

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ANÁLISE DE UMA REGIÃO SALINIZADA UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E SIG'S

Soraia Arruda Cipriano¹; Jonathan Alves Rebouças²; Laldiane de Souza Pinheiro³ & Cristian Epifânio de Toledo⁴

RESUMO – Os problemas de salinidade são demasiados perigosos para o mantimento da produtividade de uma região. Além desse problema grave, se torna muitas vezes muito oneroso monitorar regiões que sofrem com esse mal em campo. Para diminuir os problemas de monitoramento se faz necessário técnicas de sensoriamento remoto e a utilização de ferramentas SIGs que tornem esse processo de monitoramento mais eficiente e prático. Esse trabalho mostra que a utilização de uma única banda não é a forma mais eficiente de monitoramento de regiões salinizadas. A modelagem com ponderação dos valores de várias bandas se mostrou a forma mais eficiente de avaliação de regiões com maior potencial de salinização.

ABSTRACT - Salinity problems are too dangerous for keeping the productivity of a region. In addition to this serious problem often becomes very costly to monitor places of suffering harm in this field. To reduce the problems of monitoring is needed remote sensing techniques and the use of GIS tools that make this monitoring process more efficient and practical. This work shows that the use of a single band is not the most efficient monitoring regions saline. The modeling of the weighted values of several bands proved the most efficient assessment of regions with the greatest potential for salinization.

Palavras Chave – Sensoriamento Remoto, SIG's, Salinização.

INTRODUÇÃO

A salinidade do solo pode não ser tão dramática e prejudicial como terremotos ou deslizamentos de terra em larga escala, mas é certamente um grave problema ambiental (Metternicht e Zinck (2003)). No Nordeste do Brasil, são mais de nove milhões de hectares com problemas de salinidade e/ou alcalinidade. Na Bahia, encontra-se a maior área de solos afetados por sais, cerca de 40% de áreas salinizadas, seguida pelo Ceará, com aproximadamente 25,5% (Fageria e Gheyi (1997)). A salinização natural, ou primária, resulta de processos naturais de influência de longo prazo (Eldiery e Garcia La (2005)).

¹SaneController engenharia e meio ambiente, Rua Nunes Valente, 674 – Meireles - Fortaleza-CE, fone: (85) 3261.5664, e-mail: soraiacipriano@hotmail.com

²Departamento de Engenharia Agrícola-UFC: Campus do Pici - Bloco 804 – Fortaleza-CE, fone: (85) 3366.9757, fax: (85) 3366 9755, e-mail: jonalvesreboucas@bol.com.br

³ Departamento de Engenharia Agrícola-UFC: Campus do Pici - Bloco 804 – Fortaleza-CE, fone: (85) 3366.9757, fax: (85) 3366 9755, e-mail: laldiane.pinheiro@gmail.com

⁴Departamento de Engenharia Agrícola-UFC: Campus do Pici - Bloco 804 – Fortaleza-CE, fone: (85) 3366.9757, fax: (85) 3366 9755, e-mail: cristianepifanio@yahoo.com.br

Os dados de sensoriamento remoto têm grande potencial para monitorar processos dinâmicos, incluindo salinização (Garcia *et al.*, (2000)). Porém, nem todos os dados oferecem a mesma possibilidade de identificar as áreas afetadas por sais e monitorar suas evoluções (Metternicht e Zinck (2003)). Boas medidas para a aquisição de dados de sensoriamento remoto levam em conta que a identificação do sal é mais fácil no fim da estação seca, já que o sal se dissolve durante a estação chuvosa (Metternicht e Zinck (2003)).

Uma ferramenta indicada para se trabalhar com dados obtidos por sensoriamento remoto são os SIG's (Sistemas de Informação Geográfica). Estes são sistemas de hardware, software, informação espacial e procedimentos computacionais que permitem e facilitam a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenômenos que nele ocorrem. O uso dessa formidável ferramenta pode trazer economia e praticidade as pesquisas em larga escala.

Os procedimentos que envolvem SIG na identificação de áreas que sofrem com problema de salinização envolvem, sobretudo, ferramentas geoestatísticas e álgebra de bandas (Garcia *et al.*, (2000)). A busca da melhor banda que se ajuste a modelagem de identificação de áreas salinas é uma das maiores preocupações de pesquisadores em todo o globo (Sanaei Nejad *et al.* (2009)). O uso de algumas plataformas para aquisição de dados já tem sido consolidadas como eficientes no monitoramento de solos salinizados, tais como LANDSAT, SPOT e o (IRS) sensoriamento remoto indiano (DWIVEDI e RAO (1992); Garcia *et al.*, (2000)).

MATERIAL E MÉTODOS

As análises foram realizadas com base em uma imagem colhida pelo satélite LANDSAT 5, sensor TM. As imagens foram baixadas do sítio do INPE <http://www.dgi.inpe.br>. A imagem colhida é datada do dia 11 de novembro de 2009, foi georeferenciada nas coordenadas UTM, DATUM SAD69. A imagem abrange parte da bacia do Banabuiú. A região de interesse é uma sub-bacia do Banabuiú de área 450 km².

Os softwares utilizados foram o ENVI 4.3 e ArcView GIS 9.3. O primeiro foi utilizado para realizar a classificação das imagens, georeferenciá-las, calcular o NDVI e realizar razão de bandas. O segundo foi utilizado para realizar a interpolação dos dados de precipitação disponibilizados para a área, baixados direto do sítio da FUNCEME para o ano de 2009. Também foi realizada no mesmo software a aplicação de dois modelos para predizer o potencial de salinidade da região (Garcia *et al.*, (2000)), bem como a análise da refletância das bandas (Moreira (2007)) e a validação do modelo para a área de estudo.

