

ARTIGO REF: 7035

IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS POTENCIAIS PARA A COLECTA DE ÁGUA DA CHUVA NA BACIA DO LIMPOPO

Berta Lúcia Cumbane^{1(*)}, Emilio José Magaia², Agostinho Chuquelane Vilanculos³

¹Universidade Zambeze, Faculdade de Ciências de Saúde (FCS) - Tete, Moçambique

²Universidade Eduardo Mondlane, Departamento de Engenharia Rural - Maputo, Moçambique

³ARA-Sul Administração Regional de Águas do Sul, Departamento Técnico, SRH & Modelos Hidrológicos, Maputo, Moçambique

(*)*Email*: blcumbane@gmail.com / b_cumbane@hotmail.com

RESUMO

Nos últimos anos tem-se notado uma progressiva redução na quantidade de reservas naturais de água doce sobre o globo terrestre. Associadas a este facto existem várias razões na sua maioria que se relacionam com a crescente pressão que o Homem tem exercido sobre os recursos naturais.

Neste estudo, desenvolveu-se uma metodologia associada a Sistemas de Informação Geográfica, para a porção Moçambicana da bacia do Limpopo, com objectivo de encontrar locais potenciais para a colecta de água da chuva e determinar os volumes possíveis de captar por cada posto administrativo. Para tal, usou-se o ModelBuilder, onde fez-se a sobreposição de mapas de precipitação, textura e profundidade do solo, uso e cobertura de terra e declive do terreno, por contribuição de pesos percentuais. Das áreas estudadas o posto administrativo de Chigubo, mostrou maior potencial de colecta de água, seguido pelo posto administrativo de Pafuri e Mapai, respectivamente. Portanto, o modelo mostrou boa performance, onde o coeficiente de correlação $R= 0.9627$ e o coeficiente de determinação $R^2= 0.9269$, explicaram o grau de exactidão do modelo.

INTRODUÇÃO

Moçambique é um País tropical caracterizado por chuvas irregulares, sobretudo na zona Sul onde as precipitações excessivas têm provocado cheias nas principais bacias hidrográficas, e o défice origina secas prolongadas.

Segundo a FAO (1990), a bacia do Limpopo é tida como a zona de maior risco de secas. Nesta região, a baixa frequência da precipitação faz com que a água constitua um factor limitante para a produção agrícola em áreas sem sistemas de irrigação e completamente dependentes da água da chuva. Este facto compromete a planificação das campanhas agrícolas e afecta negativamente as culturas em campo, contribuindo deste modo para a baixa produtividade das culturas e consequente insegurança alimentar.

Face a esta situação, estudos para a mitigação dos efeitos negativos causados pela seca constituem algumas das maiores prioridades a ter em conta para melhorar a produção agrícola, garantir a colheita em anos de fraca precipitação e minimizar o problema de falta de água para o consumo em certas regiões, de forma a contribuir para a melhoria do nível de vida das populações, o que promove o desenvolvimento do país (Ministério para a coordenação da acção ambiental, 2002).

A colecta de água da chuva tem sido uma técnica popular usada em muitas partes do mundo, especialmente em regiões áridas e semi-áridas (BOERS, 1994). Foi usada e difundida em regiões onde as chuvas ocorrem somente durante poucos meses e em locais diferentes (GALVÍNIO & MOURA, 2005). É neste contexto que este trabalho foi realizado, cujo propósito é identificar áreas potenciais para a colecta de água da chuva na bacia do Limpopo como forma de minimizar os problemas relacionados à falta de água.

Localização geográfica

A bacia hidrográfica do Limpopo (figura 1) encontra-se a uma altitude média de 840m acima do nível do mar. Estende-se entre as latitudes 22°S e 26°S e longitudes 26°E e 35°E. Possui uma área total de 415.500Km², englobando quatro países da Africa Austral, Botswana, Moçambique, África do Sul e Zimbabwe (FEWS NET, 2003), apresenta uma altitude máxima de 2300m, perto de Lydenburg na Africa do Sul, uma média de 840m e mínima de 4m em Xai-Xai (DNA, 2000).

