XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE
XVIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

MONITORAMENTO DA DINÂMICA COSTEIRA COM IMAGENS LIVRES DE NUVENS E SOMBRAS: BAÍA DA TRAIÇÃO – PB

Maria Emília Pontes [1]; Antônio Edmilson de Alcântara Dantas[2];
Celso Augusto Guimarães Santos[3]; Maria Cecilia Silva Souza[4]

RESUMO – As zonas costeiras concentram ecossistemas diversos e atividades econômicas relevantes, e o monitoramento da variação da linha de costa é essencial para a compreensão dos processos erosivos e de seus impactos ambientais. Esta pesquisa buscou avaliar o uso de imagens orbitais com nuvens e sombras removidas no monitoramento da dinâmica costeira da Baía da Traição, no litoral norte da Paraíba, região em que a alta incidência de nebulosidade dificulta a modelagem por sensoriamento remoto. Foram utilizadas 42 imagens da série Landsat (1984–2025), processadas com a rede neural DeepWaterMap, para a classificação água/terra, e com o detector de bordas de Canny, para a extração das linhas de costa, posteriormente analisadas no *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). Os resultados indicaram predomínio do processo erosivo, com taxa média de −0,29 m/ano (EPR), destacando-se o transecto 94 como a área mais crítica, com recuo máximo de −80,29 m (NSM). Setores de acreção também foram identificados, com avanço máximo de 88,10 m. A metodologia mostrou-se eficaz para a análise da dinâmica de regiões costeiras, subsidiando previsões futuras e ações de planejamento e gestão dessas áreas.

Palavras-Chave – Erosão costeira; Sensoriamento remoto; Linha de costa.

ABSTRACT – Coastal zones concentrate diverse ecosystems and relevant economic activities, and monitoring shoreline variation is essential for understanding erosion processes and their environmental impacts. This study aimed to evaluate the use of cloud- and shadow-free orbital images for monitoring coastal dynamics in Baía da Traição, on the northern coast of Paraíba, Brazil, a region where high cloud cover hinders remote sensing-based modeling. A total of 42 Landsat images from 1984 to 2025 were used, processed with the DeepWaterMap neural network for water/land classification and with the Canny edge detector for shoreline extraction. The extracted shorelines were subsequently analyzed using the Digital Shoreline Analysis System (DSAS). The results indicated a predominance of erosion, with a mean rate of −0.29 m/year (EPR), highlighting transect 94 as the most critical area, with a maximum retreat of −80.29 m (NSM). Accretion sectors were also identified, with a maximum advance of 88.10 m. The methodology proved effective for analyzing the dynamics of coastal regions, supporting future predictions and planning and management actions in these areas.

Keywords – Coastal erosion; Remote sensing; Coastline.

[1] Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Campus I – Castelo Branco, João Pessoa-PB, CEP 58051-900. E-mail: maria.emilia.pontes@academico.ufpb.br.
[2]Mestrando em Engenharia civil e Ambiental - PPGECAM, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Campus I – Castelo Branco, João Pessoa-PB, CEP 58051-900. E-mail: antonioedmilson000@gmail.com.
[3] Professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Campus I – Castelo Branco João Pessoa-PB, CEP 58051-900. E-mail: celso@ct.ufpb.br.
[4]Doutora em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, Prodema (PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE) Campus I – Castelo Branco, João Pessoa-PB, CEP 58051-900. E-mail: ceciliasilvalegat@gmail.com.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a zona costeira representa uma região geográfica de transição entre a massa terrestre continental e o ambiente marinho (Brasil, 2010). Sua paisagem litorânea é intensamente ocupada e vem se tornando cada vez mais procurada (Silva, 2017). Devido a esse crescente desenvolvimento, as áreas costeiras tornaram-se mais vulneráveis a processos como a erosão, que ocorre de forma gradual (Nascimento, 2023).