Tabela 1 - Dados pluviométricos colhidos no sítio da FUNCEME

Municípios	Postos	Latitude	Longitude	Anos	Total (mm)
Quixeramobim	Saomiguel	9410463	443369	2009	1157
Quixeramobim	Uruque	9432592	481527	2009	881
Senador pompeu	Senador pompeu	9381610	458161	2009	1069.5
Quixeramobim	Quixeramobim	9425218	468600	2009	1079.5
Pedra branca	Pedra branca	9396314	419379	2009	863.5
Quixeramobim	Passagem - fogareiro	9429505	448280	2009	957.6
Pedra branca	Mineirolandia	9383428	429855	2009	1059
Quixeramobim	Manituba	9422127	437203	2009	1328.7
Quixeramobim	Lacerda	9396311	417532	2009	960
Quixeramobim	Encantado	9390826	465539	2009	1258.5
Senador pompeu	Bonfim	9388970	445234	2009	1021
Quixeramobim	Belem	9414784	417532	2009	848
Pedra branca	Acudetrapia	9396314	417532	2009	1141.7
Boa viagem	Piedade	9417813	423047	2009	1281
Boa viagem	Jacampari	9471828	397113	2009	680
Boa viagem	Ibuacu	9467547	411905	2009	1196
Boa viagem	Boa viagem	9432549	419336	2009	1199.1

O primeiro passo do trabalho consistiu na utilização de dois modelos propostos já testados em trabalhos do mesmo gênero (Garcia *et al.*, (2000)) Os modelos de regressão se baseiam na combinação linear de bandas. O primeiro é o Ordinary least square (OLS) ou modelo dos quadrados mínimos. Já o segundo spatial auto-regressivo (SAR) que é a auto-regressão espacial, mais um modelo baseado em métodos de regressão linear. A diferença básica entre os modelos são as bandas utilizadas. O modelo SAR propõe predizer as regiões salinizadas com bem menos bandas que o modelo OLS. Esses modelos foram considerados, por muitos autores, os melhores para as respectivas bandas utilizadas. Seguem abaixo as equações dos modelos:

$$\text{OLS} = 8.5537 + 0.0099 * \text{BB} - 0.87 * \text{IR} - 5.1164 * \text{NDVI} + 0.8918 * \text{IR/R}. \quad (1)$$

$$\text{SAR} = 9.6914 - 0.0047 * \text{IR} - 8.3907 * \text{NDVI} + 0.8743 * \text{IR/R}. \quad (2)$$

Onde,

BB – Banda Azul;

IR – Banda Infravermelha;

NDVI – Índice Normalizado de Vegetação;

R – Banda Vermelha;

Após a utilização dos modelos realizou-se a classificação da imagem LANDSAT. Foram testadas várias combinações sugeridas por outros autores (Sanaei Nejad *et al.* (2009)). A primeira combinação testada foi a combinação (4,3,2). Realizaram-se vários testes modificando o número máximo de classes que o software poderia gerar. O número mínimo de classes foi 5, fixado,

enquanto o número máximo de classes foram 5, 10, 15 e 20. Realizou-se o teste para verificar qual o melhor número de classes para identificar as áreas salinizadas. Esse teste inicial foi realizado somente para a combinação (4,3,2), para as demais bandas escolheu-se a divisão de 20 classes. As demais bandas testadas foram (IR/R), banda azul ou banda 1, NDVI e IR.

Foram utilizados também dados de precipitação do ano de 2009 para verificar as regiões que possuem maior possibilidade de lixiviação de sais. Consideraram-se as regiões que ocorreram maior precipitação como as regiões com menor potencial de salinidade. A interpolação dos dados foi feita no software ArcGIS 9.3 pelo método do vizinho mais próximo.

Em seguida calculou-se o albedo de superfície. Depois de calculado o albedo comparou-se as regiões salinas e as que estavam ao redor para verificar a diferença no albedo e sua influência no monitoramento da salinidade.

Esse trabalho inicial foi feito em toda a sub-bacia para verificar o comportamento das variáveis estudadas em uma escala menor. Para tal gerou-se um MNT (modelo numérico de terreno) e a partir dele criou-se um gráfico para verificar a mudança brusca que ocorre nas variáveis estudadas quando se depara com um solo potencialmente salinizado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As bandas que foram testadas no método de classificação foram escolhidas por estarem no modelo adotado para teste nesse trabalho.

O primeiro teste foi realizado com a combinação (4,3,2), Figura 1. Com essa combinação realizou-se a variação de classes para verificar a dinâmica na distinção das áreas salinizadas. À medida que se modificavam os números de classes iam crescendo as distinções entre as áreas salinizadas, as nuvens e os solos expostos. Para 5 e 10 classes a região salinizada continha 2 classes, o percentual era em média 40% da região, superestimando a região salina. Deve-se notar que a cobertura de nuvem tem uma média de 30% da imagem. Algo importante que se notou foi que para esse número de classes a classificação não fazia qualquer distinção entre região salinizada e solo exposto. A medida que se aumentavam o número de classes observava-se uma maior distinção entre áreas salinas, cobertura do céu e solo exposto. Para 15 classes o número de classes que predizia a região salina eram 4, perfazendo um percentual menor que 40% da região, a cobertura do céu, nessa faixa, já não era tão expressiva na classificação. Ao se alcançar o número 20 de classes, houve uma queda brusca no percentual, e uma classe foi retirada dentre as que explicam a região salina, o percentual de região salina predito era cerca de 20%, sendo que a classe que correspondia a 7% desse total representava uma região com alto teor de salinidade. Essa região mais clara se confundia com a região de solo exposto.

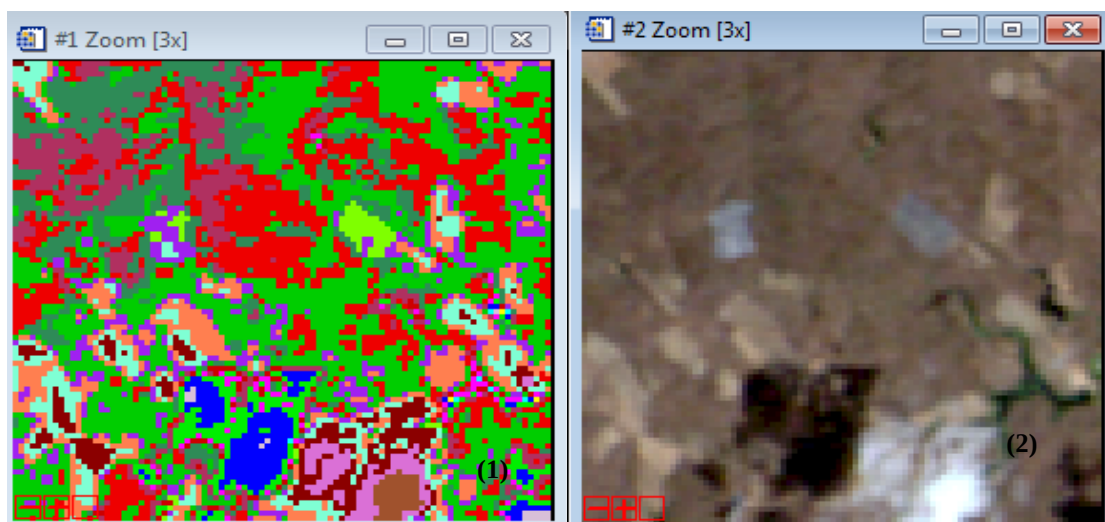


Figura 1- (1) Classes que predizem os solos salinos com a combinação 4,3,2. (2) mostra a região tomada para análise, pode-se verificar facilmente que os dois pontos brancos são regiões salinizadas.

