

# **Caracterização Biofísica da Ilha de Santo Antão em Cabo Verde Através de Sistemas de Informação Geográfica e Detecção Remota**

**Rosa Rocha e José T. M. Aranha 1**

**fortesrosa@yahoo.com.br; j.aranha.utad@gmail.com**

**1 – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro**

## **RESUMO:**

A caracterização biofísica dum território é extremamente complexa, devido ao elevado número de variáveis a integrar. Esta complexidade aumenta, quando o território em causa é uma ilha sob influência de ventos oceânicos (Atlântico) e de ventos continentais com origem num deserto (Saara). Face à multiplicidade de variáveis espaciais em estudo, passíveis de influenciar as características biofísicas na ilha de Santo Antão e com base em resultados anteriores que mostraram efeitos mútuos antagónicos ou sinérgicos entre variáveis, recorreu-se à utilização conjunta de tecnologias de: Sistemas de Informação Geográfica, Detecção Remota, e Análise Estatística Multivariada, como forma de modelar e de interpretar as diferentes zonas biofísicas da ilha de Santo Antão. As 29 variáveis em uso foram normalizadas e submetidas a um processo de Análise em Componentes Principais (ACP). Concluiu-se que, as 4 primeiras Componentes Principais (CP) resultantes explicavam 84 % da variância original, com especial relevância da variáveis: índice de vegetação, precipitação, altitude, temperatura, densidade hidrográfica, recursos hídricos, distância à rede hidrográfica e declives.

Numa segunda fase, através de processos de Geoestatística, recorreu-se ao método de Co-Kriging para fazer a interpolação espacial, das variáveis seleccionadas através da ACP. O mapa resultante foi, posteriormente, submetido a uma Análise em Clusters, validada pelo teste “t de student”, com o objectivo de produzir um mapa de caracterização biofísica da ilha, baseado num modelo reproduzível.

**Palavras-chave:** Caracterização biofísica, SIG, Análise Estatística Multivariada, Cabo Verde, Santo Antão.

## INTRODUÇÃO

O Arquipélago de Cabo Verde situa-se a oeste do Continente Africano (14° 35' 45'' N ; 25° 40' 40' W e 17° 32' 30'' N; 22° 15' 50' W), entre o Equador e o Trópico de Câncer, caracterizando-se por apresentar um clima árido, semi-árido e, em algumas situações, em transição para o clima desértico característico do Noroeste do Continente Africano, (Monteiro, 1956).

A ilha mais ocidental e setentrional do Arquipélago, é a ilha de Santo Antão, que se apresenta uma elevada diversidade morfológica e climática, bem como uma elevada vulnerabilidade ambiental.

Por razões várias, existem poucos estudos científicos sobre essa realidade, o que realça a necessidade de se criar um Sistema de Informação Geográfica que permita uma análise integrada dos fenómenos relacionados com o ambiente e com as características ecológicas da ilha.

A evolução tecnológica ocorrida nas duas últimas décadas a nível mundial, deu origem a alterações profundas em todas as áreas de actividade económica e social. A informação adquiriu, neste contexto, uma relevância crescente sendo que o sucesso de muitas organizações depende da qualidade e da quantidade de informação de que dispõe, bem como da forma como essa informação é tratada. A cartografia digital e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), proporcionam uma crescente capacidade de manipulação de informação espacial, a rápida actualização de dados e a realização de análises tanto individuais como multivariável. Este “alargamento de competências” leva a que os SIG sejam, na actualidade, utilizados nas mais diversas áreas da actividade humana em quase todo o mundo.

Das potencialidades dos SIG, e de realçar o facto de permitirem relacionar e integrar informação proveniente de diferentes fontes, gerar nova informação e representar os resultados sob a forma de mapas, de acordo com as necessidades e preferências do utilizador. Por outro lado, a sistematização de processos, possibilita análises mais flexíveis, permitindo que se façam variar temas e critérios estabelecidos assim como, integrar nova informação, de modo a melhorar modelos anteriormente construídos ou a criar novos modelos.