Deve-se destacar que as atividades humanas nas zonas costeiras são diversas; porém, o crescimento urbanístico desordenado é propulsor de vários impactos relevantes (Oliveira, 2010). Análises relacionadas à dinâmica costeira do estado da Paraíba revelam que grande parte das atividades antrópicas realizadas na faixa costeira está relacionada ao turismo, uma atividade representativa para o PIB (Produto Interno Bruto) do estado da Paraíba, mas que também potencializa o uso dessa área. No município de Baía da Traição, observa-se carência de estudos sobre a zona costeira (Santos et al., 2021).

Nesse contexto, busca-se apresentar uma análise que permita observar, com o uso de sensoriamento remoto, a variabilidade da costa do município, que vem enfrentando diversos problemas de ocupação em sua faixa costeira. O sensoriamento remoto vem se consolidando como ferramenta essencial no desenvolvimento de modelagens e estudos na área de recursos hídricos, ao disponibilizar dados de vastas áreas em extensos intervalos de tempo. Por meio dessa tecnologia, é possível monitorar as mudanças temporais da linha de costa e compreender os processos físicos desse ambiente, proporcionando instrumentos valiosos para o planejamento e a gestão das zonas costeiras (Maselli, 2004; Drakopoulos et al., 2014; Jiang et al., 2016).

A absorção e o espalhamento são fenômenos que alteram a intensidade e a direção da radiação eletromagnética, o que pode tornar um projeto de sensoriamento remoto inviável, restringindo os estudos às chamadas janelas atmosféricas, regiões de baixa absorção. Disso decorre uma limitação significativa no uso do sensoriamento remoto: a presença de nuvens e sombras nas imagens capturadas por satélites, que interfere notavelmente nos processos de modelagem. Dessa forma, a remoção automatizada de nuvens e sombras pode tornar as imagens de sensoriamento remoto mais claras e eficazes para o monitoramento da linha de costa, da erosão e das mudanças na paisagem.

Nesse cenário, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise espaço-temporal da dinâmica da linha de costa da Baía da Traição (PB), região com alta incidência de nuvens, por meio do software *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), aplicado após um método otimizado de remoção automática de nuvens e sombras. O DSAS é amplamente utilizado por pesquisadores de diferentes países para investigar a dinâmica da linha de costa, uma vez que a ferramenta integra

diversos métodos estatísticos específicos para mensurar alterações em sua posição (Santos et al., 2021).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Detecção e remoção de nuvens e sombras

Para a detecção de nuvens e sombras, Zhu e Woodcock (2012) apresentam um método baseado no uso de imagens do satélite Landsat. O procedimento considera as propriedades físicas das imagens para identificar áreas com potencial presença de nuvens e sombras, utilizando tanto imagens de reflectância no topo da atmosfera quanto imagens de temperatura. As possíveis nuvens são então relacionadas às suas respectivas sombras, gerando máscaras de nuvens e sombras. Além disso, filtros são aplicados para distinguir os pixels de nuvens dos demais, empregando a reflectância de diferentes bandas e índices espectrais. As regiões potenciais de sombra são mapeadas por meio da transformação morfológica *Flood-Fill*, e sua localização é inferida a partir da geometria entre nuvens e sombras.

Champion (2012), por sua vez, propõe um método de crescimento de regiões para a detecção de nuvens em imagens multitemporais. Nesse processo, sementes de nuvens são identificadas por análise pixel a pixel entre as imagens, seguida por uma etapa de crescimento de regiões para extrair nuvens e sombras, cuja validação é realizada considerando o ângulo de elevação solar e a altura das nuvens. Diferentes algoritmos de detecção de nuvens já foram comparados e validados para produtos operacionais da série Landsat (Foga et al., 2017).

2.2 Aquisição dos dados de satélite

A região costeira analisada no município de Baía da Traição, no litoral norte do estado da Paraíba, possui aproximadamente 8,5 km de extensão. Foram utilizadas imagens multitemporais da série Landsat, visto que essa constitui a maior e mais antiga série temporal de imagens orbitais. As imagens foram acessadas por meio da plataforma *Google Earth Engine* (GEE). A Tabela 1 apresenta o número de imagens utilizadas e os respectivos satélites.