Durante a classificação da combinação IR/R, Figura 2, houve ótima resposta. Bastou uma classe para representar a região salinizada. O maior problema encontrado foi devido a ter posto nuvens e sombras na mesma classe. Sobretudo, diferenciou muito bem a região salinizada da de solo exposto. O Percentual estipulado para a região salinizada foi cerca de 17%.

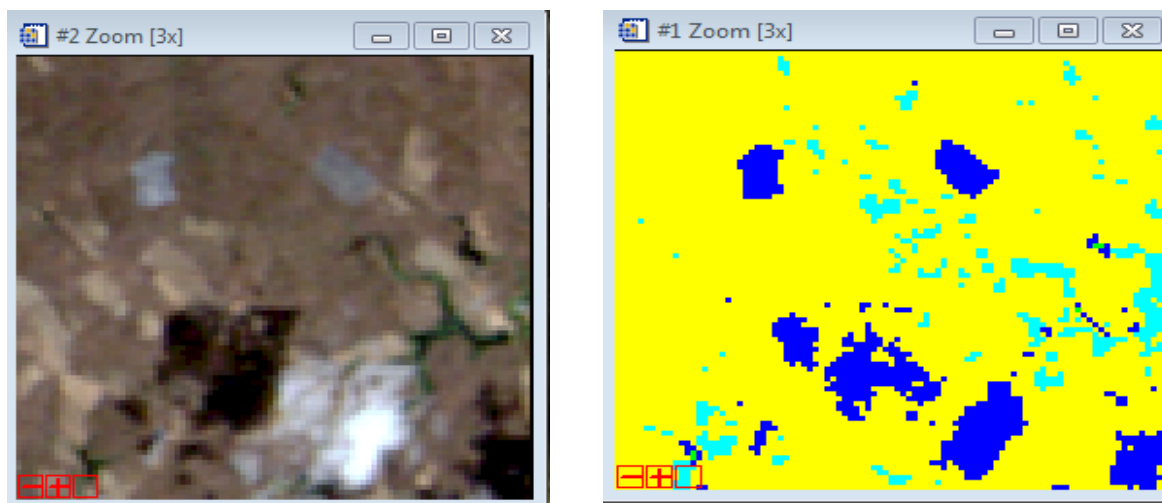


Figura 2 –Classificação utilizando a razão de bandas IR/R. Essa classificação mostra uma análise objetiva da região salinizada.

A combinação NDVI seguiu a mesma tendência da combinação mencionada acima, Figura 3. Uma classe foi suficiente para identificar a região salinizada. A confusão com as nuvens foi menor, somente o colmo das nuvens apresentou mesma classificação que a região salinizada. Dentre as combinações estudadas, foi a que mostrou maior distinção entre os elementos complicadores. Os valores de NDVI encontrados nas regiões salinizadas apresentaram valores negativos da ordem de

10^{-2} , mesma ordem do encontrado nas nuvens. A classe que predisse a salinidade com essa combinação correspondeu a 4,9% da região. Esse valor parece se aproximar do valor real se levarmos em conta que na combinação IR/R os 17% incluíam parte das nuvens e sombras. A região verde que contorna a região salinizada representa zona de solo exposto, por isso não foi classificada como salinizada.

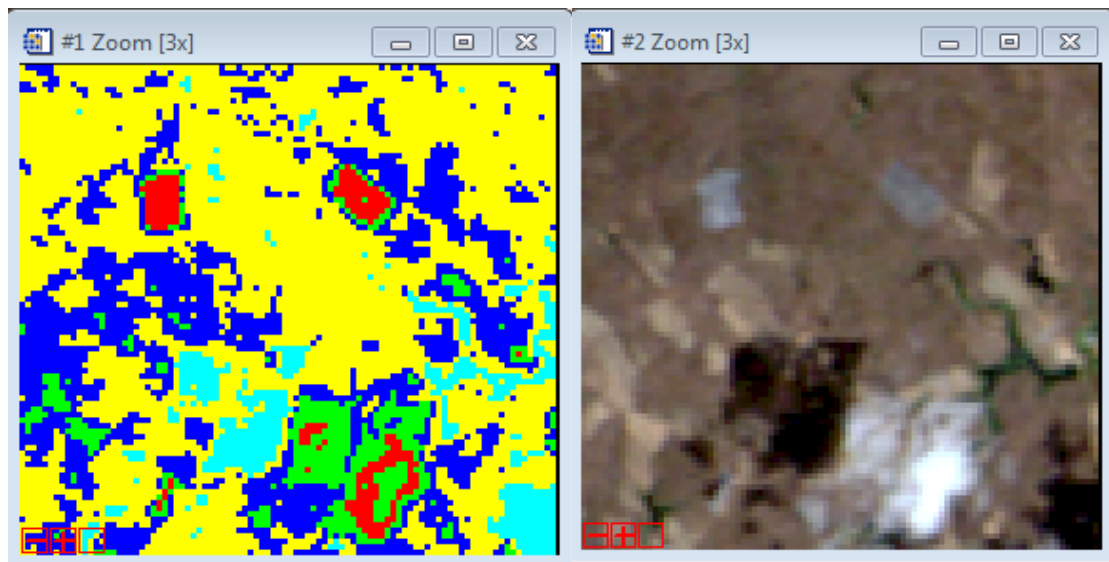


Figura 3 - A classificação utilizando NDVI mostra clara diferença entre regiões salinizadas e as demais regiões ao redor.

A classificação feita sobre a banda azul, ou banda 1, diferenciou bem as nuvens e o solo exposto da região salinizada, Figura 4. O maior problema dessa banda residiu no fato de colocar na mesma classe, solo exposto e salino. As classes que se encontravam dentro da região salinizada eram três, perfazendo um total médio de 27%. Essa classificação feita na banda azul irá servir para explicar a diferença entre as tendências dos modelos analisados.