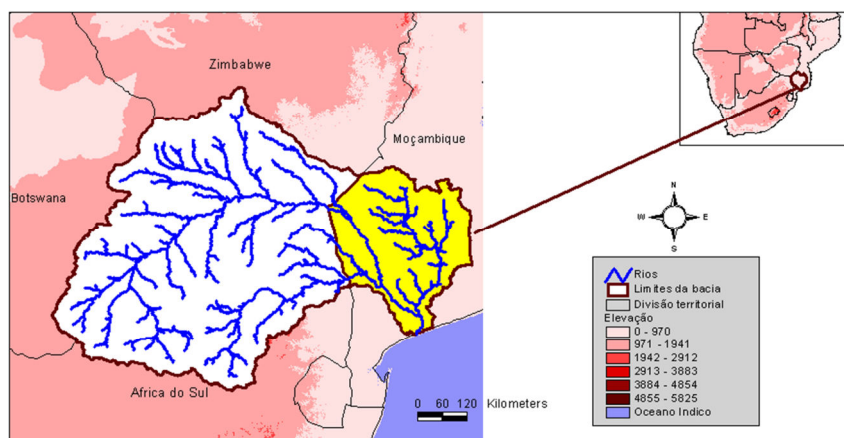


Fig. 1 - Localização da área de estudo (Fonte: adaptado de USGS, 2001)

METODOLOGIA

O ambiente escolhido para o presente trabalho foi o ModelBuilder por incorporar modelos analíticos e responder a problemas espaciais estruturados, satisfazendo as exigências de tomada de decisões rápidas na planificação e gestão dos recursos hídricos.

Dados

Os dados usados foram colhidos por um lado através de “downloads” da Internet e por outro lado na Administração Regional de águas do Sul (ARA-Sul), que é a Instituição responsável pela gestão da Bacia do Limpopo.

(a) Precipitação

O conhecimento de características como a distribuição espacial e temporal da precipitação de uma determinada área é um dos pré-requisitos para projectar um sistema de identificação de locais para a colecta de água. No modelo, este parâmetro foi usado para determinar as áreas em que a precipitação tem a capacidade de produzir escoamento superficial. Estes dados com a resolução de 1km foram disponibilizados pela ARA-Sul.

(b) Uso e cobertura de terra

Um aumento na densidade da vegetação resulta em um aumento correspondente em perdas de interceptação, retenção e taxa infiltração que, por conseguinte, diminui o volume de escoamento. Portanto, dados de uso e cobertura de terra serviram para avaliar a influência da vegetação na infiltração da água no solo. Estes dados com a resolução de 1km encontram-se disponíveis no endereço http://edcdaac.usgs.gov/glcc/af_int.html.

(c) Modelo Digital de Elevação

O Modelo Digital de Elevação foi usado para a determinação da inclinação do declive, um parâmetro considerado de elevada importância para a análise de locais para a macro e micro colecta. Estes dados com a resolução de 1km foram obtidos em http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/hydro/af_basins.asp.

(d) Tipo de solo e profundidade

A estrutura da superfície influencia o processo de escoamento superficial e o movimento de água no solo e dentro da matriz do solo, a profundidade do solo foi usada para determinar a quantidade de água que pode ser armazenada no solo. Estes dados com a resolução de 1km estão disponíveis em http://daac.gsfc.nasa.gov/data/inter_disc/hydrology/soil.

(e) Imagem satélite

A imagem satélite Landsat TM 5 foi usada no processo de validação do modelo desenhado. É fundamental para o modelo pois contém a informação sobre a realidade do campo em forma de fotografia. Estes dados foram adquiridos na CENACARTA, pertencendo a carta N° 168-76 (Agosto de 2000).

Processamento dos dados

No software ArcView 3.2a introduziu-se os dados acima mencionados de acordo com o tipo de dados e iniciou-se o processo de modelação usando a extensão ModelBuilder.

A inclinação do declive do terreno foi extraída do Modelo Digital de Elevação, usando a equação 1 (ERSI, 2000).

$$D = sV * sH * 100 \tag{1}$$

Onde:

D - Inclinação do declive (em percentagem)

sV - Distância vertical (em metros ou quilómetros)

sH - Distância horizontal (em metros ou quilómetros)

O mapa de precipitação passou por uma reclassificação, com vista a padronizar os valores e organiza-los em intervalos segundo as categorias propostas pela FAO (2004), citado por RELMA, 2005 (Tabela 1).

Tabela 1 - Potencial da precipitação na produção de escoamento

Precipitação (mm)	Descrição
0 a 200	Não ocorre escoamento
200 a 400	Baixo potencial
400 a 1200	Potencial médio
> 1200	Alto potencial

Fonte: FAO (2004)

A reclassificação do declive foi feita seguindo o critério estabelecido pela USGS (2005) citado por RELMA, 2005 (Tabela 2).

Tabela 2 - Classificação do declive

Declive (%)	Descrição
0 a 2	Planícies
2 a 8	Ondulações
8 a 16	Terrenos ondulados
16 a 30	Terrenos acidentados
> 30	Montanhas

Fonte: USGS, 2005

Os dados de textura e profundidade passaram também pelo processo de reclassificação onde, para a profundidade do solo a reclassificação foi feita com base no critério estabelecido pela FAO (Tabela 3).

