

A detecção remota como ferramenta crítica no desenvolvimento. Casos de estudo no Sul de Angola.

Remote Sensing as a critical tool for development. Case-studies from Southern Angola.

Mantas, Vasco M.¹, Pereira, A.J.S.C.¹

1. IMAR-CMA, Instituto do MAR, Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra, Portugal, vasco.mantas@dct.uc.pt

Resumo

A paisagem Angolana tem experienciado mudanças significativas nas últimas décadas. A par das modificações ambientais, a estabilização política e social associada a um crescimento económico acelerado cria desafios à investigação científica e desenvolvimento tecnológico.

Neste trabalho apresentam-se dois casos de estudo representativos da utilização de dados de detecção remota para a cartografia de recursos e monitorização ambiental. Em particular avalia-se a utilização de metodologias de correcção atmosférica expeditas e a utilização de séries temporais na elaboração de cartografia temática de uso e cobertura do solo.

Os casos de estudo apresentados destacam as vantagens da detecção remota no contexto angolano, onde o território se encontra em rápida mutação e a necessidade de reconhecer os recursos existentes é premente.

Palavras-chave: Angola, Detecção Remota, Landsat, MODIS

Abstract

The Angolan landscape has been experiencing dramatic changes in recent decades. Together with environmental change, the political and social stabilization of the country coupled with accelerated economic growth rates create new challenges for scientific research and technological innovation.

This paper presents two case studies representative of the use of remote sensing data for resource mapping and environmental monitoring efforts. It is evaluated the use of expedite atmospheric correction methodologies and the use of time series in the construction of thematic maps of land use and land cover.

The case studies highlight the advantages of remote sensing in the Angolan context, where the territory is changing rapidly and the need to identify available resources is overwhelming.

Keywords: Angola, Remote sensing, Landsat, MODIS

1. Introdução

As décadas que se seguiram à independência de Angola foram marcantes não apenas a nível social e político como também na dimensão científica e territorial. A conjugação de uma guerra civil duradora (1975-2002) seguida de uma rápida aceleração do crescimento económico criou desafios ímpares à sociedade e lideranças Angolanas.

A perturbação generalizada gerada por décadas de instabilidade provocou um abrandamento significativo da investigação científica em território angolano. Hoje, assiste-se a uma inversão do paradigma com um reforço generalizado do investimento em ciência, tecnologia e formação de quadros.

No entanto, a dimensão do país e a necessidade imediata de informação, nomeadamente de natureza geoespacial, exige uma abordagem pragmática e sustentável. A detecção remota afigura-se assim como uma alternativa viável neste contexto, capaz de fornecer dados de elevada qualidade, com uma resolução espacial e temporal adequada à resolução de inúmeros problemas actuais e emergentes (Dinis *et al.*, 2013).

Neste artigo descrevemos um conjunto de aplicações desenvolvidas recorrendo a dados de satélite adquiridos por diferentes missões na tentativa de solucionar problemas concretos inerentes à realidade Angolana.

Em particular, abordam-se as questões relacionadas com a qualidade dos dados e metodologias de correcção para aplicações geológicas e a importância das séries temporais longas no estudo de fenómenos e na elaboração de cartas temáticas.

A correcção atmosférica de imagens de satélite é um tópico analisado de forma recorrente existindo hoje múltiplas abordagens a esta questão, com complexidades e aplicações variadas. A utilização de técnicas de correcção atmosférica e normalização é especialmente adequada na análise de cenas contíguas ou adquiridas em datas distintas, em particular para fins de cartografia geológica ou de Utilização e Cobertura do Solo (UCS).

No presente trabalho abordamos a questão da correcção atmosférica e normalização de imagens através da comparação de três conjuntos de dados, testando-se uma adaptação do General Empirical Relation Model (GERM) (Gao *et al.*, 2008) para a região da bacia de

Benguela. Esta é uma região semi-árida localizada no Sul de Angola que, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, se caracteriza por um clima árido, estepário a desértico e quente (BSh e BWh) (Kottek *et al.*, 2006).

A disponibilidade de água, mas também a compreensão dos fenómenos conducentes a inundações constituem importantes tópicos de investigação em Angola. A bacia hidrográfica do Cuvelai, em particular, é de especial interesse dadas as suas características naturais e vulnerabilidade das populações a fenómenos extremos. Os inúmeros lagos efémeros existentes na região constituem um elemento central e modelador da paisagem, sendo utilizados pelas populações, nas rotas de transumância desde tempos remotos (MADRA, 2003).

Partilhada entre Angola e a Namíbia, esta bacia é caracterizada por um clima quente e árido (Kottek *et al.*, 2006), desembocando no famoso e impressionante Etosha Pan.