Tabela 1 – Registro de dados

Anos	Satélite	Número de imagens
1984–2011	Landsat 5	26
2008, 2009 e 2012	Landsat 7	3
2013–2025	Landsat 8	13

As cenas selecionadas compreendem o período de 1984 a 2025, totalizando 42 cenas, das quais foi extraída a respectiva linha de costa. Buscou-se selecionar, para cada ano, imagens referentes ao

mês de maio ou a meses próximos, pertencentes ao mesmo período sazonal, a fim de minimizar as variações sazonais (Santos et al., 2021). Em alguns casos, entretanto, isso não foi possível em razão da qualidade da imagem no mês inicialmente selecionado.

2.3 Extração da linha de costa

Inicialmente, foi empregado o DeepWaterMap, uma rede neural convolucional profunda treinada para segmentar águas superficiais em imagens multiespectrais. O modelo é implementado principalmente em Python, com o uso de bibliotecas de *deep learning*, e analisa padrões espectrais (cores) e espaciais (formas e texturas) para classificar cada pixel como água ou não água. O algoritmo apresenta alta precisão na detecção, mesmo em regiões com ruído atmosférico ou interferências, como nuvens finas ou neblina (Isikdogan et al., 2017; Isikdogan et al., 2019).

Após a obtenção dos dados de saída para todas as imagens, observou-se que o modelo atribui a cada pixel uma probabilidade, variando de 0 a 1, de corresponder à água: pixels de água apresentam valores iguais ou próximos de 1, enquanto pixels de não água apresentam valores iguais ou próximos de 0. Isso permite visualizar o intervalo de transição entre a água e a terra na região de interesse, correspondente à própria linha de costa.

Em seguida, foi aplicado o detector de bordas de Canny, um dos algoritmos mais utilizados em processamento de imagens e visão computacional, por oferecer equilíbrio entre detecção precisa, redução de ruídos e localização exata das bordas. O método consiste nas seguintes etapas: redução de ruído, cálculo do gradiente de intensidade, supressão não máxima, limiar duplo e rastreamento de bordas por histerese (Canny, 1986).

2.4 Processamento das linhas de costa no DSAS

Após a obtenção das linhas de costa, as imagens processadas foram inseridas no QGIS e, no ambiente de SIG, seguiu-se uma sequência de preparação para a implementação no DSAS. Como a saída da identificação de bordas estava em formato raster, foi utilizada uma ferramenta de conversão para o formato vetorial (linhas) e, em seguida, todos os dados foram convertidos para o formato GeoJSON (Himmelstoss et al., 2021). Como as linhas de costa foram geradas como arquivos *shapefile* separados, elas foram mescladas em um único arquivo antes da importação para o geodatabase, no Sistema de Coordenadas UTM, Zona 25S.

Foram adicionados novos campos à tabela de atributos: o campo "*date*", que armazena a data de aquisição de cada imagem da linha de costa, em formato de texto (mm/dd/aaaa), e o campo "*uncertainty*", numérico, contendo o valor de incerteza posicional de medição para cada linha de costa. Adotou-se uma incerteza de 30 m, em razão do tamanho do pixel das cenas Landsat.

Dessa forma, foi gerada a linha de base (*onshore*), que serviu como ponto de partida para todos os transectos produzidos pelo DSAS, juntamente com a adição do campo obrigatório "ID", responsável por determinar a sequência de ordenação dos transectos ao longo dessa linha (Himmelstoss et al., 2021). A partir disso, os transectos foram criados com espaçamento de 50 m e comprimento de 500 m e, em seguida, foram realizadas as estimativas estatísticas no DSAS.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a simulação, utilizando a versão 6.0.170 do software, foram analisadas as linhas de costa de 1984 a 2025, considerando intervalo de confiança de 95% e incerteza de 30 m. Foram gerados 162 transectos, que abrangeram toda a extensão da área analisada. O DSAS realiza o cálculo de estatísticas referentes aos transectos em diferentes trechos da praia, avaliando a evolução das linhas de costa ao longo dos anos. A Tabela 2 apresenta, de forma resumida, as estimativas aplicadas e seus respectivos resultados.

