totais da precipitação média anual têm uma correlação elevada com o número de

dias de precipitação acima de 30mm ( $r=0.85$ ) e de 50 mm ( $r=0,88$ ), o que revela a tendência para a concentração e a elevada intensidade das precipitações. Os locais onde a intensidade pluviométrica é mais acentuada, ou seja superior a 30mm/dia, são, na generalidade, aqueles onde se regista um menor número de dias de precipitação. Estes localizam-se nos extremos norte e sul da fachada oriental, nas vertentes orientais dos relevos mais elevados do centro da Ilha e nos primeiros alinhamentos de relevos mais expostos aos fluxos pluviogénicos de nordeste.

Num outro estudo mais recente (Nunes *et al.*, 2009), igualmente para toda a fachada oriental de Santiago, refere-se que a precipitação mediana anual foi de 256.5mm, inferior à média (270.7mm), sendo o 3º quartil de 320.0mm. Verifica-se ainda um aumento acentuado da precipitação e dos seus valores extremos com a altitude, sendo o gradiente mais elevado nas vertentes orientais dos relevos culminantes do centro da Ilha.

## 2. Área de estudo

A Ilha de Santiago tem uma fachada oriental com cerca de 638 km<sup>2</sup>, a mais longa do arquipélago, exposta aos ventos húmidos e pluviogénicos de nordeste. É limitada a oeste pelas formas de relevo dominantes centrais da Ilha, que compreendem dois maciços montanhosos, respectivamente a Serra da Malagueta (1064 m), a norte, e o Maciço do Pico da Antónia (1392m), a sul, separados pelo Planalto de Sta. Catarina (450 m), que constituem os locais mais pluviosos da Ilha (fig.1).

As duas fachadas, que se desenvolvem a partir do alinhamento dos relevos dominantes do setor central da Ilha, são bem contrastadas entre si, sendo a oriental mais larga que a ocidental e com vales encaixados e amplos, directamente abertos a leste, a massas de ar instáveis desse quadrante.

A extensa fachada oriental compreende os setores mais pluviosos da Ilha, onde na Serra da Malagueta se registou a precipitação mediana anual mais elevada da Ilha, de 673mm (1965-1990), no Maciço do Pico da Antónia de 430mm, e no Planalto de Sta. Catarina de cerca de 400mm (Correia, 1998) (fig. 1).

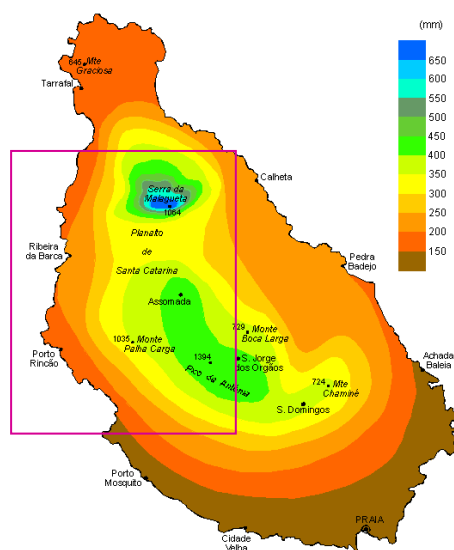


Fig. 1 – Precipitação mediana anual, Santiago (1965-1990) (Adap. Correia, 1998).

### 3. Dados e metodologia

O presente estudo foi efetuado com base nos valores totais da precipitação anual e mensal, relativos a um período de 20 anos (1977-1997), de 77 postos udométricos, distribuídos pela fachada oriental da Ilha de Santiago e regiões circundantes (fig. 2).

A modelização da precipitação foi realizada por métodos geoestatísticos, de krigagem simples e de co-krigagem (Isaaks and Srivastava, 1989), recorrendo à variável auxiliar, altitude, obtida do modelo digital de terreno (MDT), correlacionada com a precipitação ( $r=0,65$ ). A intensidade pluviométrica, que representa a relação entre a precipitação total anual e o número de dias com chuva por ano, bem como o número de dias de precipitação, como não apresentavam correlação significativa com a altitude, foram estimados por krigagem simples (Isaaks and Srivastava, 1989).