A bacia encontra-se preenchida por uma espessa camada de aluviões encaixada na formação do Kalahari (Carvalho, 1982). Os 'lagos' já referidos são diferenciados localmente entre 'etalas', de maior profundidade e persistência e as 'chanas', tipicamente planícies recorrentemente inundadas na época das chuvas. É nas áreas não ocupadas por estes corpos de água transientes, que as populações residem e desenvolvem as suas actividades (sobretudo agricultura e pastorícia), agrupando-se em pequenos povoados denominados 'enkolos'.

Neste estudo, e para a bacia do Cuvelai, procurou-se definir uma metodologia que permita uma cartografia de alta qualidade da ocupação do solo, como ponto de partida para o desenvolvimento de sistemas de monitorização em tempo quase real recorrendo a dados de diferentes missões (Landsat e MODIS).

2. Materiais e métodos

2.1. Correção atmosférica e análise geológica na bacia de Benguela

O método original GERM recorre ao produto MODIS de reflectância de superfície (8-dias, MOD09A1) para corrigir imagens de média resolução (e.g. Landsat). A relação encontrada entre os números digitais e reflectância, em *clusters* de alta qualidade identificados em ambas as imagens, são utilizadas para construir uma relação linear então aplicada às imagens de média resolução.

No método aqui utilizado, um passo intermédio foi adicionado, introduzindo-se a filtragem da imagem degradada para a resolução MODIS através de um kernel low-pass (3x3) e um co-registo dos pixels de ambas as imagens, validando-se a sobreposição com a análise da matriz de variação das bandas equivalentes (janela móvel 3x3).

Este método foi aplicado a duas imagens Landsat-7 ETM+ (Path: 182 Row: 069/070 Data: 2000.04.27) que abrangem um sector da bacia hidrográfica do Cuvelai (Figura 1) através

da criação de uma ferramenta para o ArcGIS, programada em Python (arcpy). As imagens resultantes foram comparadas com a equivalente de reflectância de superfície produzida pelo GLCF (Masek *et al.*, 2007). Os dados assim obtidos foram utilizados em processos de classificação de imagem, recorrendo a Árvores de Regressão (Xian & Homer, 2010).

Uma imagem EO-1 Hyperion da região do Dombe Grande foi ainda processada com o pacote FLAASH do Envi 4.7, tendo em vista a criação de uma biblioteca espectral das diferentes formações geológicas, na área onde posteriormente será efectuado trabalho de campo detalhado e comparação com os resultados obtidos no processamento da imagem Landsat.

2.2. Ocupação do solo e disponibilidade de água na região do Cuvelai

Utilizaram-se imagens do Landsat-5 TM, Landsat-7 ETM+ e Landsat-8 OLI para construir uma série temporal longa (1989-2014) representativa da distribuição dos corpos de água num sector da bacia do Cuvelai (Figura 2). Todas as imagens foram convertidas a reflectância topo-de-atmosfera recorrendo a uma ferramenta desenvolvida através do ERDAS Imagine ModelMaker e utilizando as equações e valores de calibração publicados (Chander *et al.*, 2009). Uma vez que este estudo tem um carácter experimental, foi seleccionado um sector representativo com uma área 360 km² e para a qual a perda de dados causada pela anomalia SLC-off do Landsat 7 ETM+ não é relevante. Actualmente, o alargamento do estudo a toda a bacia irá recorrer a um conjunto de técnicas complementares para solucionar esta dificuldade.

A identificação das áreas inundadas foi realizada com recurso à construção de árvores de regressão (J48, uma implementação em Java do algoritmo C4.5) utilizando o software Weka (Hall *et al.*, 2009) e recorrendo a dados de alta resolução para definição de pontos de treino e interpretação dos dados Landsat.

Esta metodologia foi empregue para a construção das máscaras das áreas inundadas e também para construção de mapas de ocupação do solo simplificadas para os anos de 1995, 2008 e 2013. Estes mapas simplificados classificam a imagem em 3 classes, água, área artificializada e vegetação espontânea. As máscaras de água resultantes foram conjugadas de forma a criar uma carta de probabilidade de detecção de água para cada pixel colocalizado (Figura 3).

A área artificializada inclui tanto as áreas habitacionais dos enkolo como os campos agrícolas adjacentes, uma vez que as poucas habitações são invariavelmente construídas com materiais tradicionais e de baixo contraste espectral à escala de trabalho. Não existem na área de estudo aglomerados populacionais significativos, justificando-se assim a ausência de uma classe dedicada a áreas urbanas.

Porque a monitorização contínua e em tempo quase real com um intervalo de revisita baixo é inviável utilizando os sensores do programa Landsat, avaliaram-se os dados MODIS para o estudo das áreas inundadas. Foram utilizados diferentes conjuntos de

dados de forma a gerar uma carta de fracção de superfície de água por pixel (FSAP) recorrendo à classificação dos dados MODIS de reflectância de superfície (MOD09GA) e térmicos (MOD11A1) à resolução de 1 km.