Tabela 3 - Classes de profundidade do solo

Categoria	Profundidade (cm)
Muito baixa	< 10
Baixa	10 - 50
Moderada	50 - 100
Alta	100 - 150
Muito alta	100 - 300

Fonte: FAO & UNin IUSS, 2006

Para a textura do solo, a reclassificação baseou-se na classificação feita pela USGS (2005) citado por RELMA (2005) em que os solos se subdividem em quatro grupos hidrológicos de acordo com a taxa de infiltração (Tabela 4). Adoptou-se três categorias de textura, em que o grupo A corresponde a textura arenosa, o grupo B a textura limosa e os grupos C e D correspondem a textura argilosa devido às baixas taxas de infiltração.

Tabela 4. Caracterização dos solos

Grupo Hidrológico	Características
Grupo A	Solos com baixo potencial de escoamento superficial e elevada taxa de infiltração. Inclui solos de textura arenosa, argilo-arenosa e franco-arenosa.
Grupo B	Solos com uma taxa de infiltração moderada. Inclui solos de textura limosa e franco limosa.
Grupo C	Solos com baixa taxa de infiltração. Deste grupo fazem parte os solos de textura Franco argilosa.
Grupo D	Solos com taxa de infiltração muito baixa. Inclui solos de textura argilosa, argilo-arenosa, argilo-limosa.

Fonte: USGS (2005)

Para encontrar os locais de acumulação da água da chuva usou-se um processo de sobreposição por influência de pesos de cada mapa temático (figura 2), que ocorreu multiplicando os valores de escala de cada parâmetro com a percentagem de contribuição, segundo a equação 2 em ESRI (2000).

$$P_i = \sum C_j X A_i \quad (2)$$

Onde:

P_i - Nível de potencial para a colecta de água

C - Peso de contribuição (em percentagem)

A - Valores de escala das componentes de cada mapa temático

i - Variando de 1 a 3

j - Mapas temáticos

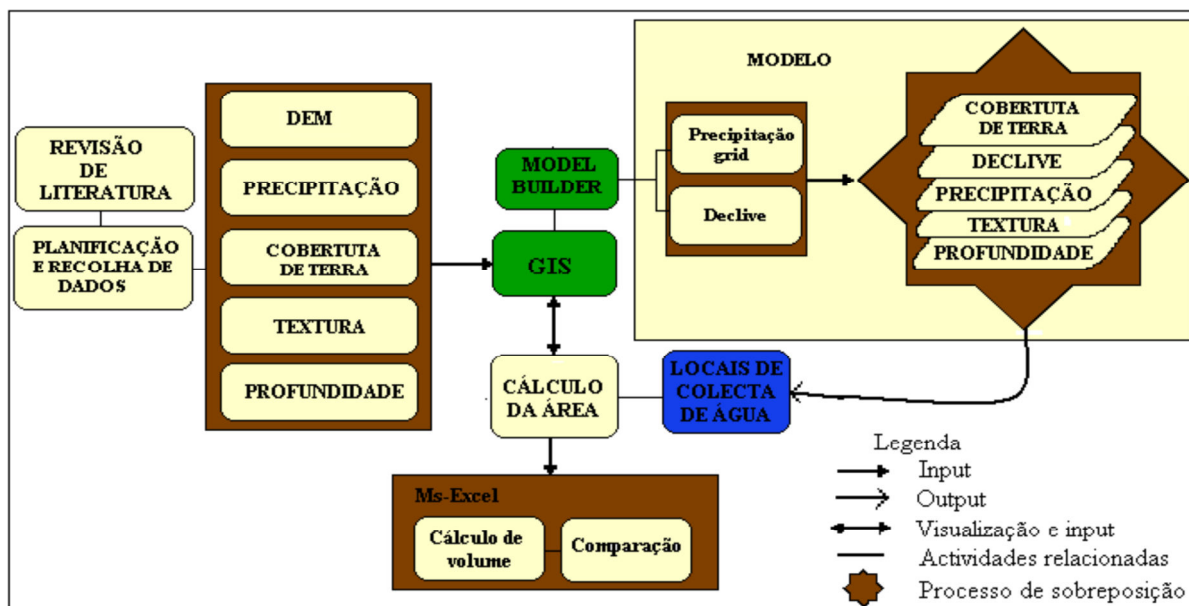


Fig. 2 - Descrição simplificada da metodologia

Calibração, verificação e validação

O primeiro passo para a calibração foi a análise de sensibilidade, que é uma técnica usada para testar os acontecimentos dentro de um modelo quando há variação de eventos.

A análise de sensibilidade permitiu detectar quais os dados mais relevantes na acumulação de água das chuvas. Para este caso teve-se como referência a albufeira de Massingir e o Posto administrativo de Chigubo, tendo-se feito variar os parâmetros de modo a se atingir um cenário de concordância entre a área observada no campo e a área calculada. As áreas observadas no campo foram obtidas por digitalização da imagem satélite dentro da plataforma SIG.