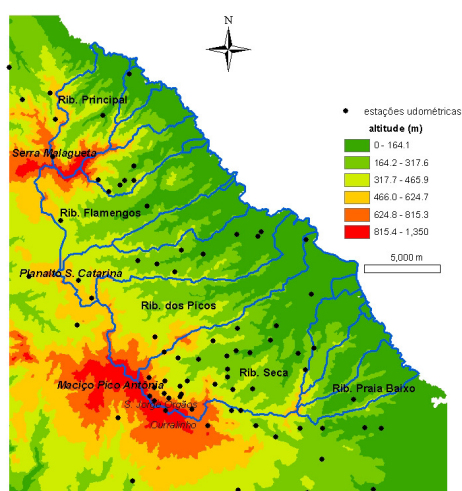
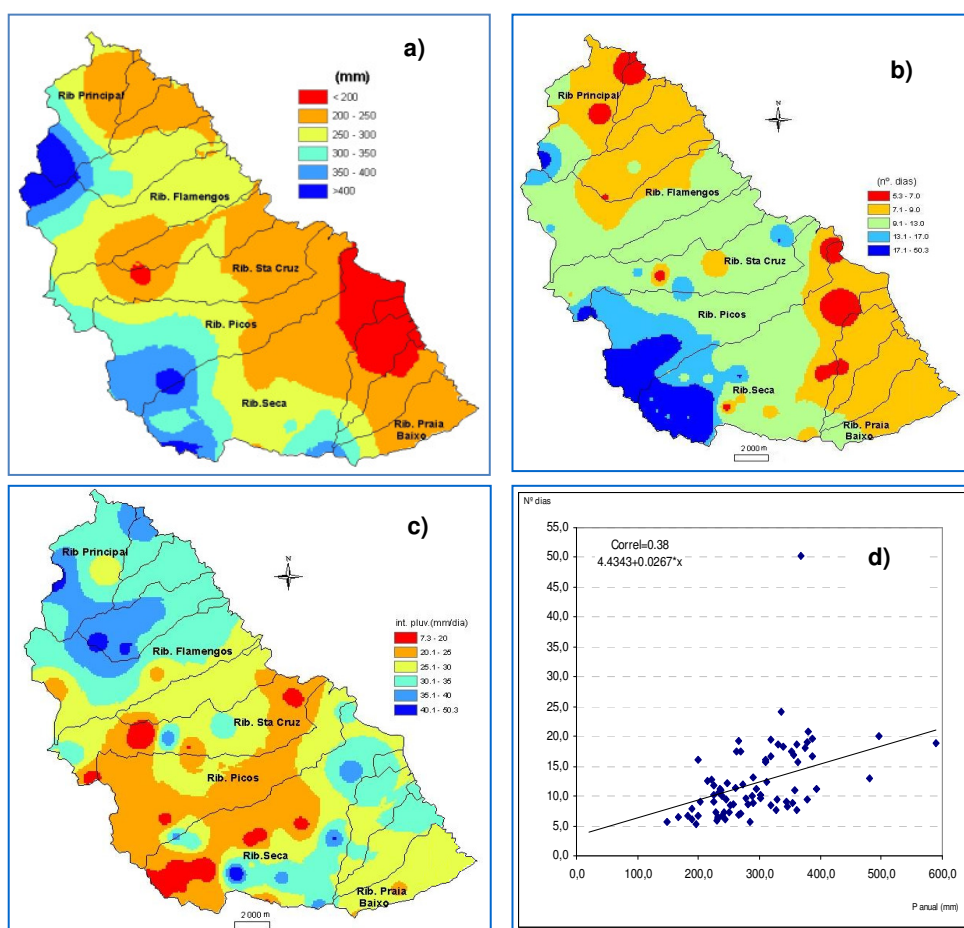


Fig. 2 - Localização dos postos udométricos e hipsometria (Nunes *et al.*, 2009).

A estimação das áreas onde a precipitação mediana pode atingir valores extremos, acima de determinados limiares, foi efetuada por krigagem morfológica (Isaaks and Srivastava, 1989), sobre a variável indicatriz, o que permitiu produzir mapas de probabilidades desses valores extremos e determinar as zonas de incerteza em torno das manchas obtidas de cada limiarização. A cartografia dos valores estimados foi produzida com a integração dos resultados num SIG.

#### 4. Resultados e discussão

A cartografia dos valores estimados mostra que as precipitações acima de 300mm ocorrem nos setores a oeste, nas cabeceiras das bacias, e na região mais a sul e sudoeste, enquanto as mais baixas se encontram nas regiões próximas do litoral leste (fig. 3a).



**Fig. 3** – Precipitação anual (1977-97) (Costa e Nunes, 2009): a) precipitação total média; b) número de dias de precipitação; c) intensidade pluviométrica; d) correlação entre a precipitação total e o número de dias de precipitação.

