

USO DE ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP) PARA CARACTERIZAÇÃO DAS SUB-REGIÕES DO MEGALEQUE DO TAQUARI – PANTANAL

Use of the Principal Component Analysis (PCA) to Characterize the Subregions of the Taquari Megafan - Pantanal

DOI 10.55028/geop.v18i34

Luciana Escalante Pereira*
Rayssa Aparecida Pinheiro Noveli**
Antonio Conceição Paranhos Filho***

Resumo: A pesquisa objetivou analisar particularidades das sub-regiões que formam o Megaleque do Taquari. Para isto, foram utilizados índices radiométricos e ACP. A ACP foi aplicada nos índices com o intuito de evidenciar os principais aspectos relacionados a umidade (solo e vegetação). Verificou-se que Nhecolândia e Paiaguás apresentaram maior variabilidade de dados no aspecto de teores de umidade da vegetação. A sub-região do Taquari foi a que mais se distinguiu, apresentando teores de umidade do solo e vegetação diferentes das outras sub-regiões. Além disso, a sub-região do Taquari foi a que mais influenciou nos valores de umidade para o Megaleque.

Palavras-chave: índices radiométricos, megaleque Taquari, Pantanal.

Abstract: The research aimed analyze particularities of the subregions that form the Taquari Megafan. For this, radiometric indices

Introdução

O Pantanal configura-se como uma grande área úmida continental, localizado no interior da América do Sul. Essa grande área úmida possui uma gênese comum e tem a quebra de relevo como seu limite externo, porém, não se trata de uma vasta área homogênea, apresentando regiões que se diferem por características próprias.

Assim, devido suas dimensões, a análise in loco e/ou em campo no Pantanal muitas vezes se torna inviável, e nesse sentido, o uso de sensoriamento remoto se mostra como uma alternativa

* Docente no programa de Pós-Graduação em Estudos Fronteiriços do CPAN-UFMS. Doutora em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos pela UFMS. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9170753220218786>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7733-5920>. E-mail institucional: escalante.pereira@ufms.br.

** Licenciada em Geografia pela UFMS. Mestranda em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais pela Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto Geociências – UFMG. Analista de Sistemas de Informações Geográficas do Instituto Homem Pantaneiro (IHP), Corumbá – MS. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3954543889819095>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0103-9973>. E-mail: rayssapinheironoveli@gmail.com.

*** Professor Titular da UFMS. Doutor em Geologia Ambiental pela UFPR. Coordenador do LabGis - Laboratório de Geoprocessamento para Aplicações Ambientais da FAENG-UFMS. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8366463150019459>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9838-5337>. E-mail institucional: antonio.paranhos@ufms.br.

and PCA were used. PCA was applied to the índices in order to highlight the main aspects related to moisture (soil and vegetation). It was verified that Nhecolândia and Paiaguás presented greater data variability in terms of vegetation moisture content. The Taquari subregion was the one that stood out the most, presenting different soil and vegetation moisture contents from the other sub-regions. Furthermore, the Taquari subregion was the one that most influenced the moisture values for the Megafan.

Keywords: radiometric índices, Taquari megafan, Pantanal wetland.

viável aos estudos na região pantaneira. O sensoriamento remoto no Pantanal pode contribuir para o melhor conhecimento do comportamento ambiental e compreensão desse sistema natural. Além disso, como menciona Schmutge *et al.* (2002), o mapeamento em diferentes escalas (regional, continental e global) e, possivelmente, em uma base repetida é uma vantagem no sensoriamento remoto.

Com o avanço de tecnologias do sensoriamento remoto é possível estudar as sub-regiões buscando analisar as possíveis particularidades que as mesmas possam apresentar, seja com o uso de imagens de satélites, fotografias aéreas, imagens de radar, entre outros.

Com as técnicas de sensoriamento remoto disponíveis, dentre as características que podem ser analisadas em uma área natural como o Pantanal, destaca-se: os aspectos de umidade do solo, vegetação, área inundada, entre outros. Para isto, dados advindos de índices radiométricos proporcionam uma resposta rápida e conjunta de determinadas situações. Os índices radiométricos são obtidos por meio da razão entre bandas, sendo utilizados para realçar as diferenças espectrais de um par de bandas, caracterizando determinadas feições da curva de assinatura espectral de alguns alvos (INPE, 2006).

Para esta pesquisa optou-se pela aplicação de índices radiométricos relacionados a questões hídricas e de umidade, sendo estes analisados através de

análise multivariada, mais especificamente a Análise de Componentes Principais (ACP). “Em análise de imagens onde os objetos (píxeis) têm uma relação mais definida, métodos como a ACP podem ser muito úteis” (Geladi *et al.*, 1989).