Contudo, planear ou gerir um espaço natural, exige uma primeira etapa fundamental, que consiste na caracterização e quantificação dos fenómenos espaciais em análise. Nesse

sentido, desenvolveu-se uma base de dados geográfica relativa à ilha de Santo Antão e, que serve de suporte ao presente estudo. Pretende-se, assim, desenvolver um modelo de caracterização biofísica do território, actualizável e reprodutível em outras ilhas do Arquipélago de Cabo Verde.

A base original, deste trabalho, foi a *Carta de Zonagem Agro-Ecológica e da Vegetação*, produzida por Castanheira e Cardoso de Matos (1999), em formato analógico à Escala de 1/50.000. Dado não existir informação relativa à metodologia seguida na sua criação, tentou-se criar um sistemas de cálculo que permitisse reproduzir as zonas agro-ecológicas da região.

O elevado número de variáveis em estudo e as interacções passíveis de influenciar as características biofísicas do território, obrigaram à pré-definição de modelos de integração de dados, à normalização de valores e à identificação dos factores biofísicos mais relevantes.

O tratamento de grande volume de dados obriga a que se recorra a processo de análise Estatística Multivariada. Destes, destacam-se as técnicas de “Análise em Componentes Principais” que permitem transformar um conjunto de variáveis correlacionadas entre si, num outro conjunto de variáveis não correlacionadas (ortogonais), as chamadas componentes principais (CP), resultantes de combinações lineares do conjunto inicial, e a Análise em Clusters, procedimento que permite detectar grupos homogéneos de indivíduos, caracterizados pelas mesmas variáveis (Sokal e Sneath, 1963, Morrison, 1991, Reis, 1996).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O levantamento exaustivo de informação relativa à ilha de Santo Antão, permitiu reunir um conjunto de dados em formato digital (ex. altimetria, imagens de satélite, pontos de água, etc.) e um vasto conjunto de informação em formato analógico (ex. carta de solos, carta geológica, etc.).

A primeira fase do processo consistiu, assim, na criação dum projecto SIG devidamente georreferenciado (WGS 84 UTM 26N) e na integração de toda a informação digital, tendo-se utilizado o Software ArcGis 9.2 da ESRI.

Com base nos ficheiros relativos à altimetria, e recorrendo a rotinas de trabalho que integram o Software ArcGis 9.2, criou-se o modelo digital do terreno e seus derivados,

como sejam: a carta de declives, a carta de exposições e a carta de curvatura. Posteriormente, com base nestas figuras, criou-se a carta de densidade hidrográfica e de drenagem, bem como a carta das principais bacias hidrográficas.

A segunda fase do processo consistiu na digitalização de toda a informação analógica. Assim, todos os mapas e todas as cartas, foram passados por um *scanner* de rolo, de modo a criar imagens digitais. Posteriormente, e recorrendo a rotinas de trabalho que integram o Software ArcGis 9.2, procedeu-se à georreferenciação e à vectorização de toda a informação.

A terceira fase consistiu na criação de nova informação, como se descreve a seguir:

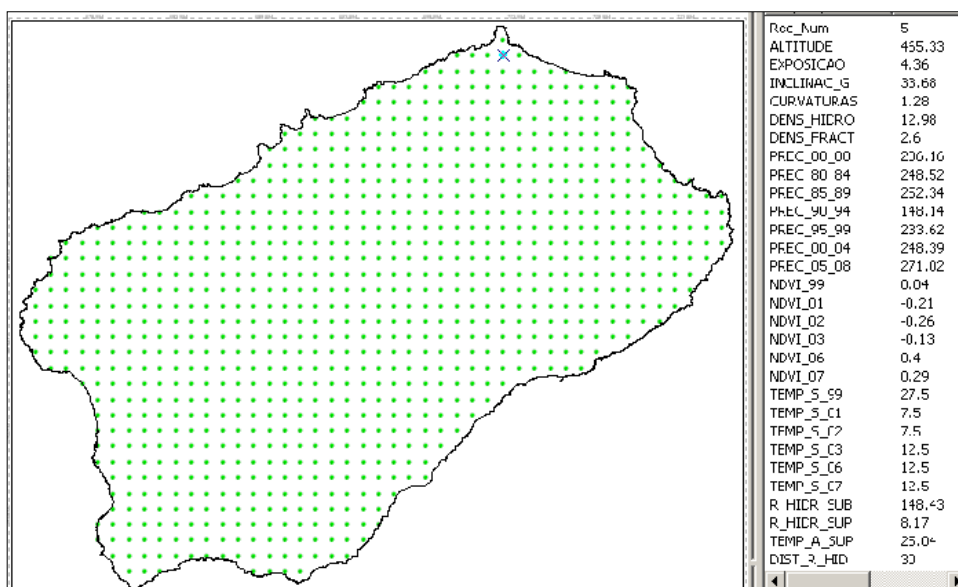
- Densidade de fracturação, obtida por interpolação linear das fracturas extraídas da carta geológica, a ser usada como medida que reflecte a estrutura do substrato litológico subjacente;
- Cartas de precipitação média por quinquénio e a média global entre 1980 e 2008, obtidas por sistematização dos dados de precipitação diária registados nos diferentes postos pluviométricos da ilha e, subsequente interpolação recorrendo a técnicas de geoestatística;
- Cartas de temperatura do solo extraídas de seis imagens de satélite (Landsat TM e ETM+) registadas em diferentes épocas do ano, entre 1999 e 2007;
- Carta de temperatura das águas superficiais, resultante da interpolação de dados do inventário de recursos hídricos e, com recurso à metodologia aplicada para obtenção das cartas de precipitação;
- Recursos hídricos superficiais e subterrâneos, obtidos por interpolação dos caudais com recurso técnicas de geoestatística;
- Vegetação (seis cartas de índice de vegetação normalizado - NDVI), obtidas a partir das citadas imagens de satélite.

Tendo como objectivo a produção de um modelo de associação de variáveis reprodutível para outras ilhas e, como tal, com a mínima interferência possível por parte do analista, decidiu-se aplicar uma base de amostragem sistemática em formato ponto, com espaçamento de 1000 metros, totalizando 921 pontos sobre a área de estudo.

Recorrendo a ferramentas disponíveis em ambiente ArcGis 9.2, foram interceptados os pontos de amostragem com as 29 cartas individualmente, sendo adicionados à tabela de atributos do vector pontos de amostragem os 29 campos correspondentes às variáveis, com 921 amostras, distribuídas de forma homogénea pela superfície da ilha. A imagem

apresentada na Figura 1 mostra a rede de amostragem, e um exemplo de um ponto (ponto 5), com os valores correspondentes a cada campo ou variável.

Posteriormente, procedeu-se à exportação da tabela de atributos do vector de amostras, de modo a poder utilizá-la num software de estatística e proceder à Análise em Componentes Principais.