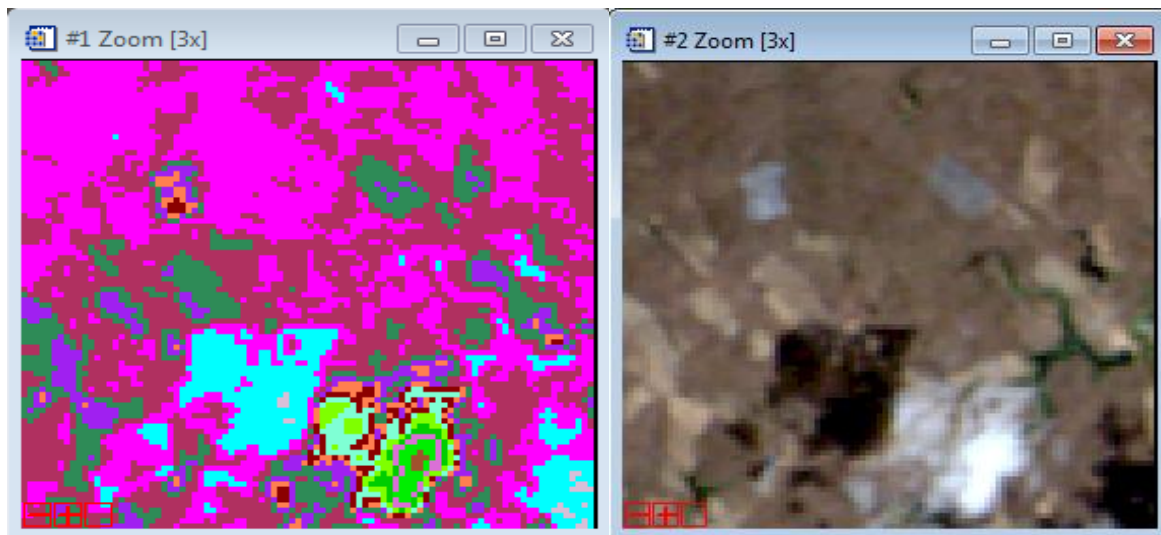


Figura 4 – Análise feita na banda azul. Apesar de fazer clara distinção entre as nuvens ela divide o solo salino em muitas classes.

A última classificação foi feita sobre a banda do infravermelho próximo, ou banda 4, Figura 5. Essa, por sua vez, confundiu a região salina com algumas porções de solo exposto. Sua maior vitória foi à diferenciação das nuvens e o pequeno número de classes que explicou a região salinizada, num total de duas, perfazendo um total de 4 a 5% da região.

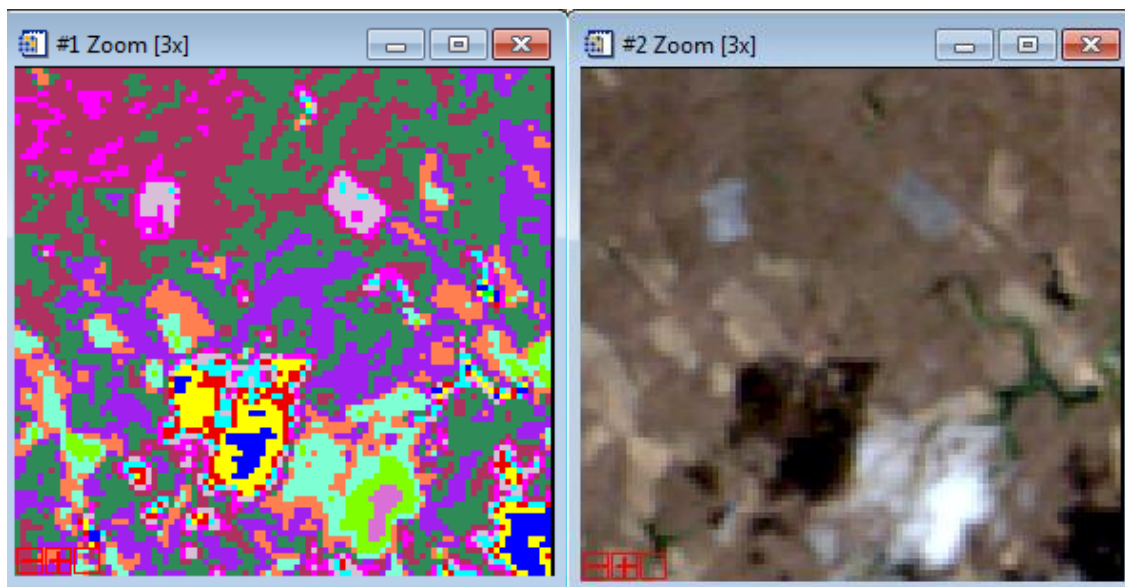


Figura 5—Classificação utilizando banda infravermelho próximo..

A diversidade das bandas mostra que nenhuma dessas combinações deve ser utilizada de forma isolada para prever uma região salinizada. Uma melhor estratégia para encontrar regiões salinizadas é a combinação dessas bandas. Devido ao fato de algumas bandas superestimarem e

outras subestimarem as regiões salinizadas, faz-se necessária uma ponderação nos coeficientes de um modelo que prediga a situação salina do solo. Os modelos que aqui foram adotados fazem essa ponderação.

Tabela 2 – Discriminação da eficiência de cada banda em prever regiões salinizadas.

BANDAS	Nº de classes	Sessão salina (%)	Características
Banda 1	3	21,914	Diferencia nuvens, confunde-se com solo exposto.
Banda 4	2	4,482	Diferencia bem as nuvens.
IR/R	1	17,462	Pôs na mesma classe das nuvens e suas sombras. Diferenciou do solo exposto.
(4,3,2)	3	18,238	Confundiu-se, muitas vezes, com solo exposto.
NDVI	1	4,9	Difere quase que totalmente das nuvens.

O modelo de predição da salinidade do solo OLS, conseguiu prever bem alguns pontos de salinidade alta, mas para pontos de baixa salinidade sua eficiência não pode ser verificada. Sua função era dar os valores de condutividade elétrica do solo. Todavia, devido a pouca quantidade de dados para a calibração do modelo ele foi utilizado para estudar o potencial de salinidade do solo. Alguns pontos se destacaram nessa análise, sobretudo os de altíssima salinidade. O modelo rodado criou uma faixa de grande potencial de salinização e outra de baixo potencial de salinização. Os contornos das regiões vegetadas foram bem exploradas pelo modelo, assim como as regiões de alta declividade. A análise da distribuição das chuvas aponta esse modelo como o mais coerente. A influência da banda azul nesse modelo é evidente, ela é de fundamental importância na sua distinção do modelo SAR. A figura 6 mostra o mapa gerado com o modelo OLS.