O modelo criado com o algoritmo M5P do Weka, utiliza como *input* os dados Landsat classificados, estimando-se para cada elemento de imagem MODIS a fracção ocupada por água. Após a determinação da percentagem, gera-se uma imagem sintética com uma resolução espacial de 30 metros que distribui a superfície inundada pelos pixels de maior probabilidade de ocorrência determinados durante a construção da série temporal Landsat. Esta abordagem foi seleccionada em virtude da inexistência de dados de elevação de qualidade suficiente dadas as características topográficas da região. Os dados da missão Shuttle Radar Topography Mission por exemplo representam incorrectamente a região dada a pequena amplitude nos valores de altitude ali encontrados. O mapa de frequência de inundação representa assim um *proxy* para o Modelo Digital de Terreno (MDT) tradicional.

O modelo foi gerado para as diferentes unidades hidrológicas identificadas no mapa de frequência de inundação e sequencialmente segmentado no sentido de melhorar o desempenho do modelo num processo iterativo. Como para os anos de 2008 e 2009 o número de imagens Landsat sem nuvens é elevado, o desenvolvimento e validação do modelo incidiu sobre este período temporal.

3. Resultados e Discussão

3.1. Análise geológica da região de Benguela

A análise das imagens corrigidas pelo método GERM-adaptado revelou uma grande aproximação aos dados de reflectância de superfície do GLCF (Figura 4), com residuais médios inferiores a 2% face aos dados GLCF e sendo também superiores em cerca de 40% (do residual) aos obtidos através da aplicação simples do método GERM. O método revelou-se assim suficientemente robusto para aplicação no contexto em apreço. Determinou-se ainda ser viável a execução do fluxo de trabalho em software livre (HEG-Win + BEAM).

Foram identificadas nas imagens de satélite as formações já reconhecidas (Guiraud *et al.*, 2010) com destaque para a Formação Gipsista Dombe Grande (Aptiano Superior) (Figura 5A). Esta, pelas suas propriedades espectrais reveste-se de particular importância como 'guia', favorecendo a interpretação dos dados de satélite na região e calibração de métodos de classificação. A utilização de uma árvore de regressão, aplicada à imagem Landsat GERM, resultou na extracção selectiva da formação com um detalhe sem precedentes (Figura 5B, C). Deu-se ainda início à construção de uma biblioteca espectral com base nos dados Hyperion e que ilustra as diferenças identificadas entre as formações e ao mesmo tempo a compatibilidade de métodos de correcção de imagem (Figura 6).

3.2. Bacia do Cuvelai

A árvore de decisão produziu um modelo com um coeficiente de correlação de 93.2% tendo-se verificado uma expansão dos enclaves de 1995 para a actualidade. De 21% da área de estudo, as áreas artificializadas passam a ocupar 29.1%. No entanto, e apesar do alargamento da área ocupada, todos estes assentamentos encontram-se fora das áreas inundáveis determinadas pela análise da série temporal Landsat.

O modelo de fracção de superfície de água por pixel (FSAP) revelou-se eficaz na identificação das áreas inundadas nomeadamente para fins de preenchimento de lacunas e monitorização diária.

O modelo que recorreu aos dados térmicos MODIS, nomeadamente recorrendo à diferença entre os valores diurnos e nocturnos foi aquele que apresentou um melhor desempenho. O conjunto de regras gerado pela árvore de regressão apresentou um coeficiente de correlação de 94.6% e um erro médio absoluto inferior a 4.5%.

No entanto, esta abordagem exige uma capacidade de computação significativa devido à sua natureza iterativa e grande número de unidades hidrológicas modelada. A agregação das unidades em clusters poderá limitar, mesmo que parcialmente, os constrangimentos associados ao volume de dados. A utilização do mapa de frequência de inundação gerado pela análise da série temporal revelou-se eficiente com um erro médio absoluto inferior a 5.4% na representação das áreas inundadas. Recordar-se que os dados MODIS utilizados na definição da fracção inundada por pixel têm uma resolução espacial de 1km, e a modelação da distribuição é realizada com resolução de 30 metros. Apesar desta diferença de escala e ausência de dados de elevação, substituídos pela frequência de inundação, o erro encontra-se dentro de um intervalo aceitável (Figura 7).

A segmentação da imagem, apesar de melhorar o desempenho dos modelos, pode gerar inconsistências em sectores adjacentes das unidades hidrológicas que tenham sido agregados a sectores distintos. Estas diferenças criadas pelas incertezas inerentes ao método e erro (apesar de reduzido) terão de ser analisadas em fase posterior do projecto de forma a limitar as discontinuidades.