**Figura 1 – Rede de amostragem sistemática e dados correspondentes ao ponto de amostragem nº 5**

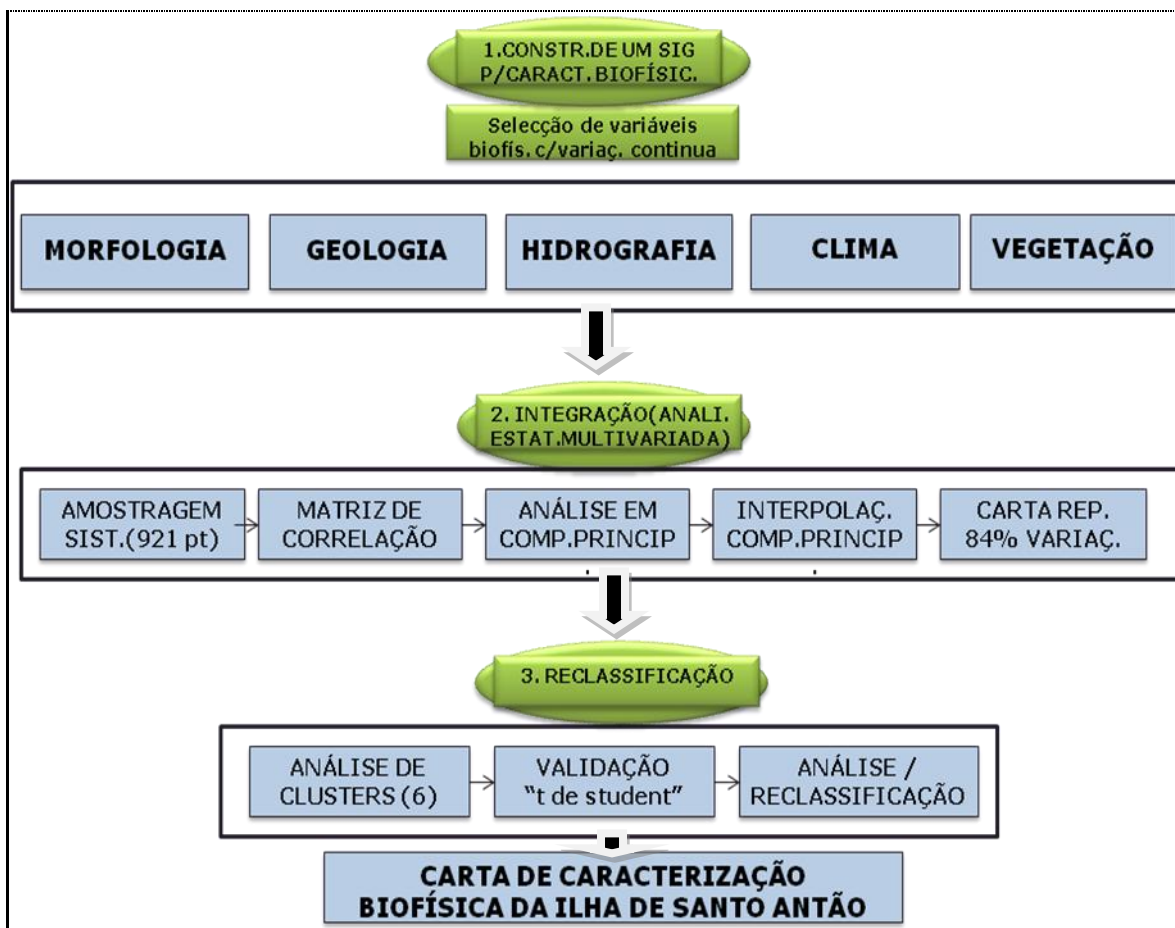
A Análise em Componentes Principais foi efectuada com recurso ao software estatístico “JMP 4”, o qual permitiu transformar os dados correspondentes às 29 variáveis originais, exportadas do ambiente ArcGis, em formato tabela, em 29 Componentes Principais não correlacionadas entre si, com nível de importância decrescente, concentrando a máxima informação possível nas 3 primeiras Componentes Principais. Recorrendo à análise da matriz de correlação variável original/componente principal, foram identificadas e retidas as variáveis com maior nível de correlação com os 3 primeiros eixos, e usadas para criar novos mapas.

Numa fase seguinte, recorrendo a métodos de interpolação espacial, procedeu-se à interpolação dos dados correspondentes à primeira componente principal e a 3 variáveis associadas à segunda e à terceira componente principal. Os métodos de interpolação

espacial permitiram transformar o conjunto de valores pontuais, assumidos como pontos de amostra de grandezas de variação contínua, numa superfície de valores da grandeza em análise. A co-krigagem foi o procedimento geoestatístico seguido, uma vez que permite a utilização conjunta de diversas variáveis regionalizadas, com base na correlação espacial entre si. Foram criadas duas sub-amostras, uma para aplicação do método e uma para validação cruzada. O modelo foi ajustado num processo interactivo baseado na inferência espacial e análise do variograma. A validação baseou-se na análise dos valores correspondentes aos parâmetros de avaliação considerados relevantes como sejam, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que se deve aproximar da unidade e, o erro médio standartizado, deve tender para zero (Soares, 2006).