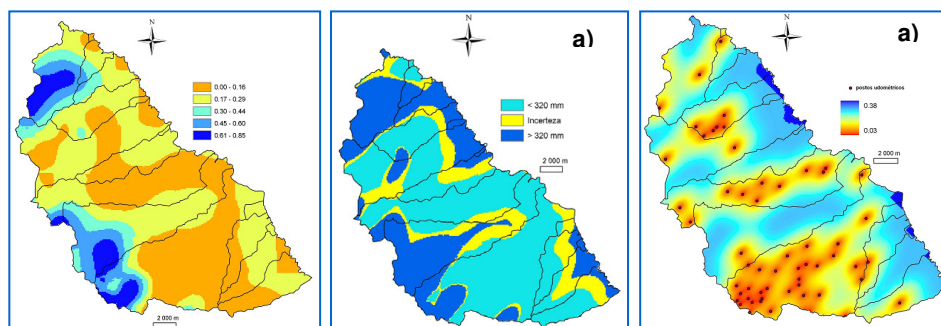
Os valores mais elevados, acima dos 400mm, relacionam-se com os maciços montanhosos e com suas vertentes orientais mais expostas a nordeste (fig. 3a).

A precipitação aumenta gradualmente do litoral leste para o interior, desde valores inferiores aos 200mm até aos 300mm, nos setores inferiores e médios das bacias, numa maior extensão mais a sul, do que a norte (fig. 3a). Na passagem para o setor das cabeceiras regista-se um acréscimo acentuado do gradiente da precipitação que atinge os 350mm em cerca de 1km, com valores máximos superiores a 400mm. Constata-se, assim, que a variação da precipitação é mais suave para o litoral e mais acentuada nos setores de maior altitude.

O maior número de dias com chuva, mais de 12 por ano (fig. 3b), bem como os valores mais elevados de intensidade pluviométrica, superiores a 30mm/dia (fig. 3c), não ocorrem sempre nos locais mais pluviosos. Como indicador desta situação, a precipitação total tem uma correlação baixa com o número de dias de precipitação (0.38) (fig. 3d). Na realidade, os locais com maior número de dias de precipitação encontram-se nas vertentes orientais dos maciços montanhosos mais elevados, onde se localizam as cabeceiras das principais bacias (fig. 3b). As maiores intensidades pluviométricas ocorrem no setor norte e noroeste da fachada oriental, particularmente relacionada com a Serra da Malagueta e a sua vertente oriental, bem como os primeiros alinhamentos de relevo do setor mais a sul, mais diretamente expostos aos fluxos pluviogénicos de nordeste (fig. 3c).

Da estimação da variável indicatriz (corte=320mm), verifica-se que os valores mais elevados ocorrem nos maciços montanhosos centrais e nas suas vertentes orientais (fig.4b), conforme se pode constatar pelas formas dos corpos alongados para nordeste, segundo a direcção de maior continuidade espacial. No litoral, mais a norte e mais a sul, observam-se áreas com valores de precipitação anual superiores a 320mm (fig. 4b), o que se deve à falta de registos pluviométricos naqueles setores da Ilha, resultando num maior erro de estimação, como indicam os valores elevados da variância de estimação dessas regiões (fig. 4c e fig.2).

Os valores mais elevados da variância de estimação local encontram-se nas áreas onde escasseiam os postos udométricos, limitando a qualidade da estimação no litoral e no interior de algumas bacias hidrográficas (fig. 4c).



**Fig. 4.** Precipitação mediana anual (Nunes et al., 2009): a) valores estimados da indicatriz (corte 320.0mm); b) mapa binário da forma do corpo com as zonas de incerteza (10%); c) distribuição da variância de estimação local.

## 5. Considerações finais

Os totais anuais de precipitação e os valores extremos mais elevados registam-se nos setores de maior altitude, do norte da Serra da Malagueta, no entanto, as áreas mais extensas de número de dias de precipitação ocorrem a sul no Maciço do Pico da Antónia. Estes factos revelam uma maior intensidade das precipitações nas áreas de maiores altitudes mais a norte. As intensidades pluviométricas mais acentuadas ocorrem nas vertentes orientais dos maciços montanhosos dominantes, bem como nos primeiros alinhamentos de relevo do setor mais a sul, mais imediatamente expostos àqueles fluxos pluviogénicos de nordeste.