Tabela 2 – Resumo dos resultados estatísticos do DSAS

SCE (*Shoreline Change Envelope*)	
Número total de transectos	162
Distância média (m)	76,30
Distância máxima (m)	146,76
Distância mínima (m)	34,49
NSM (*Net Shoreline Movement*)	
Número total de transectos	158
Distância média (m)	−11,86
Transectos com distância negativa	120 (75,95%)
Transectos com distância positiva	38 (24,05%)
Distância negativa máxima (m)	−80,29
Distância positiva máxima (m)	88,10
EPR (*End Point Rate*)	
Número total de transectos	158
Taxa média (m/ano)	−0,29
Transectos erosivos	120 (75,95%)
Transectos de acreção	38 (24,05%)
Erosão máxima (m/ano)	−1,96 (transecto 94)
Acreção máxima (m/ano)	2,16 (transecto 105)
LRR (*Linear Regression Rate*)	
Número total de transectos	162

Taxa média (m/ano)	−0,10
Transectos erosivos	109 (67,28%)
Transectos de acreção	53 (32,72%)
Erosão máxima (m/ano)	−1,91 (transecto 94)
Acreção máxima (m/ano)	2,18 (transecto 105)
WLR (*Weighted Linear Regression*)	
Número total de transectos	162
Taxa média (m/ano)	−0,10
Transectos erosivos	109 (67,28%)
Transectos de acreção	53 (32,72%)
Erosão máxima (m/ano)	−1,91 (transecto 94)
Acreção máxima (m/ano)	2,18 (transecto 105)

Os resultados do NSM (*Net Shoreline Movement*) indicaram distância média de −11,86 m, evidenciando uma tendência geral de recuo da linha de costa. A distância negativa máxima observada foi de −80,29 m, registrada no transecto 94, enquanto a distância positiva máxima foi de 88,10 m, no transecto 105. Do total de transectos avaliados por esse método, aproximadamente 75,95% apresentaram recuo, ao passo que 24,05% demonstraram avanço da linha de costa.

Quanto às taxas de variação da linha de costa, o método EPR (*End Point Rate*) registrou taxa média de −0,29 m/ano, com erosão máxima de −1,96 m/ano no transecto 94 e acreção máxima de 2,16 m/ano no transecto 105. O método LRR (*Linear Regression Rate*) indicou taxa média de −0,10 m/ano, com erosão máxima de −1,91 m/ano e acreção máxima de 2,18 m/ano. Resultados semelhantes foram obtidos pela WLR (*Weighted Linear Regression*), que também apresentou taxa média de −0,10 m/ano.

Com base nessa análise, observa-se que a erosão é o processo dominante na região costeira estudada, afetando aproximadamente 67% dos transectos, dos quais 51% apresentaram erosão estatisticamente significativa. Em contrapartida, cerca de 24% dos transectos mostraram avanço da linha de costa, sendo menos de 10% estatisticamente significativos. Esses resultados reforçam a necessidade de atenção às áreas críticas identificadas, especialmente nos setores associados aos transectos de maior recuo, que indicam vulnerabilidade acentuada frente aos processos dinâmicos costeiros.

O ambiente SIG do DSAS possibilita uma visualização clara da posição dos transectos em relação às linhas de costa, além de indicar, de forma intuitiva, as áreas com tendência de erosão ou acreção. Essa identificação é feita por meio de uma classificação por cores, baseada nas estatísticas calculadas pelo software. Na Figura 1, é possível observar essa representação de maneira prática: os

transectos em vermelho indicam áreas com alta tendência erosiva, os em amarelo representam estabilidade, enquanto os em azul destacam os setores com tendência de acreção, de acordo com os resultados obtidos pela estatística LRR (*Linear Regression Rate*).