A verificação consistiu na comparação das áreas resultantes do modelo com a informação da imagem satélite, através de regressão linear. Uma vez que a Imagem Satélite não cobria totalmente a área de estudo, esta comparação foi feita apenas para 7 postos administrativos abrangidos na sua totalidade pela Imagem (Mabalane, Combomune, Ntlavene, Mavodze, Pafuri, Mapai e Chigubo), considerando-se a área dada pela imagem como sendo a variável independente e a dada pelo modelo como a variável dependente obtendo-se daí o coeficiente de correlação R e o coeficiente de determinação R^2 . Os pesos atribuídos aos mapas temáticos foram ajustados manualmente de forma a se obter um valor representativo da influência de cada variável. Efectuou-se posteriormente a determinação da eficiência “Ef” e do desempenho do modelo “c”, em que o coeficiente de desempenho foi obtido pela equação 3 proposta por Camargo e Sentelhas (1997) e a sua respectiva classificação é dada pela tabela 5.

Tabela 5 - Classificação do coeficiente de confiança ou desempenho

C	Desempenho
> 0.9	Ótimo
0.81 - 0.9	Muito bom
0.71 - 0.8	Bom
0.51 - 0.7	Mediano
0.41 - 0.5	Sofrível
0.31 - 0.4	Mau
≤ 0.3	Péssimo

Fonte: Andrade Júnior et al. (2006)

$$c = R \times d \quad (3)$$

Onde:

c - Coeficiente de confiança ou desempenho de Camargo-Sentelhas

R - Coeficiente de correlação ou índice de precisão

d - Índice de concordância ou de exactidão de Willmott

O índice de concordância foi obtido apartir da equação 4 proposta por Willmott (1991). Este indica o grau de exactidão entre os valores estimados ou calculados e os valores observados.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (4)$$

Onde:

d - Índice de concordância ou de exactidão de Willmott

O_i - Valor observado

E_i - Valor estimado ou calculado

\bar{O} - Média dos valores observados

n - Número de observações

A eficiência do modelo é calculada com base na equação 5 de Sentelhas et al. (2003).

$$Ef = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

Onde:

Ef - Eficiência do modelo

O_i - Valor observado

\bar{O} - Média dos valores observados

E_i - Valor estimado ou calculado

n - Número de observações

O erro médio absoluto foi calculado com base na equação 6 proposta por Sentelhas et al. (2003).

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - E_i| \quad (6)$$

Onde:

EMA - Erro médio absoluto

O_i - Valor observado

E_i - Valor estimado ou calculado

n - Número de observações

Para a validação do modelo, fez-se uma comparação das áreas dadas pelo modelo e as observadas pela imagem satélite, através de regressão linear, com o objectivo de avaliar a concordância existente por cada posto administrativo.

Posteriormente efectuou-se a comparação dos valores obtidos, com o objectivo de estimar e avaliar a diferença entre as áreas dadas pela imagem satélite e as áreas resultantes do modelo. Para tal usou-se a equação 7 de Sawunyama (2005) citado por Magaia (2006) referente ao índice de percentagem de diferença de área (PDAI).

$$PDAI = \frac{(Area_{observada} - Area_{calculada})}{Area_{observada}} \times 100 \quad (7)$$

Fez-se a determinação da área relativa (equação 8).

$$Area\ relativa\ (\%) = 100 - |PDAI| \quad (8)$$

Onde:

PDAI— Índice de percentagem de diferença de área (%)

Área observada — Área de colecta obtida usando a imagem satélite (Km²)

Área calculada — Área de colecta obtida usando o modelo (Km²)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras 3 e 4 explicam o processo de funcionamento do modelo de colecta de água do Limpopo (MOCAL), o qual tem grande aplicabilidade em estudos de avaliação da sensibilidade de parâmetros, bem como na identificação de áreas com potencial de colecta e armazenamento de água das chuvas, necessitando de confirmação através de estudos de campo.

Na figura 3, os rectângulos azuis representam os dados de entrada, os quais podem ser substituídos por outros, dependendo dos objectivos do estudo. As estruturas ovais de cor alaranjada representam a função pela qual os dados são transformados noutros e, o resultado deste processo é representado pelos rectângulos verdes com borda arredondada.

A função vector conversion converte os dados para o formato matricial, como ocorreu com os dados de precipitação. A função slope é usada para a extracção do declive, à partir do Modelo Digital de Elevação, enquanto que a função reclass ajuda a organizar os dados de acordo com os objectivos.