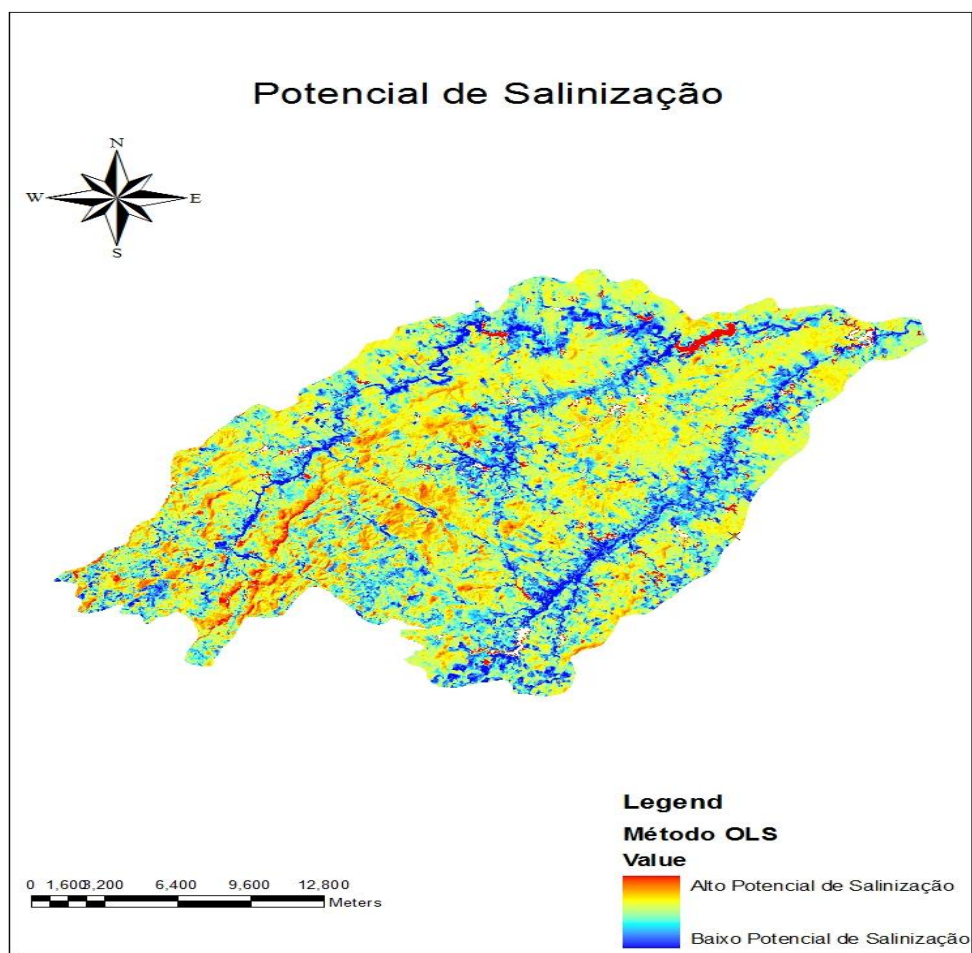


Figura 6–Mapa de potencial de salinização do solo gerado pelo modelo OLS.

O segundo modelo utilizado para a predição da salinidade do solo, foi o modelo SAR, Figura 7. A característica desse modelo foi a não extremização dos valores. Seus valores entre regiões de alto potencial e de baixo potencial de salinização alcançaram valores próximos. As regiões preditas pelos dois modelos condizem qualitativamente. As regiões que alcançaram extremos foram as de encostas. Isso ficou evidente em ambos os modelos.

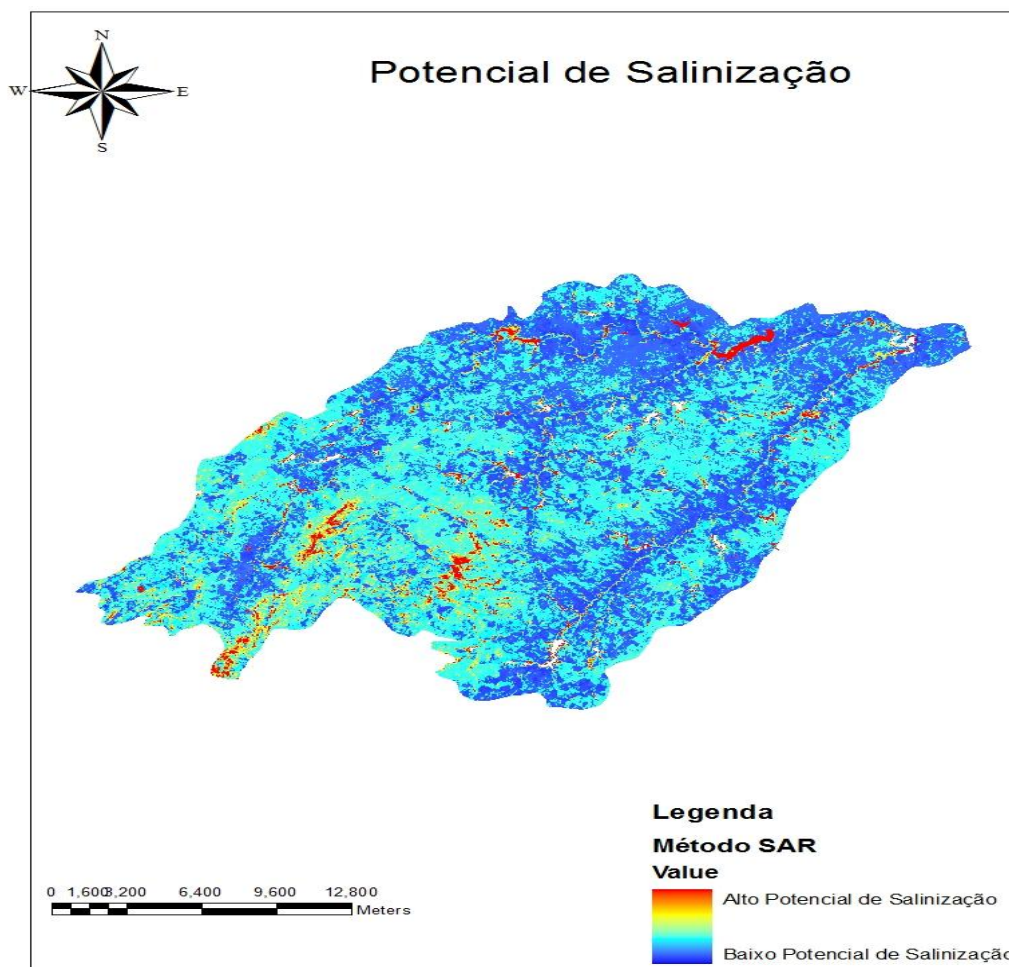


Figura 7 - Mapa de potencial de salinização do solo gerado pelo modelo SAR.