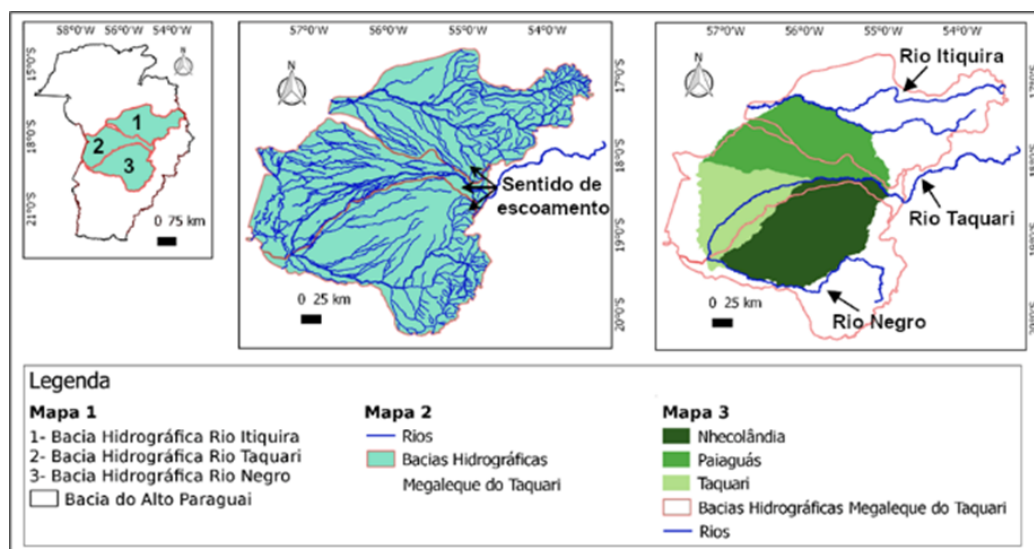
Desse modo, com a aplicação de ACP sobre índices radiométricos, este trabalho teve por objetivo analisar particularidades das sub-regiões pantaneiras que formam o Megaleque do Taquari, visando contribuir com a caracterização da área.

Área de estudo

A área de estudo é o Megaleque fluvial do Taquari, uma estrutura aluvial que abrange cerca de 50.000km² (Assine, 2005) e está inserido no Pantanal brasileiro. Para pontuar particularidades desta região, trabalhou-se a nível de sub-regiões. Na literatura científica existe diferentes subdivisões para o Pantanal. Algumas consideram duas subdivisões dentro do Megaleque, sendo estas: Paiaguás e Nabileque (Silva; Abdon, 1998); outros trabalhos consideram três (Mioto *et al.*, 2013); e ainda pode ser mais subdividido, chegando a 4 sub-regiões (Padovani, 2010).

Nesse sentido, visto que, os índices radiométricos foram selecionados por questões hídricas, a escolha pela subdivisão também se pautou por este critério. Assim, utilizando-se dos limites de bacias hidrográficas do Megaleque, selecionou-se a subdivisão proposta por Mioto *et al.*, que apresenta uma maior compatibilidade com os limites de bacias do megaleque. Mioto *et al.* (2013) considera as seguintes sub-regiões no megaleque: Nhecolândia, Paiaguás e Taquari (Figura 1).

Figura 1. Bacias hidrográficas e sub-regiões pantaneiras do Megaleque do Taquari



Organização: os autores, 2023.

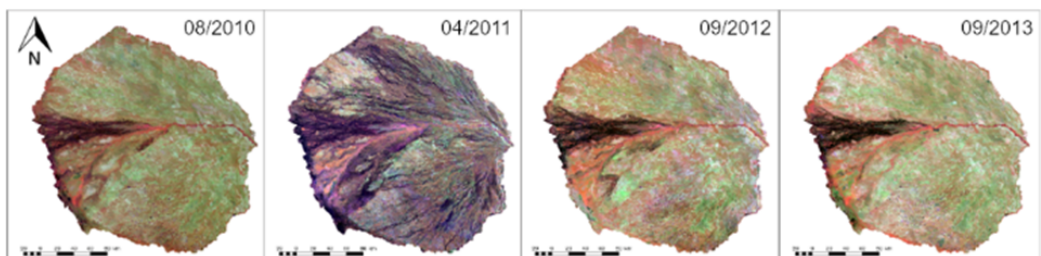
Como pode ser observado na Figura 1, o Megaleque do Taquari possui 3 sentidos de escoamento de suas águas: 1º sentido é NW com as águas escoando para a Bacia Hidrográfica do Itiquira; 2º sentido é W, onde as águas do rio Taquari transbordam, formando o lobo distributário; e 3º SW com as águas escoando para a Bacia Hidrográfica do rio Negro.