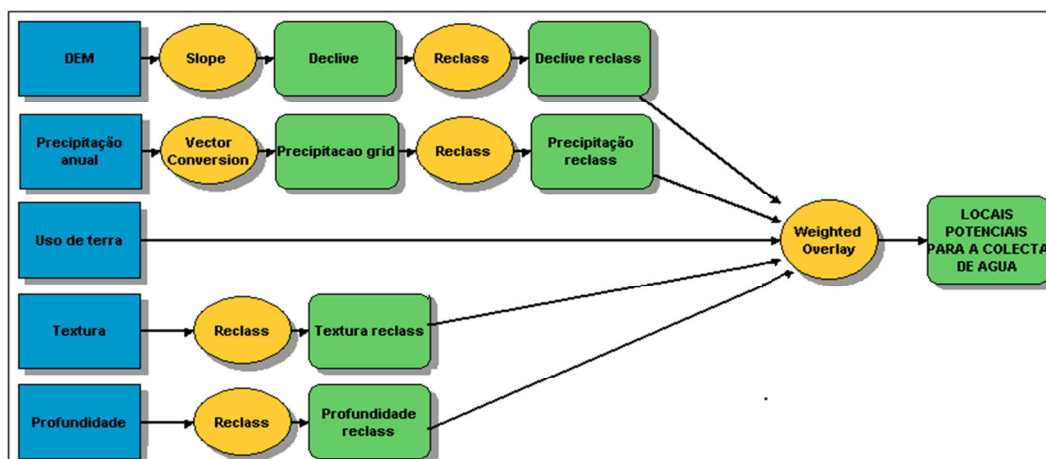


Fig. 3 - Processo de sobreposição

As áreas de colecta são dadas pela combinação dos dados transformados, através de uma sobreposição por influência de pesos, função Weighted overlay. Essa combinação é representada pela figura 4, onde as componentes de cada mapa temático recebem um valor de escala que dependendo do nível de contribuição para se encontrar locais apropriados para a colecta de água. Neste caso, os atributos que recebem o valor de escala 1 possuem o nível mais alto de contribuição isto é, estes atributos pertencem ao nível alto na escala de avaliação do potencial para a colecta de água. O valor 2 representa o nível médio, e o nível baixo é representado pelo valor 3. Após a atribuição dos pesos de contribuição de cada mapa temático, pode-se correr o modelo através do botão Run e, o resultado do processo é visualizado na view do software ArcView. Neste caso a precipitação, com peso de 40%, exerce maior influência, seguindo-se o declive com 25%, a Cobertura do solo com 15% e as características do solo (textura e profundidade), ambas com 10%.