4. Conclusão

Os casos de estudo apresentados sublinham a relevância das tecnologias de detecção remota e Informação Geográfica na cartografia temática, monitorização de recursos e prevenção de crises.

Fica também demonstrada a viabilidade de utilização de métodos simples de correcção atmosférica das imagens, reduzindo significativamente a complexidade e,

consequentemente, o custo associado à utilização dos dados de satélite no contexto em apreço.

A correcção e normalização de dados recorrendo ao método GERM, nomeadamente após a introdução do passo intermédio é um substituto viável dos métodos de correcção físicos e pacotes comerciais para a área em análise e outras equivalentes.

No entanto, as assinaturas espectrais inerentes a diferentes classes de UCS podem também dificultar a tarefa de discernir com precisão as diferentes litologias e, sobretudo, os seus contactos. O inverso poderá também suceder sendo de considerar a estratificação da imagem antes da classificação, tal como sugerido em metodologias que recorrem a uma segmentação da imagem com base nas ecorregiões (Bauer *et al.*, 2007).

A compreensão de sistemas complexos como o da bacia do Cuvelai, em que as inúmeras chanas e etalas moldam a paisagem natural e humana, é também possível apenas através da utilização de dados de satélite. A extensão ocupada por esta bacia e a variabilidade sazonal do sistema torna qualquer esforço de cartografia ou monitorização tradicional virtualmente impossível. Os custos associados a campanhas tradicionais de cartografia ou redes de monitorização ambiental tornam impraticável qualquer esforço sustentado nesse sentido. A expansão das áreas ocupadas pelas populações e a modificação do uso e cobertura terrestre são motivo de preocupação, reforçando-se a necessidade de um esforço concertado que promova a monitorização em tempo quase real deste complexo ecossistema.

5. Referências

BAUER, M. *et al.* (2007) – “Estimating and mapping impervious surface area by regression analysis of Landsat imagery”, *in* WENG, Q.(ed.), **Remote Sensing of Impervious Surfaces**, CRC Press.

CARVALHO, H. (Coord.), (1982) - **Carta Geológica de Angola**, Folha 3, Escala 1: 1 000 000. Instituto de Investigação Científica Tropical, Lisboa.

CHANDER, G.*et al.*(2009) –“Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors”. **Remote Sensing of Environment**, 113, pp. 893 - 903.

DINIS, P.A.,*et al.*(2013) –“Contribution of TRMM rainfall data to the study of natural systems and risk assessment.Cases of Application in SW Angola”. **Estudos do Quaternário**, no. 9, pp. 33 – 43.

GAO, F. & MASEK, J.G.(2008) –“Normalizing ASTER data using MODIS products for land cover classification”. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 37, B7.

GUIRAUD, M., *et al.* (2010) –“Segmentation and differential post-rift uplift at the Angola margin as recorded by the transform-rifted Benguela and oblique-to-orthogonal-rifted Kwanza basins”. **Marine and Petroleum Geology**, 27, 1040-1068.

HALL, M.*et al.* (2009) –“The WEKA Data Mining Software: An Update”. **SIGKDD Explorations**, 11, 1.

KOTTEK, M.*et al.*(2006) –“World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated”. **Meteorologische Zeitschrift**, 15, 3, pp. 259-263.

MASEK, J.G.*et al.* (2006) –“A Landsat surface reflectance dataset for North America, 1990-2000”. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, 3, pp. 68-72.

Ministério da Agricultura e do Desenvolvimento Rural de Angola (2003) - **Diagnóstico Rural Rápido da Zona Agro-ecológica de Baixa Pluviosidade**, Província do Cunene, 24 p.

XIAN , G.&HOMER, C.(2010) –“Updating the 2001 National Land Cover Database Impervious Surface products to 2006 using Landsat imagery change detection methods”, **Remote Sensing of Environment**, 114, pp. 1676-1686.

FIGURAS



Figura 1. A área de estudo localizada na bacia de Benguela, Angola.