Metodologia

Os índices radiométricos utilizados na pesquisa foram os NDWIs (*Normalized Difference Water Index*) e o MNDWI (*Modification of Normalized Difference Water Index*). Existem dois índices diferentes que recebem o nome de NDWI. O proposto por McFeeters (1996) tem por objetivo destacar as feições hídricas no terreno e o de Gao (1996) tem por objetivo estimar teores de umidade da vegetação. O MNDWI (XU, 2006) é uma modificação do NDWI de McFeeters, a diferença entre os dois está que McFeeters utiliza a banda do infravermelho próximo (IVP) para realizar a razão entre bandas, enquanto Xu realiza a operação com a banda infravermelho médio (IVM).

Foram gerados índices para 4 anos: 2010, 2011, 2012 e 2013. Anos subsequentes, o que proporcionou a análise de um ano para o outro. O período das imagens foi selecionado com base nos meses secos e chuvosos da região. As imagens trabalhadas foram as do satélite TERRA, sensor MODIS, com 500m de resolução espacial, a opção por esse sensor foi em função do tamanho da cena (2400x2400 linhas/colunas). Uma cena do MODIS é capaz de cobrir toda a área do megaleque (Figura 2).

Figura 2. Visualização do Megaleque do Taquari (Pantanal), entre os anos de 2010 a 2013



Organização: os autores, 2023.

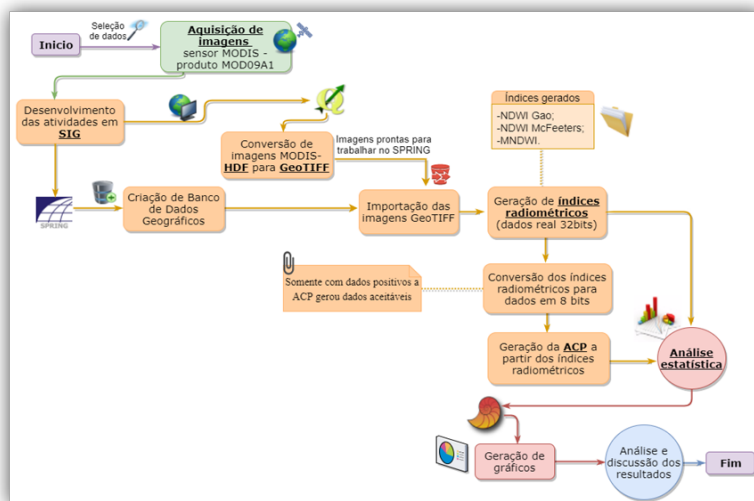
Na Figura 2, as partes mais escuras das imagens correspondem a água, enquanto os tons vermelhos são de vegetação e os tons esverdeados são de solo seco, considerando que se optou pela composição falsa-cor RGB-264.

Para o desenvolvimento da pesquisa foi criado um banco de dados geográficos no *software* SPRING (Camara *et al.*, 1996), onde foram gerados os índices radiométricos e a ACP. Os índices radiométricos contêm um intervalo de leitura variando de dados negativos a positivos (-1 à +1), devido à presença destes dados negativos a ACP calculada respeitando esse intervalo de dados se mostrou inadequada. Considerando isto, para a realização da análise multivariada no SPRING, os índices foram convertidos para dados 8 bits podendo assim ser realizada a ACP de forma mais adequada. “O Spring gera as imagens de ACP’s com base na matriz de covariância e são ordenados em ordem decrescente em função da variação do nível de cinza” (Santos *et al.*, 2010).

A análise de componentes principais é um método de análise estatística multivariada. Na análise de imagens, a “ACP também é chamada de transformação de Hottelling, sendo frequentemente usada para uma projeção de componente principal” (Wold *et al.*, 1987).

Através da matriz de covariância fornecida pelo SPRING e uso do *software* de estatística PAST versão 2.17 (Hammer; Harper; Ryan, 2013) foi possível analisar a contribuição e peso de cada ano (variável) para a geração da ACP. Assim, a ACP não foi utilizada no sentido de reduzir variáveis, e sim na perspectiva de avaliar o valor de variação em cada índice radiométrico, obtendo resposta de qual fator alterou-se mais em cada sub-região, durante os anos analisados. A Figura 3 apresenta resumidamente as etapas de geração e execução dos dados desenvolvidos durante a pesquisa.