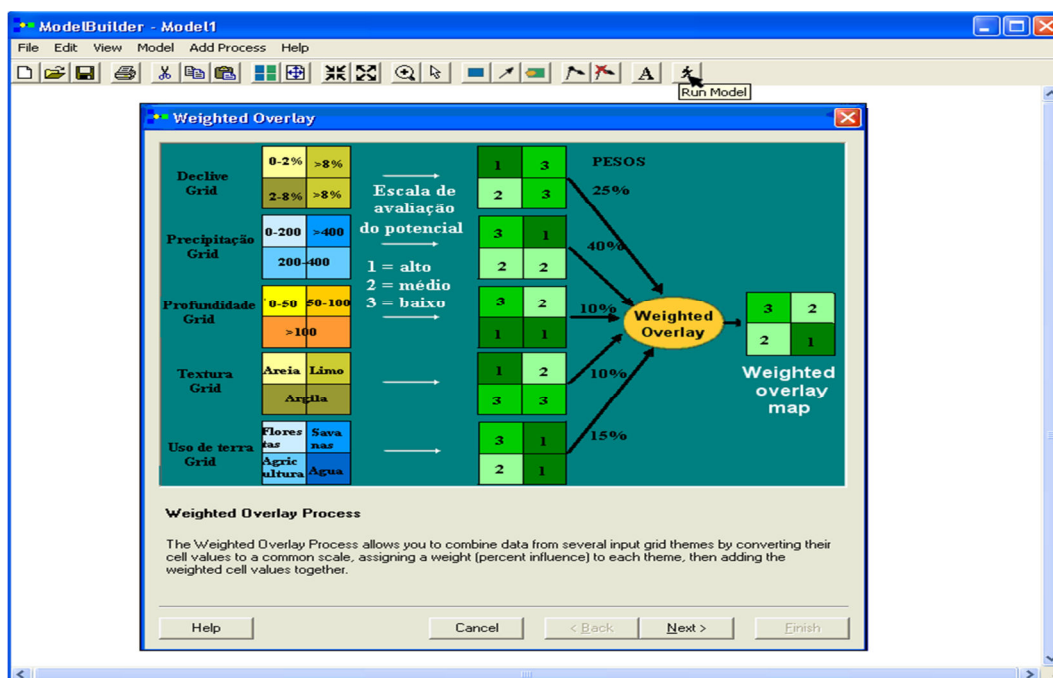


Fig. 4 - Combinação dos parâmetros

Áreas de colecta de água antes da calibração do modelo

A figura 5 ilustra as áreas encontradas pelo modelo antes do processo de calibração. Este cenário mostra a predominância de zonas com elevado potencial de colecta, sobretudo nos postos administrativos localizados na faixa costeira. Mais para o interior aparecem também com um potencial elevado os postos administrativos de Pafuri, Vila Eduardo Mondlane, Mapai, Chigubo, Massangena e Mavue. Contudo, a maior parte dos postos administrativos encaixam-se na escala de potencial médio, enquanto que não ocorrem áreas com baixo potencial de colecta de água. Isto deve-se ao facto de ter-se corrido o modelo atribuindo igual peso de contribuição para todos factores e ter-se considerado que o solo não possui vegetação, o que não reflecte a realidade.

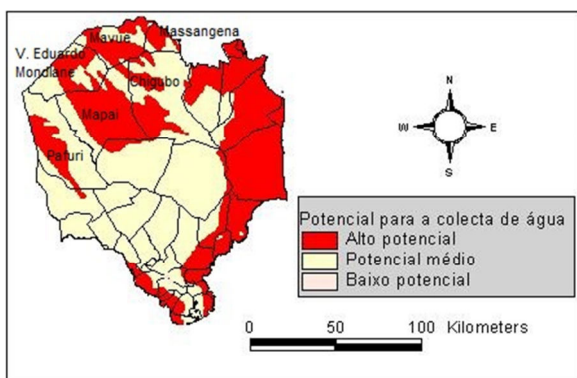


Fig. 5 - Áreas de colecta antes da calibração (solo nú)

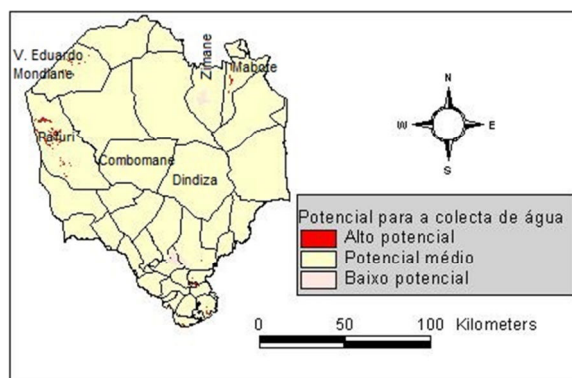


Fig. 6 - Áreas de colecta antes da calibração (solo coberto)

Para o caso da figura 6 as áreas com elevado potencial de colecta por posto administrativo mostraram-se reduzidas, ocorrendo nos postos administrativos de Pafuri, Vila Eduardo Mondlane e Mabote. Contrariamente ao cenário anterior, em Combomune, Ndindiza e Zimane, há ocorrência de zonas com baixo potencial de colecta. Isto deve-se ao facto de ter-se considerado que o solo se encontrava totalmente coberto e, a cobertura de terra ser na sua maioria constituída por formações florestais onde a profundidade dos solos é excessivamente elevada, superando o limite estabelecido na metodologia.

As figuras acima mostram a existência de uma forte influência da cobertura de terra na identificação das áreas de colecta. Portanto, no processo de calibração considerou-se as variações deste factor para diferentes áreas.

Áreas de colecta de água depois da calibração do modelo

O resultado do processo de sobreposição foi um mapa que ilustra áreas com diferente potencial para a colecta de água variando de alto, médio até ao baixo potencial.

A figura 7 mostra as áreas potenciais para a colecta de água. Em termos numéricos o posto administrativo de Tome no distrito de Funhalouro, província de Gaza, apresentou um elevado potencial para a colecta de água, seguindo-se o posto administrativo de Mabote e o posto administrativo de Chigubo, província de Gaza. A diferença de áreas por posto administrativo deve-se ao facto de cada posto administrativo possuir características relacionadas com o uso de terra, que diferem de região para região.