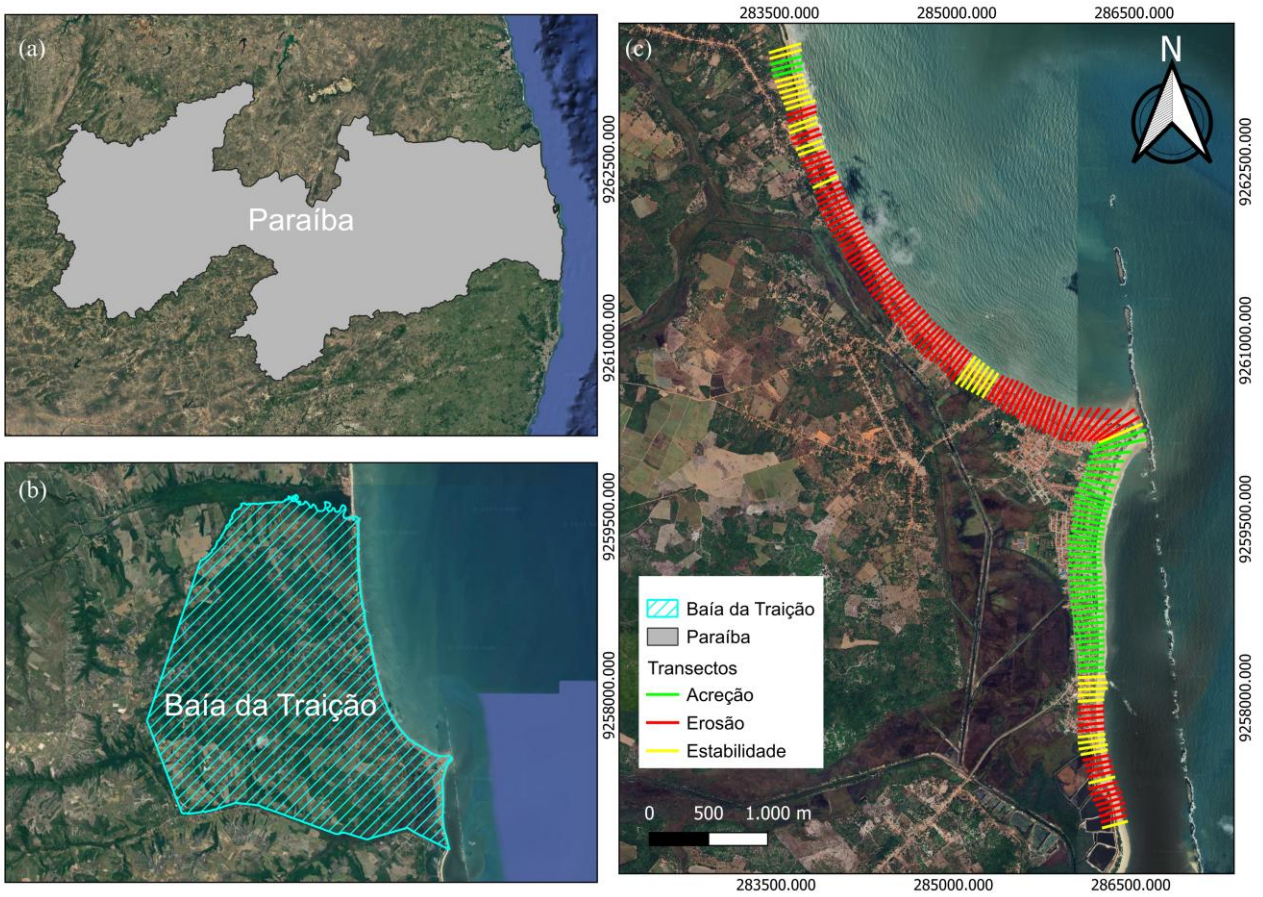


Figura 1 – (a) Estado da Paraíba, (b) Município Baía da Traição, (c) Transectos na Baía da Traição (PB), classificados segundo a estatística LRR

4. CONCLUSÕES

A análise da linha de costa da Baía da Traição, utilizando imagens de satélite livres de nuvens e sombras, demonstrou a eficácia da metodologia aplicada para o monitoramento da dinâmica litorânea da região. Os resultados indicaram que a área apresenta processo predominantemente erosivo, com taxa média de −0,29 m/ano, destacando-se como área crítica o transecto 94, que registrou recuo máximo de −80,29 m. Além disso, a área próxima ao transecto 105 apresentou indícios de acreção, alcançando avanço de até 88,10 m.