Figura 3. Descrição prévia das etapas de desenvolvimento da pesquisa

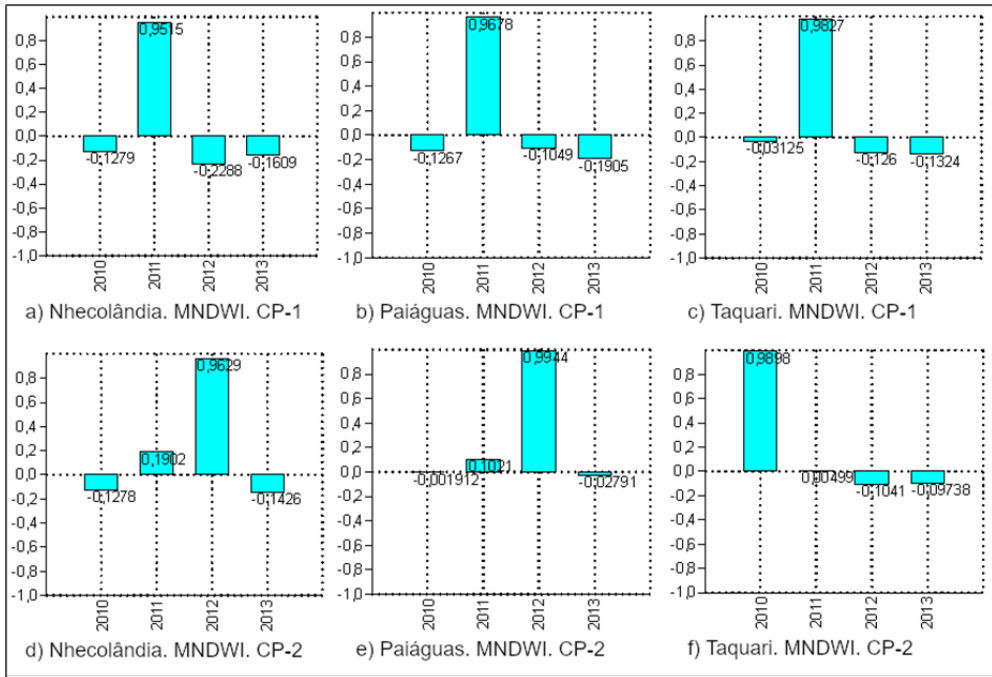


Organização: os autores, 2023.

Resultados

A princípio, para compreender o peso de cada ano na análise, é apresentado o histograma com os valores de contribuição dos anos na formação das componentes principais (CP), restringindo estas as CPs 1 e 2. Isso foi feito através da opção *view loading* presente no software Past. A contribuição de cada ano em relação ao MNDWI e as CPs 1 e 2 é apresentado na Figura 4.

Figura 4. Peso de cada ano para a geração das CP 1 e 2 no índice MNDWI

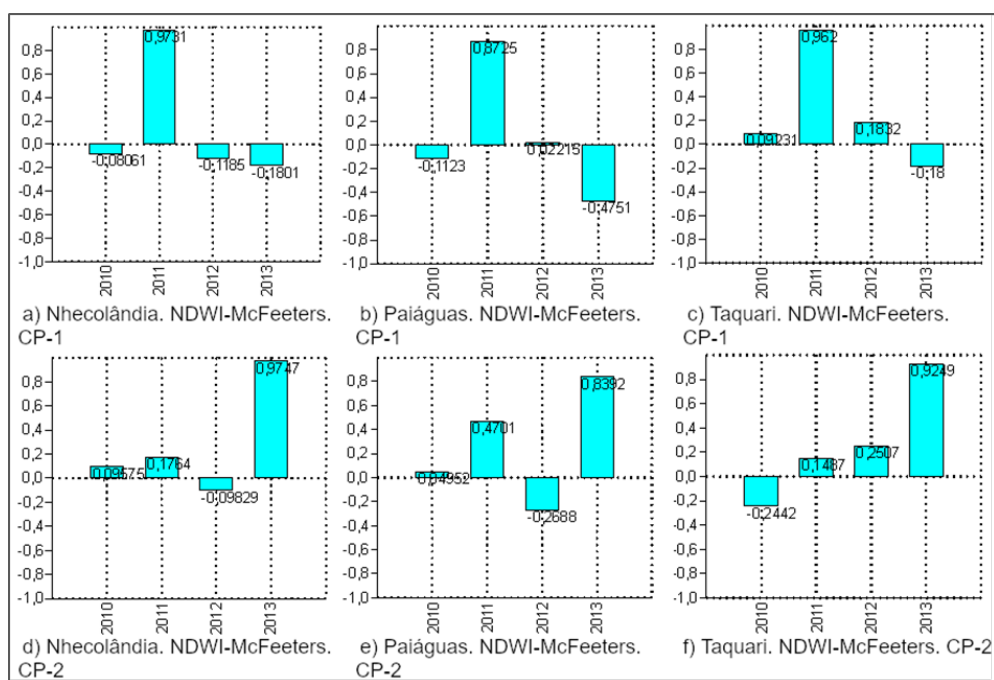


Organização: os autores, 2023.