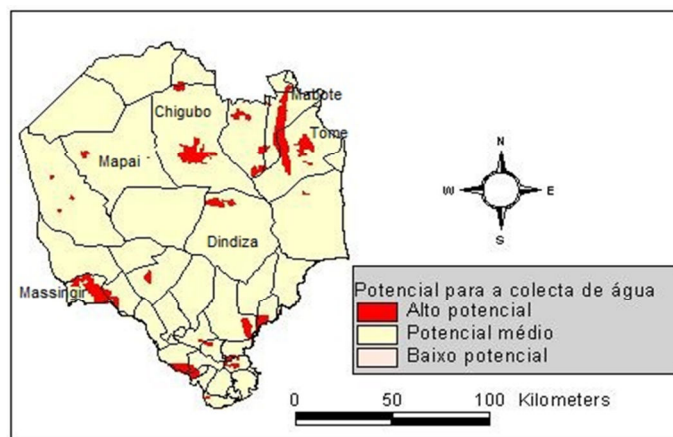


Fig. 7 - Locais potenciais para a colecta de água

Verificação do modelo

A aplicabilidade do modelo foi estatisticamente explicada pelo resultado da análise de regressão (figura 8) entre a área calculada e a área observada tendo um valor de $R^2 = 0,9269$. O valor de F foi altamente significativo, explicando a existência de uma forte correlação positiva entre as áreas, dando um coeficiente $R = 0,9627$. Este valor indica que, as áreas encontradas pelo modelo são aplicáveis, assumindo que os factores usados neste estudo correspondem às únicas características que tem influência sobre as áreas de acumulação de água da chuva.

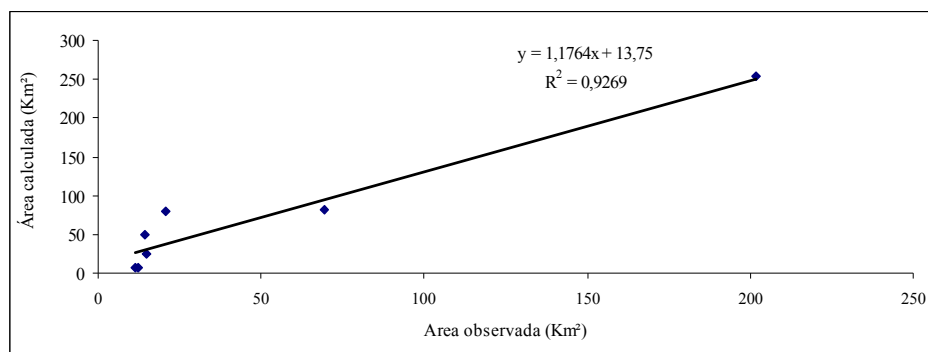


Fig. 8 - Regressão entre a área observada e a área calculada

Comparação dos resultados (validação do modelo)

Do processo de validação do modelo certificou-se que as contribuições percentuais atribuídas a cada mapa temático produzem resultados aplicáveis. Este facto é explicado pela figura 9a que mostra a concordância existente entre o produto resultante do modelo e a informação dada pela imagem satélite.

A figura 9 acima mostra que as áreas encontradas usando o modelo coincidem em alguns casos com o que se observou no ano 2000. Contudo, esta concordância é nítida no posto administrativo de Chigubo devido a existência de uma área maior em que a presença de água é claramente visível. Contudo, existe uma área também considerável em que a presença de água é constante. É o caso da albufeira de Massingir (figura 9b).

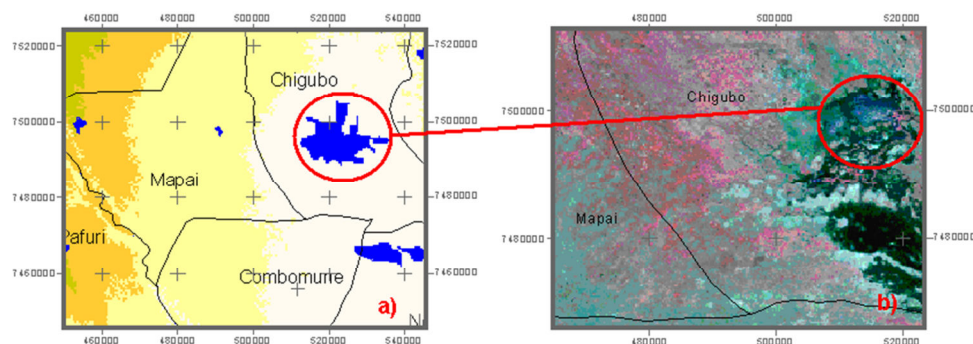


Fig. 9. Comparação dos resultados obtidos do modelo(a) e da imagem LANDSAT 5(b)

Existem vários outros pontos que a imagem satélite mostra e que ocorrem no modelo mas estes não foram usados para a comparação por serem insignificantes, comparativamente a área acima indicada.