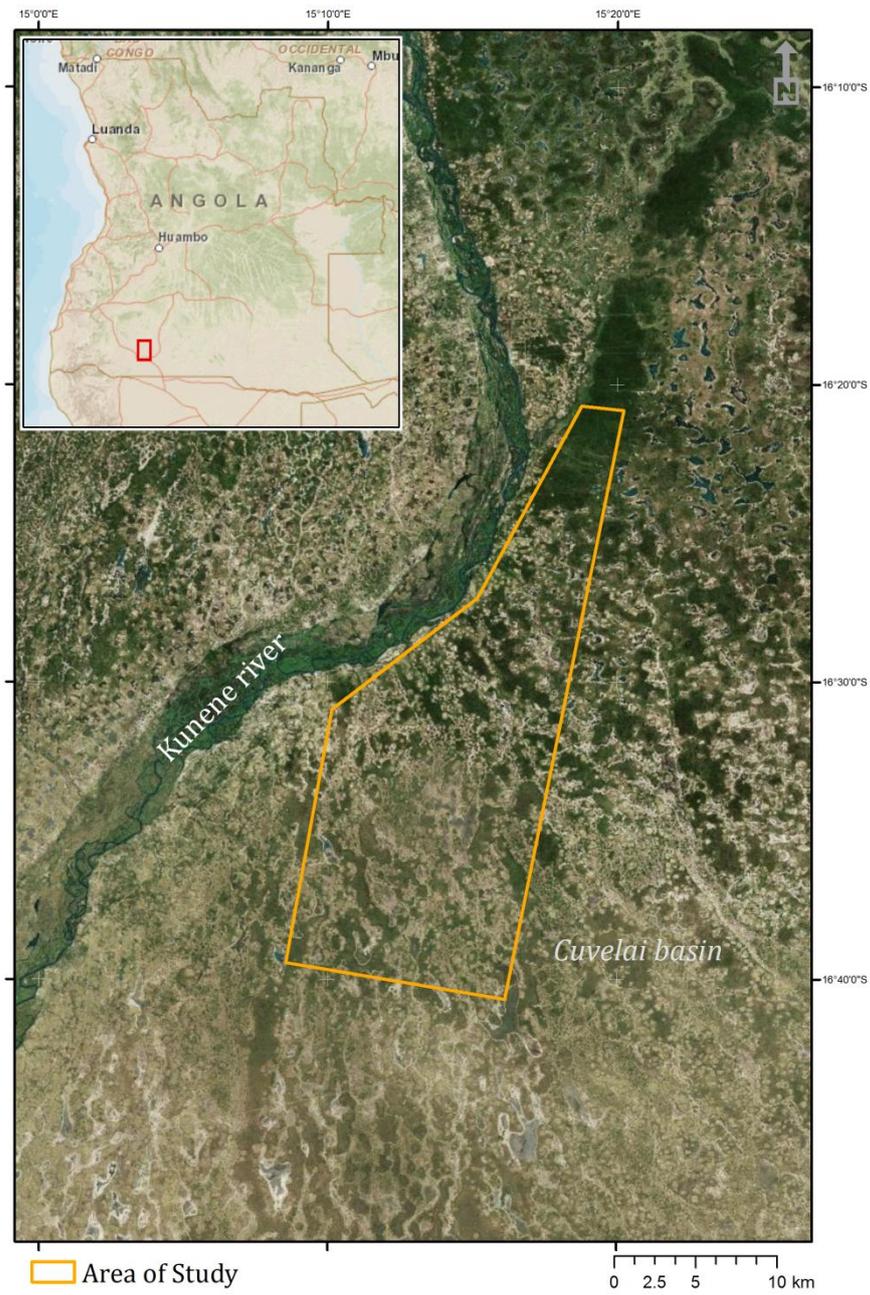


Figura 2. A área de estudo na bacia hidrográfica do Cuvelai, Angola.