O MNDWI, assim como o NDWI-McFeeters, é um índice concebido com o intuito de destacar feições hídricas, entretanto, buscando minimizar a confusão espectral em áreas onde há resposta de água misturada com solo. Assim, a variação de dados registrados nesse índice, além de ser uma resposta a presença de água, também estão relacionados a termos de umidade de solo (seco, úmido, encharcado). Logo, o MNDWI é um índice que apresenta melhor desempenho para mensurar as variações de solo úmido. Dessa forma, é compreensível que o ano de 2011 apareça como variável principal na formação da componente 1, visto que, é o ano que apresenta maior diferença na cobertura superficial do solo. A imagem selecionada para o ano de 2011 corresponde a um período de cheias na região e o leque do Taquari encontrava-se coberto por lâmina de água e solo úmido por grande parte de sua extensão.

Assim, a componente principal 2 pode ser mais interessante de se observar. Em períodos mais secos, as variações de água e umidade do solo foram semelhantes nas sub-regiões do Nhecolândia e Paiáguas, ambas apresentando o ano de 2012 como o ano que mais contribuiu para a variação dos dados. A sub-região do Taquari apresenta um comportamento diferente, tendo o ano de 2010 como principal variável para a formação da CP-2. Os anos com os maiores pesos na CP-1 e CP-2 do MNDWI da sub-região do Taquari são anos diferentes entre si: 2010 solo seco, 2011 solo encharcado. A Figura 5 apresenta a contribuição de cada ano no NDWI-McFeeters.

Figura 5. Componentes principais no NDWI-McFeeters

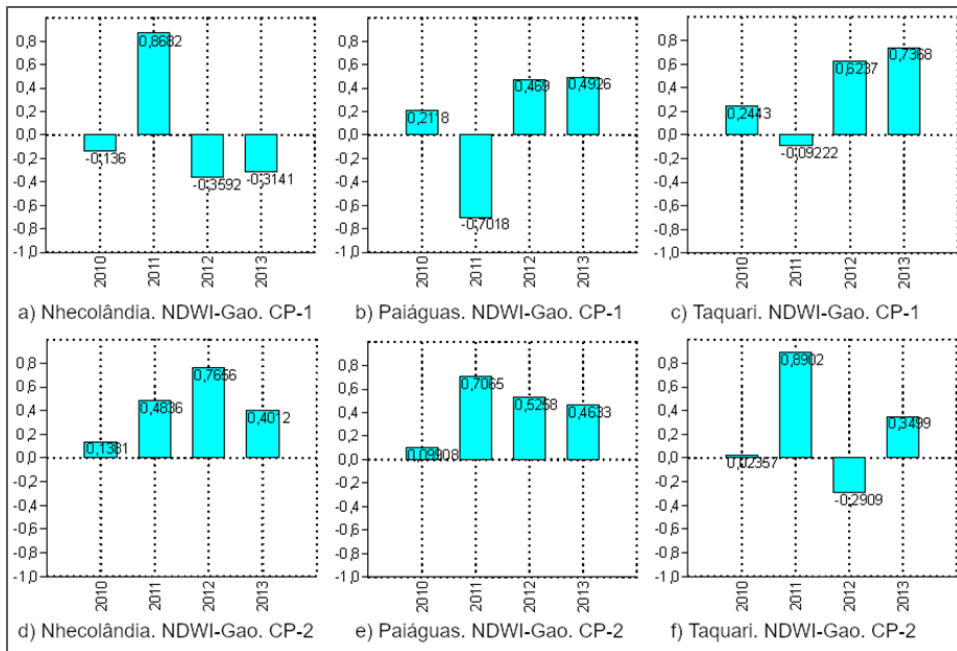


Organização: os autores, 2023.

Diferentemente do MNDWI, no NDWI-McFeeters os anos que mais contribuíram para a variação de dados na geração da CP-1 e CP2, nas três sub-regiões, foram os mesmos. Nesse caso, isso significa que os anos onde a lâmina de água mais apresentou variação foram 2011 e 2013. O ano de 2011 é mais compreensível entender, pois representa um ano atípico, com uma cheia recorde. Já o ano de 2013 só foi possível saber que é outro ano significativo através da resposta da ACP. A ACP mostrou que existe uma maior variação na lâmina de água presente no megaleque no ano de 2013 do que nos anos de 2010 e 2012. Ressalta-se que a ACP, nessa situação, não traz respostas se a lâmina de água aumentou ou diminuiu nos

anos de maior contribuição, o que ela fez foi identificar os anos onde há maior variação nos pixels de lâmina de água, visto que, trata-se da ACP aplicada em cima de índices radiométricos. Sem o auxílio da ACP seria mais difícil visualizar essas variações na imagem de 2013, visto que, visualmente a imagem é bastante parecida com os anos de 2010 e 2012. Os dados para o NDWI-Gao estão na Figura 6.