Outra análise feita para verificar a salinidade da região foi o cálculo do albedo, Figura 8. Os valores de albedo encontrados para a sub-bacia foram satisfatórios. Como em geral os valores do albedo alcançaram valores de 0,55. Alguns valores de albedo negativo foram achados, esses valores representam falhas na imagem. Os valores das regiões que os modelos apontaram como salinizadas tiveram albedo entre 0 e 0,2, somente as regiões de alto grau de salinidade albedo superior a 25%, confirmando o risco previsto pelo modelo.

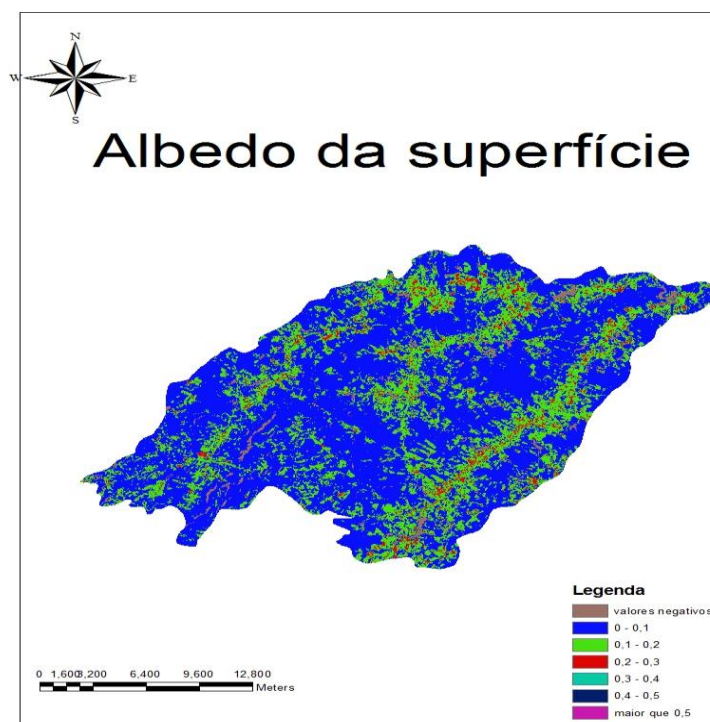


Figura 8—Mapa de albedo estimado para a região

O último mapa gerado para a região foi o de distribuição pluviométrica, Figura 9. Em alguns pontos foi confirmada a previsão feita pelos modelos, nas regiões que choveu pouco havia um alto grau de salinidade, já o oposto ocorria nas regiões de grande precipitação acumulada.

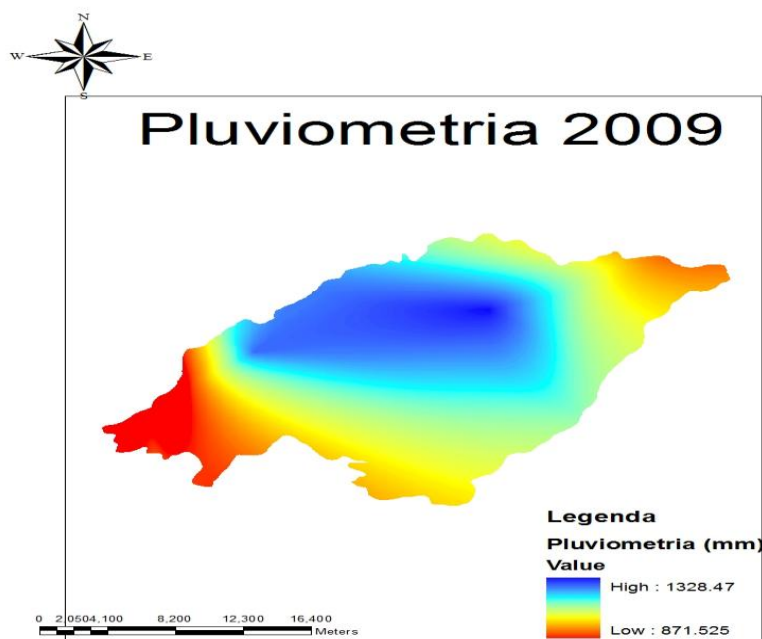


Figura 9 - Distribuição pluviométrica para os meses de janeiro a outubro de 2009

A verificação em uma escala menor ofereceu resultados melhores. Os gráficos montados a partir do modelo numérico mostraram algumas características vistas em escala maior, Figuras 11 e 12. O ponto chave da análise foi a verificação das flutuações encontradas no modelo OLS, Figura 11. O albedo assim como a pluviometria seguiu a tendência esperada, Figura 13. A pluviometria teve uma declividade suave devido a interpolação dos dados, Figura 14. Essa análise mostrou que os modelos indicaram uma tendência correta na análise em pequena escala. Essa análise mostra que além dos fatores serem considerados deve-se verificar essa mudança brusca nos valores das variáveis analisadas, mostrando ser um ótimo indicador de regiões salinizadas.

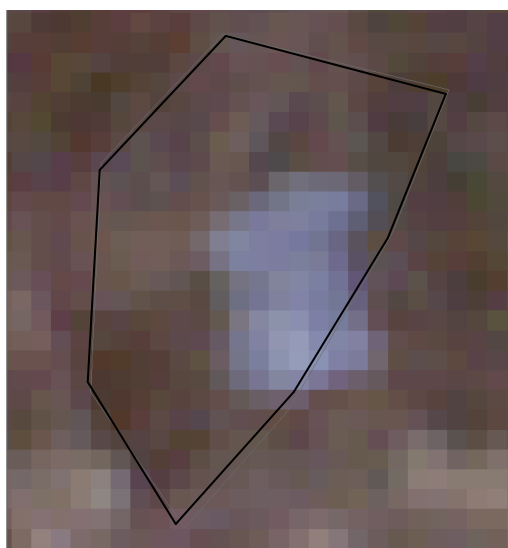


Figura 10—Região Salinizada monitorada para estudo.