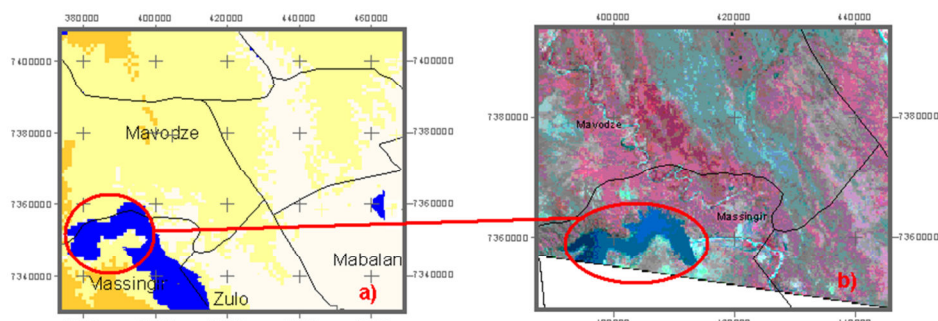


Fig. 10 - Resultado do modelo (a) e da imagem satélite (b) referente a albufeira de Massingir

CONCLUSÕES

Combinando dados espaciais e com ajuda de Sistemas de Informação Geográfica do tipo Arcview, é possível criar um modelo simplificado para a tomada de decisão sobre as áreas potenciais para a colecta de água e esse modelo pode ser usado com um elevado grau de exactidão e precisão como foi mostrado neste estudo. Isto pode ser sustentado pelo produto entre o índice de precisão $R = 0.9627$ resultante da análise de regressão e o índice de concordância $d = 0,9429$, dando um coeficiente de desempenho $c = 0.9078$ que confere ao modelo um desempenho estatístico óptimo. O mesmo modelo é de grande aplicação em exercícios de avaliação da influência de variáveis em eventos extremos.

Existem locais com grande potencial para a colecta de água da chuva na bacia do Limpopo e, esses locais compreendem uma pequena parte da província de Inhambane, no posto administrativo de Mabote onde cerca de 21% da área total pode ser ocupada pela água. Na província de Gaza, em Lionde a água chega a ocupar cerca de 20% da área total, enquanto nos postos administrativos de Ndindiza, Zimane, Chigubo e Tome a percentagem de área ocupada pela água é menor que 4%.

REFERÊNCIAS

[1]-ANDRADE, J. 2006. Parametrização de modelos agrometeorológicos para a estimativa da produtividade da cultura de Milho na região de Parnaíba, Piauí. Revista ciência agronómica. V-37. Brasil.

- [2]-BOERS, T. M. (1994). Rainwater Harvesting in Arid and Semi-Arid Zones, 146.
- [3]-CAMARGO, A. P; SENTELHAS, P. C. 1997. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. Revista brasileira de agrometeorologia. V-5. Brasil.
- [4]-DNA. 2000. Análise hidrológica do evento cheia. Maputo.
- [5]-ESRI. 2000. ModelBuilder for ArcView Spatial Analyst 2. An ESRI White Paper
- [6]-FAO.2004. Drought Impact Mitigation and Prevention In The Limpopo River Basin A situation analysis; Land and water discussion Paper N° 4. Rome in www.fao.org, visitado em janeiro de 2008).
- [7]-FAO, R. (Italy). L. and W. D. D. 1990. An International Action Programme on Water and Sustainable Agricultural Development. A strategy for the implementation of the Mar del Plata Action Plan for the 1990s.
- [8]-FEWSNET. 2003. Atlas de preparação contra desastres naturais na bacia do Limpopo. Moçambique.
- [9]-GALVÍNCIO, J. D., & MOURA, M. S. B. de. (2005). Aspectos climáticos da captação de água de chuva no estado de pernambuco. Revista de Geografia, Vol. 22, N, 96-113. Retrieved from <http://www.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/viewArticle/51>
- [10]-IUSS Working Group WRB. 2006. World reference base for soil resources 2006.
- [11]-MAGAIA, E. J. 2006. Remote Sensing and GIS for Reservoir Water Assessment and Flood Mapping in the Incomati Basin. UNESCO-IHE. Institute for Water Education. Netherlands.
- [12]-MINISTÉRIO PARA A COORDENAÇÃO DA ACÇÃO AMBIENTAL. 2002. Plano de acção Nacional de Combate à seca e à desertificação, 1-88.
- [13]-RELMA in ICRAF & UNEP. 2005. Potential for Rainwater Harvesting in Africa: A GIS Overview. Volume I.
- [14]-RELMA in ICRAF. 2005. Water from ponds, pans and dams: a manual on planning, design, construction and maintenance. Technical handbook No 32.
- [15]-SENTELHAS, P. C.; FOLEGATTI, M. V. 2003. Class A pan coefficients (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (Eto). Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental. V-7. Campina grande.
- [16]-VIANNA, R. C., JUNIOR, C. C. V., & VIANNA, R. M. 2005. Os recursos de água doce no mundo-situação, normatização e perspectiva. Juris, Rio Grande, 11, 247-269.
- [17]-WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of the American Meteorological Society, Lancaster, v.63, n.11, p.1309-1313, 1982.