Figura 6. Componentes principais no NDWI-Gao



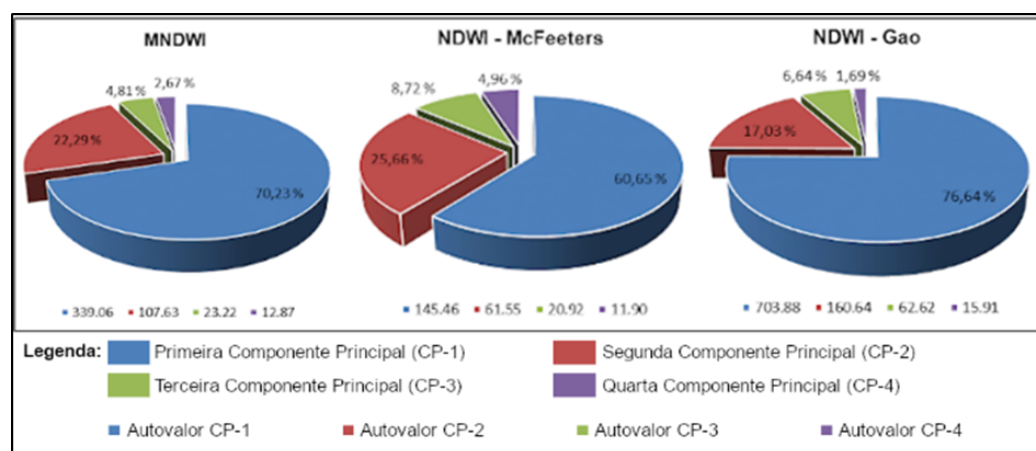
Organização: os autores, 2023.

As variações na umidade da vegetação mostram-se mais sensível as alterações hídricas da região do Megaleque. Isso é observado quando se olha na interferência dos anos na formação das componentes principais no NDWI-Gao. O ano de 2011, para a componente principal 1, ainda representa o principal ano na formação das componentes nas sub-regiões do Nhecolândia e Paiaguás, entretanto, o mesmo não se observa na sub-região do Taquari. Além disso, Nhecolândia e Paiaguás são sub-regiões que apresenta comportamento oposto no fator umidade da vegetação. Essa informação evidencia particularidades que as três sub-regiões possuem entre si.

A sub-região do Taquari tem oferta de água durante o ano inteiro, o que possibilita que a vegetação presente nesta região disponha de oferta hídrica de forma permanente. Isto pode ser uma das hipóteses para que os anos mais secos tenham interferido mais na formação da CP-1 do que o ano mais cheio. Ou seja, as variações de seca provocam maiores variações nos teores de umidade da vegetação do que ano de disponibilidade hídrica.

O autovalor associado a cada componente principal é uma quantificação também importante para entender o comportamento dos dados. Considerando isto, a Figura 7 apresenta o valor percentual de cada componente principal e o autovalor associado para a região do Leque do Taquari como um todo, o mesmo dado também é apresentado de forma isolada para cada sub-região. O número de componentes principais (CP) gerados no SIG SPRING é de acordo ao número de variáveis de entrada.

Figura 7. Análise de Componentes Principais para o Leque do Taquari: Valores percentuais de cada componente principal e seus correspondentes autovalores associados



Organização: os autores, 2023.

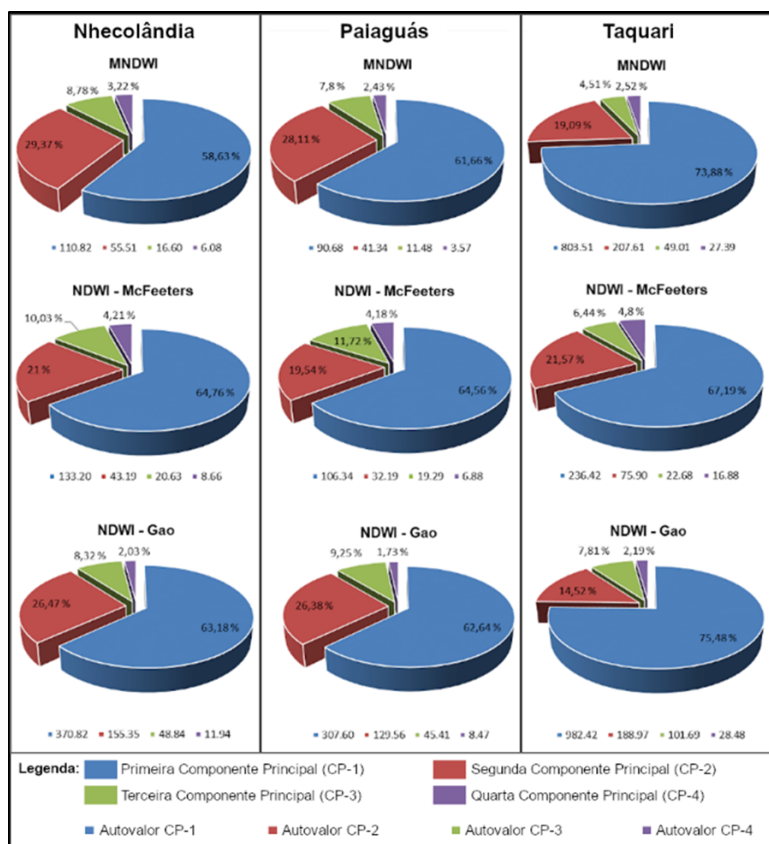
Apesar de apresentar as quatro componentes principais, foram considerados para a discussão somente a 1ª e 2ª CP. Considerando o Leque do Taquari, com exceção do NDWI-McFeeters, os índices apresentaram mais de 70% da variância dos dados na 1ª CP. A menor variação no NDWI-McFeeters mostra que o Leque do Taquari, considerado na sua totalidade sem divisões, apesar de ser uma região com sazonalidade de cheia e seca, tem as feições de lâmina de água como as que apresentam menos variações nas respectivas imagens utilizadas, isto é são os alvos que menos sofreram alteração durante os 4 anos, mesmo considerando o ano de 2011. Isto porque o NDWI-McFeeters é um índice utilizado para delineamento e identificação de corpos hídricos, e as massas hídricas perenes são menos suscetíveis à grandes alterações, o que influencia nos dados do NDWI-McFeeters.