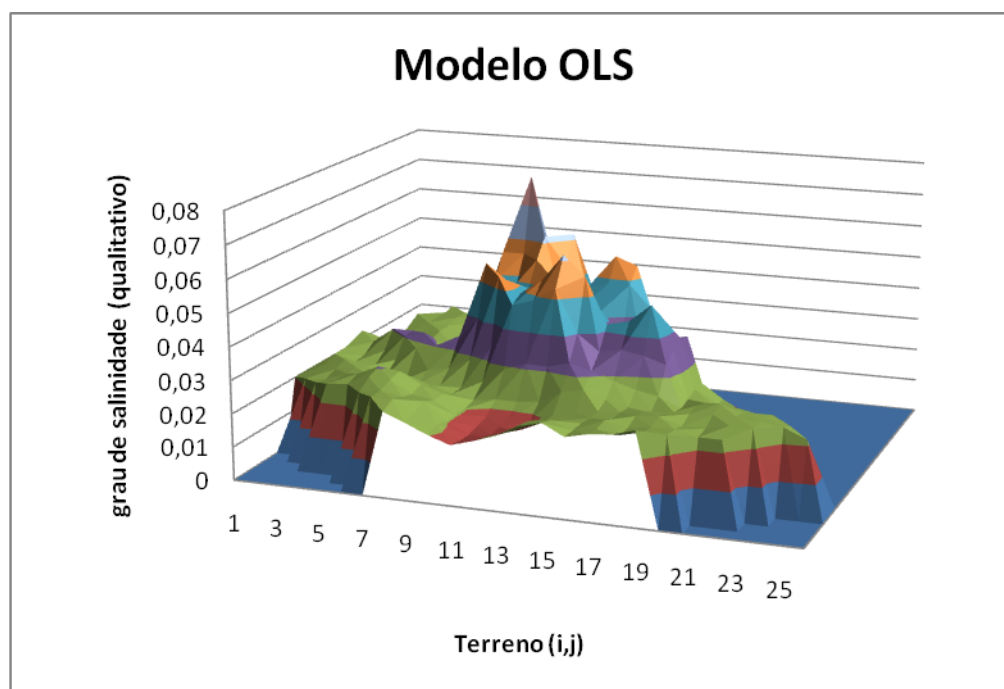


Figura 11 - Gráfico mostrando tendência geral do modelo e suas flutuações.

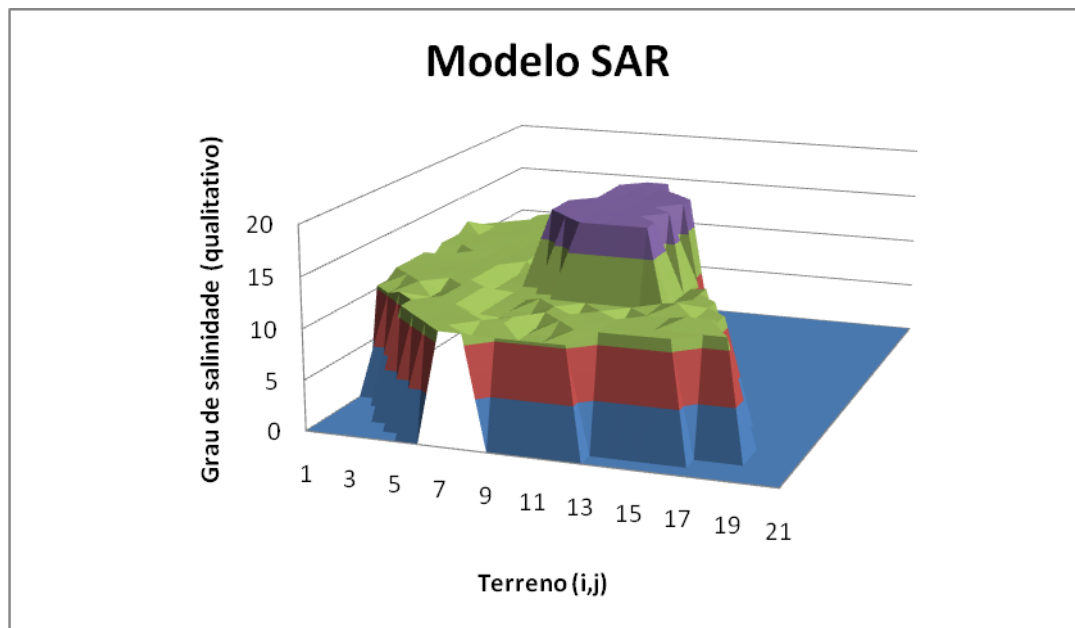


Figura 12 - Gráfico mostrando tendência geral do modelo e suas flutuações.