O mapa resultante apresentou valores contínuos que variaram entre um valor mínimo e um valor máximo. Uma vez que se pretendia criar uma carta que permitisse fazer a classificação biofísica da ilha de Santo Antão, houve necessidade de se recorrer a uma outra ferramenta de Análise Estatística Multivariada. A Análise de Clusters integra os métodos de análise estatística multivariada e permite organizar um conjunto de dados, em grupos relativamente homogéneos ou clusters, não sendo necessário definir critérios de classificação dos dados, para além do número de unidades pretendido (Sokal e Sneath, 1963, Morrison, 1990, Reis, 2001). Recorrendo a caracterização biofísica das ilhas do Arquipélago com base empírica, descrita por alguns autores, nomeadamente Sabino (sem data), bem como, o número de unidades da paisagem definido na citada “Carta Agroecológica e da Vegetação da ilha de Santo Antão”, foram consideradas duas abordagens, uma baseada em Seis Clusters e uma baseada em Oito Clusters. Sequencialmente, os agrupamentos resultantes dos Seis e dos Oito “clusters” foram submetidos ao teste “t de student” para validação, sendo ambos altamente significativos.

Na Figura 2 apresenta-se um organograma relativo ao material e à metodologia seguida.



**Figura 2 – Esquema metodológico adoptado no presente estudo**

## APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A criação do Sistema de Informação Geográfica para a Ilha de Santo Antão, permitiu integrar uma série de variáveis caracterizadores das condições morfológicas, climáticas e de cobertura solo. Com base nestas variáveis, aplicou-se um processo de Análise Multivariada, com o objectivo de criar uma Carta Biofísica. O procedimento adoptado foi a Análise em Componentes Principais, tendo-se considerado, como limite mínimo de significância, 75% da variância dos dados originais explicada associada às 3 ou 4 primeiras Componentes Principais (CP), desenvolvendo-se o processo de forma interactiva e sequencial.

Os resultados desta análise indicaram que, a partir das 29 variáveis originais, as 3 primeiras CP, ou eixos, explicavam apenas 62,92 % da variância dos dados originais, sendo necessárias 6 CP para atingir-se o nível de significância correspondente a 75%. Este

resultado obrigou a reduzir o número de variáveis originais a introduzir no sistema de cálculo. Verificando-se que as variáveis correspondentes a repetições do mesmo factor biofísico mas, para diferentes datas (caso das precipitações) ou momentos (temperatura do solo e índice de vegetação obtidos a partir de seis imagens de satélite registadas entre 1999 e 2007), apresentavam um nível de correlação entre si próximo da unidade, decidiu-se reter apenas uma variável para cada factor, tendo sido seleccionadas as variáveis com maior nível de correlação com as 3 primeiras componentes principais. Nesta base, foram-se subtraindo as variáveis e analisando os resultados, retendo na fase final 8 variáveis, cujas 3 primeiras CP resultantes explicavam 74,54% da variância dos dados originais. Apesar deste valor se aproximar do nível mínimo pré-definido (75%), o subsequente processo de interpolação, resultou numa carta cuja análise crítica evidenciou alguma distorção da realidade perceptível na ilha. Nesta base, decidiu-se reter as variáveis associadas à quarta CP, com as quais seria explicada 84,06% da variância dos dados originais.

Comparando as unidades resultantes do processo desenvolvido no presente trabalho, com a representação esquemática da análise levada a cabo por Sabino (sem data), a qual incide sobre os factores regionais e locais do clima das ilhas do Arquipélago e, com as unidades da Paisagem citadas na “Carta Agro-ecológica e da Vegetação da ilha de Santo Antão”, constatou-se que:

- A unidade “1” abrange 39,4% do território sendo que, 37,8% sobrepõe-se a unidade da paisagem “Vertente Sul”, 31,6% às “Aplanações Litorânea Meridional”, 21,1% à “Vertente Oeste” cujo clima é caracterizado como “muito árido” à árido na citada carta agro-ecológica. Apenas 5,7% e 2,5% correspondem às “Vertente Norte e Noroeste”, respectivamente, cujo clima é caracterizado como árido à sub-árido;
- A unidade “2” abrange 37,7% do território, sendo que, 32% corresponde à “Vertente Sul”, 23% ao “Planalto Oeste”, 20,8% à “Vertente Norte”, 10,2% à “Vertente Noroeste”, sendo o clima caracterizado por árido, árido de altitude e, árido à semi-árido, respectivamente. Nota-se que, 8,5% desta unidade sobrepõe-se à Unidade “Planalto Leste”, cujo clima é caracterizado por árido à húmido mas, a sobreposição com a referida unidade corresponde a região de Lagoa, marcadamente árido;
- A unidade “3” abrange 7,6% do território, sendo que 31,8% corresponde à “Vertente Nordeste”, 28,0% à “Vertente Norte” e 19% ao “Planalto Leste”, cujo clima é caracterizado como variável entre árido, semi-árido, sub-húmido e húmido mas, cuja sobreposição se dá em regiões com níveis de aridez entre o árido e o semi-árido. Verifica-se ainda que, 20% desta unidade, sobrepõe-se à “Vertente Sul”, cujo clima é caracterizado como árido na referida carta agro-ecológica;

- A unidade “4” representa 7,7% do território, sendo que, 80,1% se sobrepõe à unidade “Vertente Nordeste”, cujo clima é caracterizado como sub-árido, sub-húmido à húmido. Complementarmente, 10% se sobrepõe ao “Planalto Leste” e 4,3% à “Vertente Norte”, cujo clima varia entre o sub-árido e o sub-húmido e, 5,6% à “Vertente Sul”, cujo clima é árido;
- A unidade “5” abrange 6,7% do território, sendo que, 88,8% sobrepõe-se à “Vertente Nordeste” e 10,6% ao “Planalto Leste”. Não obstante a variabilidade da caracterização climática destas duas unidades na carta agro-ecológica, a área de sobreposição corresponde uma região cujo clima tende do semi-árido para o sub-húmido. Apenas 0,6% se sobrepõe-se à unidade “Vertente Sul” (com clima árido);
- A unidade “6” abrange, apenas, 0,8% do território, sendo que 65,3% se sobrepõe à “Vertente Nordeste” e 34,7% ao “Planalto Leste”, correspondente à região mais húmida da ilha.

Nota-se, ainda, que, da comparação dos resultados com as cartas correspondentes ao índice da vegetação da ilha, os quais constituem um indicador importante do ambiente, verifica-se que, a delimitação resultante da metodologia aplicada representa a realidade, com significativo nível de precisão, comparativamente às análises empíricas. Exemplifica-se com a unidade “Planalto Leste”, a qual abrange a região superior da cordilheira central da ilha de Santo Antão com altitudes superiores a 1000 metros e, cujo clima é caracterizado na referida carta agro-ecológica como variável entre árido e húmido. A realidade perceptível é de que a humidade aumenta no sentido oeste-este, correspondente a delimitação obtida no presente estudo. Por outro lado, a unidade “Vertente Nordeste”, correspondente a região da ilha exposta aos ventos alísios, entre o litoral e os 1000 metros de altitude, observa-se um aumento gradual da humidade e da vegetação, no sentido base-topo, sendo este gradiente reflectido na citada delimitação automática.

Nesta base, as 6 unidades resultantes do processo de delimitação pelo método aqui apresentado, foram reclassificadas entre os níveis muito árido, correspondentes a classe 1 e, o nível húmido, correspondente a classe 6, de acordo com o mapa apresentado na Figura 3.