Esses dados reforçam a vulnerabilidade da Baía da Traição diante dos processos dinâmicos costeiros, apontando para a necessidade de estratégias de planejamento e gestão que considerem os impactos ambientais e socioeconômicos da erosão marinha. Ademais, a integração de técnicas de sensoriamento remoto, redes neurais e ferramentas de geoprocessamento mostrou-se eficiente e

confiável, fornecendo subsídios relevantes para estudos futuros e para o acompanhamento contínuo das zonas costeiras.

Assim, conclui-se que a aplicação de imagens processadas livres de nuvens e sombras, aliada ao uso do DSAS, constitui um recurso importante para a compreensão e a previsão da evolução da linha de costa, contribuindo significativamente para o monitoramento ambiental e para a tomada de decisões em políticas de conservação e manejo costeiro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/UFPB) pelo apoio concedido ao desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

CANNY, J. (1986). *"A Computational Approach to Edge Detection"*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence PAMI-8(6), pp. 679-698.

CHAMPION, N. (2012). *"Automatic cloud detection from multi-temporal satellite images: towards the use of Pléiades time series"*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIX-B3.

DRAKOPOULOS, P.; GHIONIS, G.; LAZOGIANNIS, K.; POULOS, S. (2014). *"Toward Precise Shoreline Detection and Extraction from Remotely Sensed Images with the Use of Wet and Dry Sand Spectral Signatures"*. Fresenius Environmental Bulletin 23, pp. 2809-2813.

FOGA, S.; SCARAMUZZA, P.L.; GUO, S.; ZHU, Z.; DILLEY JR., R.D.; BECKMANN, T.; SCHMIDT, G.L.; DWYER, J.L.; HUGHES, M.J.; LAUE, B. (2017). *"Cloud detection algorithm comparison and validation for operational Landsat data products"*. Remote Sensing of Environment 194, pp. 379-390.

HIMMELSTOSS, E.A.; HENDERSON, R.E.; KRATZMANN, M.G.; FARRIS, A.S. (2021). *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.1 user guide*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2021-1091, 104 p.

ISIKDOGAN, F.; BOVIK, A.C.; PASSALACQUA, P. (2017). *"Surface Water Mapping by Deep Learning"*. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 10(11), pp. 4909-4918.

ISIKDOGAN, L.F.; BOVIK, A.C.; PASSALACQUA, P. (2019). *"Seeing Through the Clouds with DeepWaterMap"*. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 17(10), pp. 1662-1666.

JIANG, D.; HAO, M.; FU, J. (2016). *"Monitoring the Coastal Environment Using Remote Sensing and GIS Techniques", in Applied Studies of Coastal and Marine Environments.* IntechOpen.

MASELLI, F. (2004). *"Monitoring forest conditions in a protected Mediterranean coastal area by the analysis of multiyear NDVI data"*. Remote Sensing of Environment 89, pp. 423-433.

NASCIMENTO, G.R. do. (2023). *Análise espaço-temporal de médio e longo prazo da linha costeira e previsão de posições futuras com base em sensoriamento remoto: um estudo de caso do município do Conde/PB*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB.

SANTOS, C.A.G.; NASCIMENTO, T.V.M. do; MISHRA, M.; SILVA, R.M. da. (2021). *"Analysis of long- and short-term shoreline change dynamics: A study case of João Pessoa city in Brazil".* Science of the Total Environment 769, 144889.

SILVA, J.I. da. (2017). *Dinâmica da paisagem costeira da cidade de Baía da Traição - PB*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ecologia), Universidade Federal da Paraíba, Rio Tinto-PB, 56 p.

ZHU, Z.; WOODCOCK, C.E. (2012). *"Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery".* Remote Sensing of Environment 118, pp. 83-94.