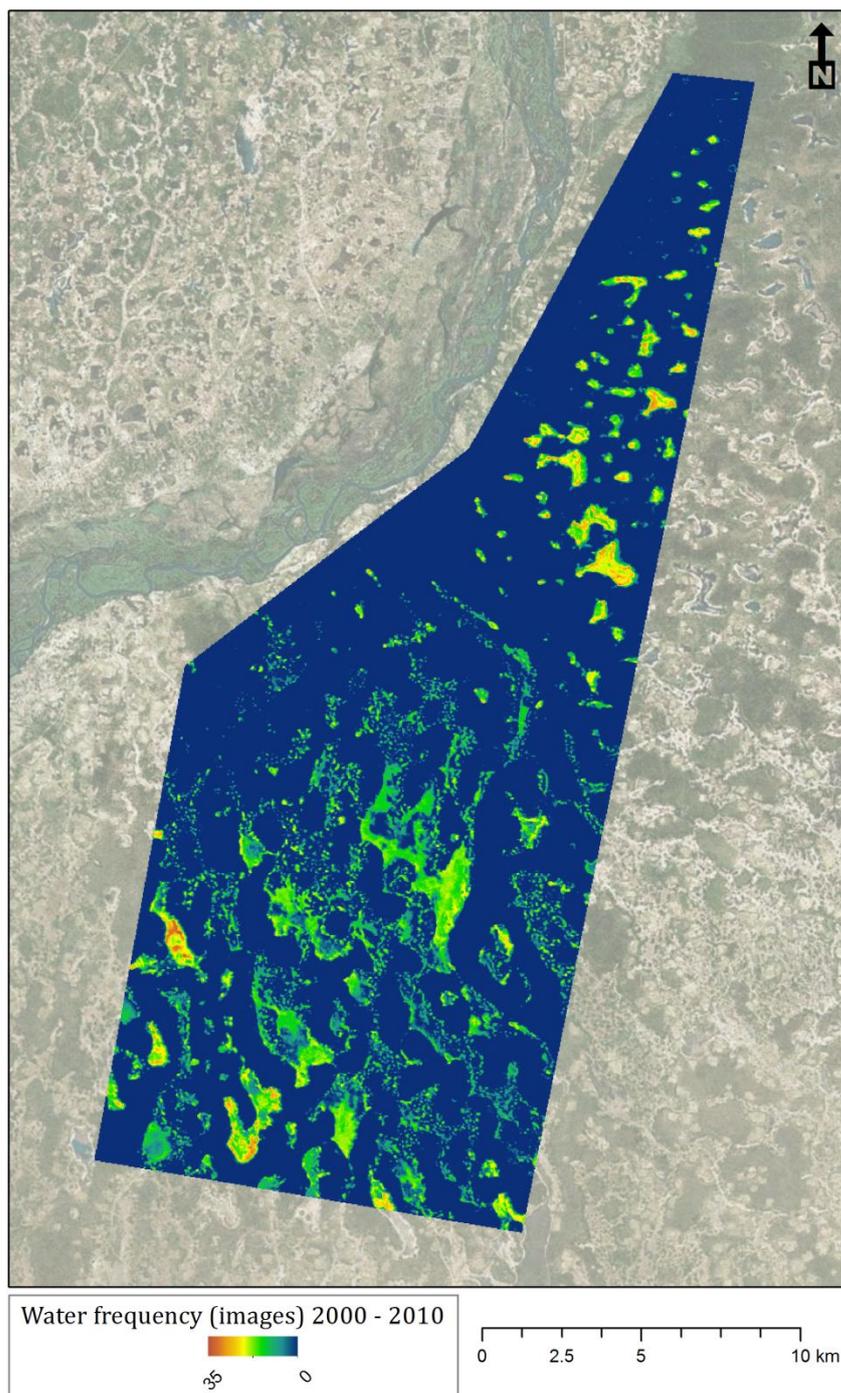


Figura 3. Mapa de frequência de inundação, com uma resolução espacial de 30 metros. O mapa resulta da análise de uma série temporal de imagens dos sensores do programa Landsat.