Os autovalores quantificam a variação dos dados em cada componente principal que ocorreu entre os 4 anos analisados para cada índice radiométricos. Dessa forma, através deste dado é possível indicar o valor de variância registrada pela CP. Em princípio, significa que o índice que apresentar o maior valor numérico para o

autovalor, é o índice que apresenta a maior variação de dados. Essa análise pode ser feita por componente principal, visto que cada componente principal possui um autovalor associado. O autovalor nesse caso é uma informação fundamental, pois os valores percentuais das componentes principais não apresentaram diferenças grandes em termos percentuais entre os índices radiométricos, entretanto, foi possível através do autovalor mensurar diferenças significativas.

Em síntese, a Figura 7 mostra que através da ACP é possível observar que os fatores umidade da vegetação (NDWI-Gao) são os fatores que mais variaram no Leque, para isto, basta observar os autovalores relacionados a CP-1. O autovalor apresentado pelo NDWI-Gao demonstra que a variação de umidade da vegetação entre os anos que mais contribuíram para a 1ª CP foi alta, chegando a um autovalor de 703, 88. A Figura 8 mostra o valor percentual das ACP em cada índice radiométrico e nas respectivas sub-regiões.

Figura 8. Análise de Componentes Principais das sub-regiões do Leque do Taquari. Valores percentuais de cada componente principal e seus correspondentes autovalores associados



Organização: os autores, 2023.

Os anos que mais contribuíram para a formação de cada componente principal já foram identificados, mas com os dados percentuais e autovalor de cada componente principal, é possível inferir novas observações sobre as três sub-regiões do megaleque.

Através do autovalor é possível constatar que as sub-regiões do Nhecolândia e Paiaguás tem a maior variação dos dados no fator de umidade da vegetação, para isto, observe o valor do NDWI-Gao para as duas sub-regiões. Quando analisamos Nhecolândia e Paiaguás, verifica-se que os autovalores de suas CP-1 para o NDWI-Gao é o maior registrado, o que significa que é o índice onde há a maior variação de dados entre os 4 anos. O Paiaguás apresenta um autovalor de 307.60 para a CP-1 no NDWI-Gao, e no Nhecolândia esse autovalor corresponde a 370.82, enquanto, NDWI-McFeeters e MNDWI apresentaram valores menores de variação.

O Nhecolândia e o Paiaguás têm diferenças de variância sutis, entretanto, o Paiaguás é a sub-região que apresentou os menores autovalores em todos os índices analisados. Isso aponta essa região como a mais estável perante as variações sazonais do período. Ou seja, os valores estatísticos apresentados, pressupõe que o Paiaguás é a sub-região menos influenciada pelas variações de cheia e seca do Leque do Taquari.

Já os autovalores da sub-região do Taquari são significativamente superiores aos apresentados por Nhecolândia e Paiaguás, o que significa dizer que mesmo apresentando uma porção permanentemente alagada, o Taquari é a sub-região mais suscetíveis a variações. Isto pode ser notado quando observado os valores do MNDWI e o NDWI-Gao, onde os autovalores apresentados para primeira componente principal são bem superiores aos das outras sub-regiões, lembrando que, no caso do NDWI-Gao essa variação não está nem associado a um ano atípico, como 2011. Ou seja, a vegetação da sub-região do Taquari é mais suscetível há variações de umidade, do que a vegetação das outras sub-regiões.