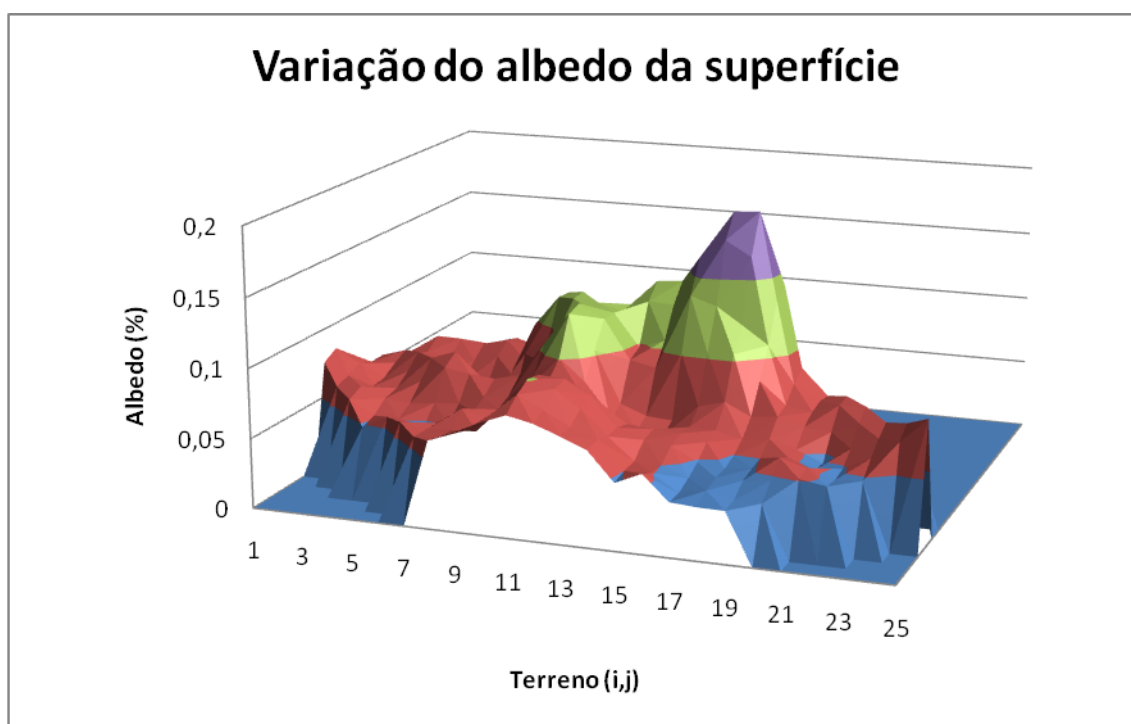


Figura 13 - Gráfico mostrando tendência geral do albedoe suas flutuações..

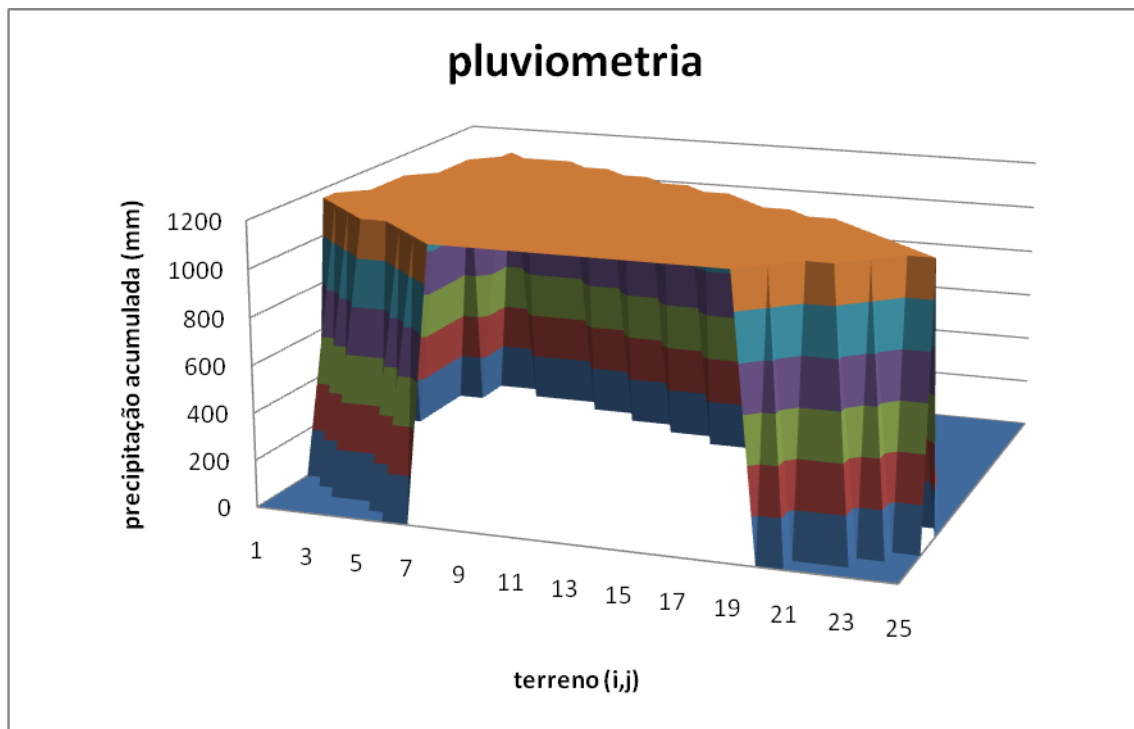


Figura 14 - Os dados de pluviometria mostram uma tendência decrescente na direção da região salinizada, isso é mais uma evidência da salinização da região.

CONCLUSÕES

Esse trabalho mostra a aplicação de dois modelos não calibrados usados para verificar o potencial de salinização de um solo.

Esse trabalho serviu para reforçar o uso de técnicas de sensoriamento remoto e SIGs na predição de áreas salinas, bem como sua eficiência. Algo importante de se notar é a diferença que uma banda pode trazer para um modelo, fazendo seus valores flutuarem mais ou menos. E por fim a análise de um MNT para verificar as mudanças bruscas no comportamento de certas variáveis pode ser um forte indicador para a descoberta de regiões salinas ou mesmo regiões que sofram de algum problema ambiental.

O trabalho deixa margem para a calibração de um modelo para a região semiárida. Porém, isso demanda análise em campo associado ao uso de SIG's.

BIBLIOGRAFIA

- DWIVEDI, R. S.; RAO, B. R. M. (1992). "The selection of the best possible Landsat TM band combination for delineating salt-affected soils". *International Journal of Remote Sensing*, v. 13, n. 11, p. 2051-2058. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431169208904252>>. Acesso em: 1/7/2012.
- ELDIERY, A.; GARCIA, LA. (2005). "Estimating soil salinity from remote sensing data in corn fields". *HydrologyDays*, , n. 970, p. 31-42. Disponível em: <http://www.hydrologydays.colostate.edu/papers_2005/ahmed_paper.pdf>. Acesso em: 1/7/2012.
- GARCIA, LUIS; ELDEIRY, A.; ELHADDAD, A.(1994)."EstimatingSoilSalinityUsing Remote Sensing Data". *ksre.ksu.edu*, , n. 1994, p. 1-10, 2000. Disponível em: <http://www.ksre.ksu.edu/pr_irrigate/OOW/P05/Garcia.pdf>. Acesso em: 1/7/2012.
- METTERNICHT, G. .; ZINCK, J. (2003). "Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints". *Remote Sensing of Environment*, v. 85, n. 1, p. 1-20. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425702001888>>. Acesso em: 13/3/2012.
- MOREIRA, L. C. J. (2007)."Estimativa Da Evapotranspiração Horária Usando Algoritmo Sebal E Imagens Landsat 5-Tm", Monografia.
- SANAEI NEJAD, S. H.; ASTARAEI, A. R.; MOUSAVI, P. M.; GHAEMI, M.(2009)."Selection of best band combination for soil salinity studies using ETM+ satellite images (A Case study: Nyshaboor region,Iran)". *International Conference on Geographic Information Systems*. Anais... .