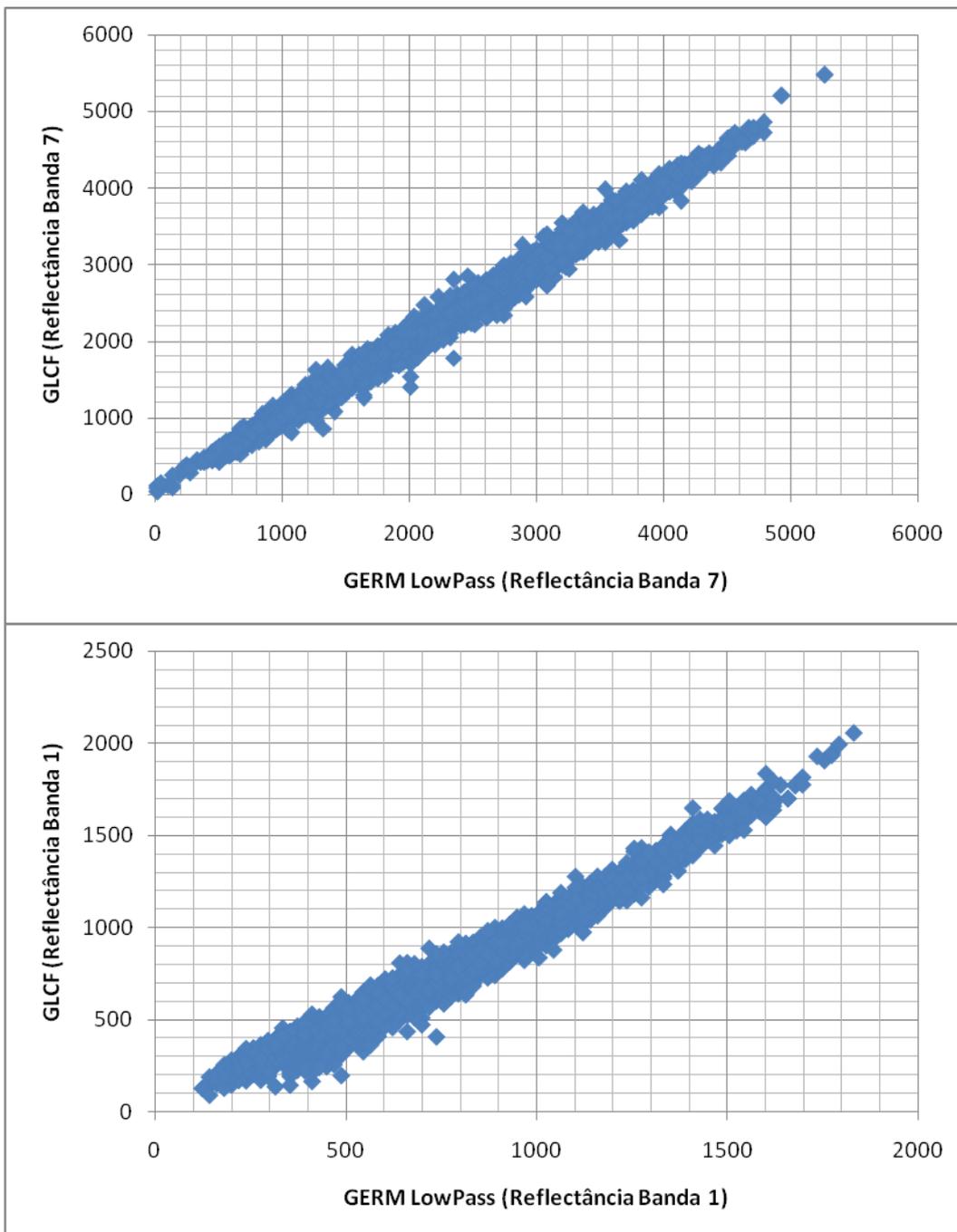


Figura 4. Exemplo das relações entre os dados GERM-melhorado e GLCF. Banda 1: $R^2 = 0.9763$ ($y = 1.05x + 1.3$); Banda 7: $R^2 = 0.9936$ ($y = 0.9792x + 53.9$).

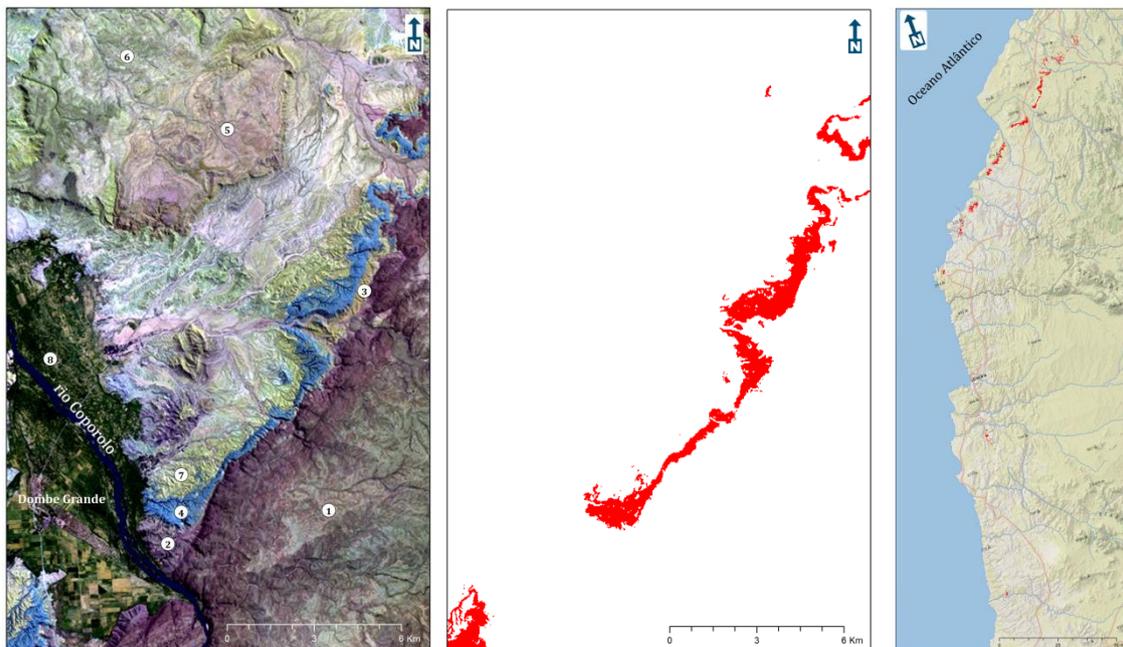


Figura 5. (A): Imagem Landsat-7 ETM+ RGB753 da região do Dombe Grande. 1: Pré-câmbrico; 2: Fm. Red Cuvo; 3: Fm. Cuvo-Chela; 4: Fm. Dombe Grande; 5: Fm. Dondo; 6: Fm. Catumbela; 7: Fm. Teba; 8: Holocénico. (B): Extração da Formação Dombe Grande através de árvore de regressão, na mesma área da imagem 3A. (C): Mapa da região compreendida entre Benguela e Namibe com áreas extraídas pela árvore de regressão e compatíveis com as características espectrais da Formação Dombe Grande (esta totaliza uma área aproximada de 53.29 km² aflorantes entre o rio Cavaco e a cidade do Namibe (Fig. 3D, 4). A precisão total foi de 95.65% com um valor de kappa de 0.8928 e Erro Quadrático Médio (RMSE) de 0.2059.