## Referências bibliográficas

- CORREIA, E. 1996. "Contribuições para o conhecimento do clima de Cabo Verde", *Garcia de Orta. Série de Geografia*, 15 (2), 81-107.
- 1998. *Condições pluviométricas para a cultura do milho na Ilha de Santiago (Cabo Verde)*. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical, 116 p.
- E. 2000. "A propósito da ideia de 'anos bons' após as erupções na Ilha do Fogo". *Garcia de Orta. Série de Geografia*, 17 (1-2): 47-60.
- CORREIA, E. e TEMUDO, M. 1999. "Local knowledge and science – approaches to reduce the climatic risks for rainfed agriculture". *Actas Convencion Tropico'99. Geografia, Meteorologia y Agricultura Tropical*. Havana, 20 p.
- COSTA, F.L. 2002. *Evolução geomorfológica quaternária e dinâmica actual na bacia da Ribeira Seca (Santiago oriental - Cabo Verde)*. Lisboa, Dissertação equivalente a Doutoramento apresentada ao Instituto de Investigação Científica Tropical para prestação de provas de acesso à categoria de Investigador Auxiliar, 270 p.
- COSTA, F.L., e NUNES, M.C. 2008. "A precipitação como factor de erosão hídrica na bacia da Ribeira Seca, Santiago, Cabo Verde". *Workshop Internacional sobre Clima e Recursos Naturais nos Países de Língua Portuguesa. Parcerias na Área do Clima e Ambiente*, 16p.
- 2009. "Contribuições para o conhecimento da erosividade das precipitações na fachada oriental da Ilha de Santiago (Cabo Verde)". Lisboa, *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, 6: 115-120.
- CUNHA, F.R. 1960. "A variabilidade da precipitação na Ilha de Santiago (Cabo Verde)". *Garcia da Orta*, 8 (4): 887-899.
- DITTRICH, I., 1982. *Une délimitation des composants du bilan hydrique pour Santiago. Un modèle sémi-déterministique*. Praia, G.E.P. Ministério do Desenvolvimento Rural, 25 p..
- FERREIRA, D., 1986. *Étude de la secheresse dans l'île de Santiago (Cap Vert)*. Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, Relatório da Linha de Acção de Geografia Física, 23, 112 p..
- FERREIRA, D.B. 1987. "La crise climatique actuelle dans l'archipel du Cap Vert. Quelques aspects du problème dans l'île de Santiago". Lisboa, *Finisterra. Revista Portuguesa de Geografia*, 22 (43): 113-152.



- 1996. "Water erosion in the Cape Verde Islands: factors, characteristics and methods of control". In: Slaymaker, O. *Geomorphic hazards*. Chichester, John Wiley & Sons: 111-124
- ISAAKS, E.H., e SRIVASTAVA, R.M., 1989. *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press. New York.
- MANNAERTS, C., 1986. *Contribution à l'évaluation de l'érosion des sols au Cap Vert. Influence des plantations forestières*. Praia, FAO, 43 p..
- MANNAERTS, C.e GABRIELS, D. 2000. "Rainfall erosivity in Cape Verde". *Soil and Tillage Research*, 55: 207-212
- MARZOL, M. V.; YANES, A.; ROMERO, C.; AZEVEDO, E.B.; PRADA, S. e MARTINS, A. 2006. "Los riesgos de las lluvias torrenciales en las islas de la Macaronesia (Azores, Madeira, Canarias y Cabo Verde)". *Publicaciones de la Asociación Española de Climatología*, 5: 443-452.
- NUNES, M.C.; COSTA, F.L. e SOUSA A.J. 2008. "Interpolação espacial da precipitação na bacia da Ribeira Seca por procedimentos geoestatísticos". *Workshop Internacional sobre Clima e Recursos Naturais nos Países de Língua Portuguesa. Parcerias na Área do Clima e Ambiente*, 11p..
- 2009. "Modelação espacial da precipitação e estimação dos seus valores extremos com base em geoestatística da fachada oriental da Ilha de Santiago". Praia, 2º Congresso Lusófono de Ciência Regional, 12 p..
- QUERIDO, A. et al., 1995. *Un exemple de recherche-action. Étude de l'impact de techniques agronomiques et d'aménagement sur le ruissellement et l'érosion dans une zone semi-aride de Santiago (Cap Vert): conséquences sur la teneur en eau des sols*. PRODAP/INIDA, 10 p..
- SILVA, R. 1981. *Analyse des précipitations mensuelles pour six stations pluviométriques de l'île de Santiago*. Ministério do Desenvolvimento Rural, Programa Agrhymet, Praia, N. T. 1, 21 p..
- SMOLIKOWSKI, B.; PUIG, H. e ROOSE, E. 2001. "Influence of soil protection techniques on runoff, erosion and plant production on semi-arid hillsides of Cabo Verde". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 87: 67-80.