-

### Interpretação das Unidades Resultantes

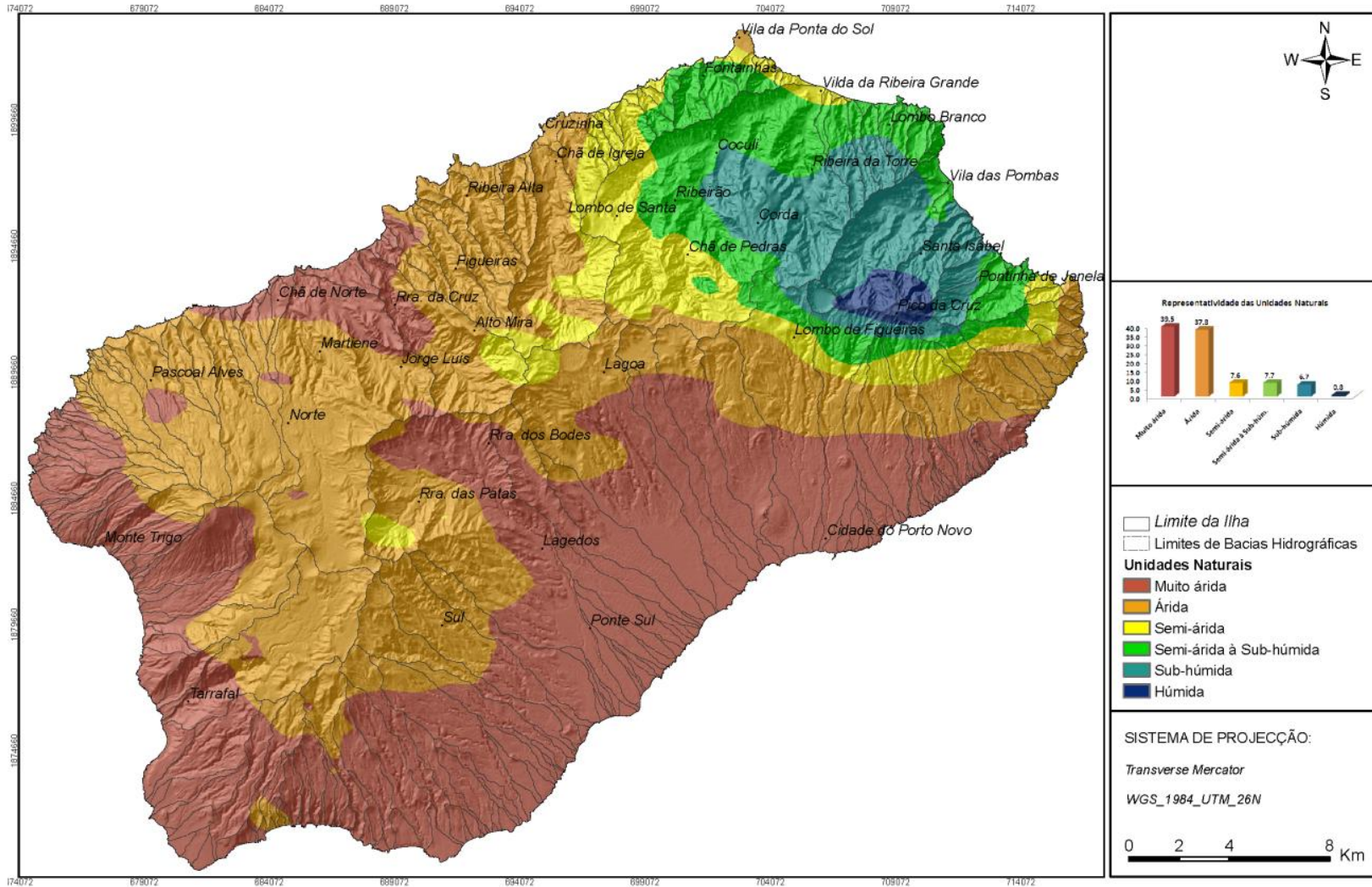


Figura 3 – Carta de Unidades Naturais relativa à Ilha de Santo Antão – Cabo Verde

#### **4. CONCLUSÕES**

Do estudo conclui-se que:

1. A aplicação de tecnologias de informação geográfica, associadas a técnicas de análise estatística multivariada, permitiram definir um modelo de caracterização biofísica do território, cujo resultado explica 84% da variação dos dados originais, correspondentes a 8 factores retidos como os mais preponderantes;
2. As citadas tecnologias facilitam análises interactivas e flexíveis, possibilitando que, se façam variar temas e critérios, integrar novas informações e, introduzir melhorias, em modelos construídos no actual contexto;
3. O modelo resultante de base metodológica científica, produziu resultados compatíveis com a realidade perceptível mas, que podem ser alterados com a actualização dos dados de base e/ou, reproduzido visando a caracterização biofísica de outras regiões com estrutura similar, nomeadamente outras ilhas do Arquipélago de Cabo Verde;
4. A análise empírica pode induzir a avaliação das variáveis isoladamente e, baseada nesta análise, fazer interferências sobre a realidade. Porém, quando um fenómeno depende de muitas variáveis, este tipo de análise pode falhar pois, não basta conhecer informações estatísticas isoladas. É necessário também, conhecer a totalidade das informações fornecidas pelo conjunto de variáveis uma vez que, as relações existentes entre as variáveis são, difícil percepção, podendo ter efeito mútuo antagónico ou sinérgico. No caso restrito de variáveis independentes entre si, é possível com razoável segurança, interpretar um fenómeno complexo, usando as informações estatísticas de poucas variáveis.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Costa, F. e Raposo, J. (2005) - Alterações geomorfológicas em vertentes com medidas de conservação do solo na bacia da Ribeira Seca (Santiago, Cabo Verde). Lisboa, Revista de Ciências Agrárias, 28 (1): 99-108.

Faria, R. & Pedrosa, A. (2005). Aplicação dos SIG na Elaboração de Cartografia Temática de Base na Bacia hidrográfica do Rio Uima, Santa Maria da Feira. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – 4 a 9 de Setembro de 2005 – Universidade de São Paulo.

Fonseca, A.D. & Fernandes, J.C. (2004). Detecção Remota \_ Radiação Electromagnética, Sistemas Orbitais, Processamento de Imagens, Aplicação. “2ª ed.” Edições LIDEL, Lisboa.

- Gaspar, J.A. (2005). Cartas e Projecções Cartográficas. “3ª ed.” Edições LIDEL, Lisboa.
- Jenson, K. e Domingues, O. (1988). Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54 (11): 1593-1600.
- Llopis, J.P. (2006). Sistemas de Información Geográfica Aplicada a la Gestion del Territorio \_ Entrada, manejo, análisis y salida de dados espaciais, Teoria Geral e Prática para Esry ArcGIS 9. São Vicente, ECU.
- Magrini, A. (1990). Avaliação de Impactos Ambientais. Meio Ambiente - Aspectos Técnicos e Econômicos. IN: IPEA-PNUD. Brasília
- Martinelli, M. & Pedrotti, F. (2001). A cartografia das Unidade de Paisagem: Questões metodológicas. *Revista do Departamento de Geografia* n.14, p. 39-46, 2001, acedido em [http://www.bibvirt.futuro.usp.br/textos/hemeroteca/rdg/rdg14/rdg14\\_07.pdf](http://www.bibvirt.futuro.usp.br/textos/hemeroteca/rdg/rdg14/rdg14_07.pdf) a 3 de Julho de 2008
- Matos, J. (2008). Fundamentos Teóricos de Informação Geográfica “5ª ed Edições LIDEL, Lisboa.
- Monteiro, A.J.M. (1990). A Problemática da Agricultura e o seu Impacto no Meio Ambiente e nas Sociedades Actuais. Cabo Verde.
- Morrison, D. F. (1990) - Multivariate statistical methods. 415Pag. McGraw-Hill , New York.
- Neto, J.M.M. (2004). Estatística Multivariada, Uma visão didáctica metodológica. Acedido em [http://criticanarede.com/cien\\_estadistica.html](http://criticanarede.com/cien_estadistica.html), Julho de 2008.
- Reis, Elizabeth (2001) - Estatística Multivariada Aplicada. Edição/reimpressão: 2001, Páginas: 344, Editor: Edições Silabo
- Sabino, A.A. (sem data). Análise de alguns Aspectos do Problema dos Recursos Hídricos em Cabo Verde. Cabo Verde, MDRP.
- Soares, A. (2006). Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente. “2ª Ed.” Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- UNEP (1994) – United Nations conservation to combat desertification. United Nations Environmental Program, Genève.
- UNEP/F.A.O./UNESCO/O.M.M. (1997). – Carte mondiale de la désertification, à l’échelle du 1 :25 000 000. Conférence des Nations Unies sur la désertification, Nairobi, 29 août-9 sept, doc. A/CONF.
- Zuidam, A. (1979) - Terrain analysis and classification using aerial photographs. ITC textbook of photo-interpretation vol VII-6. ITC Enschede, Holanda.