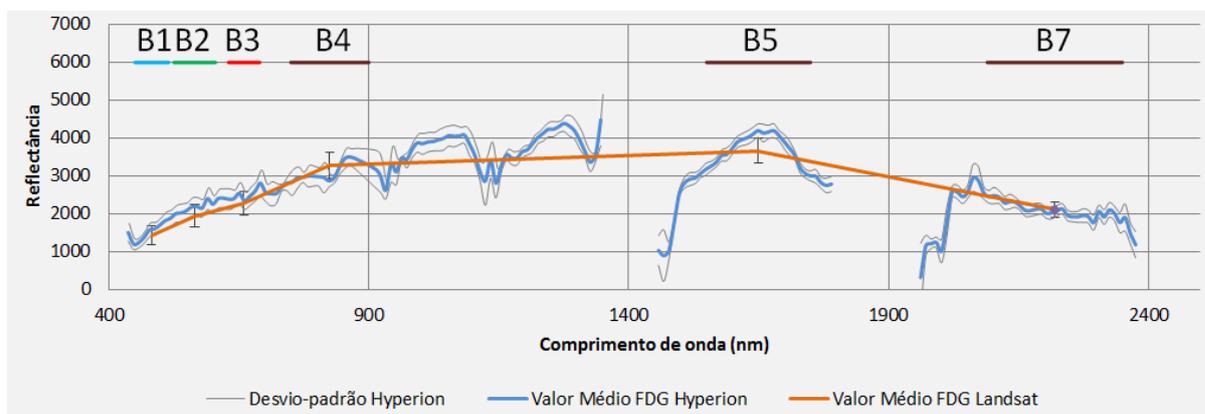


Figura 6. Espectro médio da Formação Dombe Grande, obtido a partir de 200 pontos de amostragem. É ainda representado o espectro médio obtido para as mesmas áreas recorrendo aos dados Landsat GERM-melhorado, ilustrando-se também os intervalos espectrais das bandas ETM+.

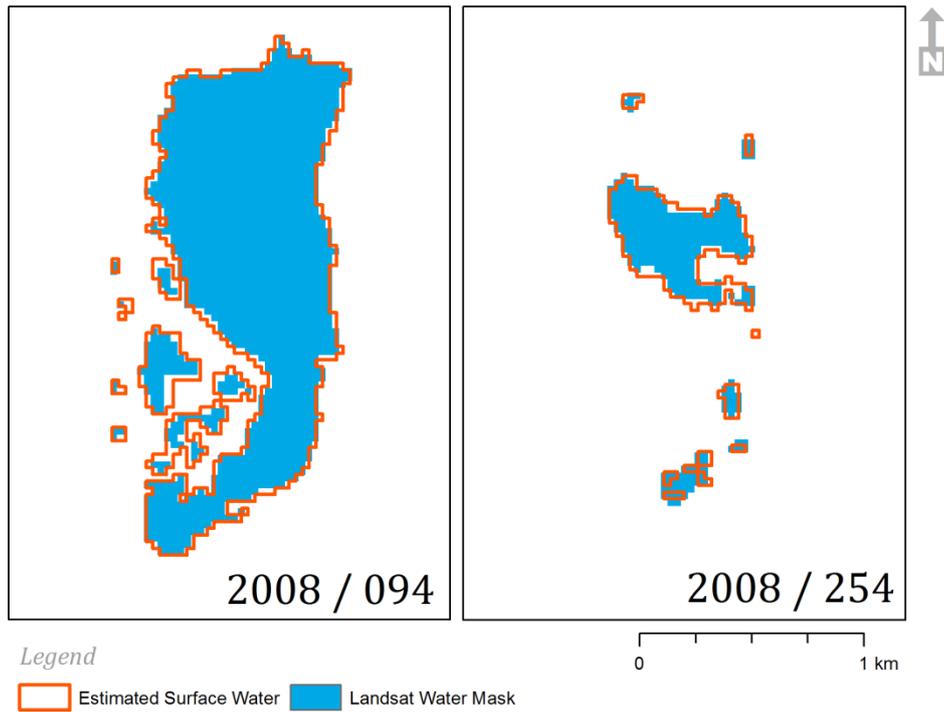


Figura 7. Exemplo de lago modelado em duas datas distintas, recorrendo à conjugação do modelo de fracção de superfície com água por pixel (FSAP) e distribuição da mesma pelos pixels com maior probabilidade de inundação de acordo com o mapa de frequências gerado pela análise de dados Landsat. O erro (em percentagem de área inundada real) foi de +9.4% na imagem de 2008/094 e de -9.7% na imagem de 2008/254.