Como já mencionado, as massas hídricas influênciam nos dados do NDWI-McFeeters, que é o índice que identifica lâmina de água na superfície. Então, vale observar que nas sub-regiões do Nhecolândia e Paiaguás o NDWI-McFeeters ainda sofre mais variação do que o MNDWI, ou seja as áreas cobertas com lâmina de água foram mais mutáveis do que as variações de solo úmido.

Considerações Finais

Nas geotecnologias, o uso de ACP (Análise de Componentes Principais) é aplicado a dados multiespectrais, sendo utilizado para minimizar as informações redundantes entre as bandas espectrais. No presente trabalho, a ACP foi calcula-

da em imagens de índices radiométricos para a identificação de padrões, com o intuito de caracterizar as mudanças no ambiente úmido pantaneiro do Leque do Taquari e analisar as diferenças entre as sub-regiões. Nesse sentido, a seleção de imagens prezando por épocas com diferentes graus de solo encharcado foi importante para observar como é o comportamento no ambiente úmido das 3 sub-regiões que compõem o Leque do Taquari.

Como resultado, a ACP mostrou-se apropriada na aplicação em índices radiométricos, sendo possível descrever e caracterizar aspectos ambientais com a junção das duas técnicas de análise. Através do uso de índices radiométricos e ACP foi possível mostrar que a variação de umidade do solo não é homogênea no Leque do Taquari. Visto que, entre variações de solo encharcado para solo seco foi possível pontuar as alterações de umidade nas 3 sub-regiões, observando que os valores de solo úmido e/ou encharcado do Leque do Taquari é muito influenciado pelo o que ocorre na sub-região do Taquari.

Além disso, foi possível verificar que Nhecolândia e Paiaguás apresentam a maior variabilidade de dados no aspecto de teores de umidade da vegetação, entretanto as duas sub-regiões apresentaram uma relação inversa para este aspecto.

Já a sub-região do Taquari foi a que mais se distinguiu, apresentando teores de umidade do solo e vegetação bem diferentes das outras duas sub-regiões. Sendo este um dado que corrobora para mostrar que se trata de 3 sub-regiões distintas. O Taquari tem um solo encharcado, enquanto Nhecolândia e Paiaguás são mais secos. Dentre as 3 sub-regiões, a predominância de solo seco é no Paiaguás, o que também reflete nos teores de umidade da vegetação desta sub-região.

Os resultados para o NDWI-McFeeters não apresentaram diferenças muito significativas, entretanto, através dos outros índices radiométricos foi possível discernir sobre questões de umidade do solo e da vegetação entre as sub-regiões, gerando dados que contribuem para a caracterização de 3 sub-regiões distintas no Leque do Taquari.

Ressalta-se que a regionalização pantaneira utilizada foi importante para que pudesse pontuar particularidades, principalmente na sub-região do Taquari, onde os dados da ACP mostram a diferença de comportamento desta em relação as outras duas sub-regiões.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul-UFMS/MEC – Brasil. E ao CNPq pela concessão de Bolsa Produti-

vidade em Pesquisa a Antonio Conceição Paranhos Filho (PQ-1D - CNPq Processo 304644/2022-6).

Referências

- ANA - Agencia Nacional de Águas; SNIRH- Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. **Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas**. Brasília: ANA, 2013.
- ASSINE, M. L. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. **Geomorphology**, v. 70, n. 3, p. 357-371, 2005.
- CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- GAO, B. C. NDWI- A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote sensing of environment**, v. 58, n. 3, p. 257-266, 1996.
- GELADI, P.; ISAKSSON, H.; LINDQVIST, L.; WOLD, S.; ESBENSEN, K. Principal Component Analysis of Multivariate Images. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 5, p. 209-220, 1989.
- HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P.D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. **Paleontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2013.
- INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas. **Manuais: Tutorial de Geoprocessamento – Operação Aritmética**. Inpe, 2006. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>. Acesso em: 25 jan. 2015.
- MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, p. 1425-1432, 1996.
- MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C.; ALBREZ, E. D. A. Contribuição à caracterização das sub-regiões do Pantanal. **Entre-Lugar**, v. 3, n. 6, p. 165-180. 2013.
- PADOVANI, C. R. **Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal**. 2010. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2010.
- SCHMUGGE, T. J.; KUSTAS, W. P.; RITCHIE, J. C.; JACKSON, T. J.; RANGO, A. Remote sensing in hydrology. **Advances in water resources**, v. 25, n. 8, p. 1367-1385, 2002.
- SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 33, n. 13, p. 1703-1711, 1998.
- SANTOS, A. R.; PELUZIO, T. M. DE O.; SAITO, N. S. **SPRING 5.1.2 passo a passo: aplicações práticas**. Alegre, ES: CAUFES, 2010.
- XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p. 3025-3033, 2006.
- WOLD, S.; ESBENSEN, K.; GELADI, P. Principal component analysis. **Chemometrics and intelligent laboratory systems**, v. 2, n. 1-3, p. 37-52, 1987.