

## Evolução dos barramentos no município de Cristalina-GO entre 2000 e 2014

Lindolfo Caetano Pereira Júnior<sup>1</sup>  
Priscila Midori Miyashita<sup>1</sup>  
Carlos Antônio de Melo Cristóvão<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos - IMB  
Av. República do Líbano nº 1945, 3º andar, Setor Oeste, Goiânia - Goiás - Brasil  
CEP: 74.125-125

{lindolfo-cpj, priscila-mm, carlos-amc}@segplan.go.gov.br

**Abstract.** The construction of dams is one of main economically viable alternatives to the expansion of water availability in a region. In Goiás this resource has been extensively used by farmers, being the Cristalina's city the main highlight. Given this, this study used Landsat 5 and Landsat 8 satellite images and the automatic extraction method AWEIsh (Automated Water Extraction Index) to map the dams with more than 5,000 m<sup>2</sup>, existing in this city, in 2000 and 2014 years. Regarding the dams turned to agriculture, were identified 205 in the first year and 329 in 2014, indicating a growth more than 60%. Concerning the flooded area, the expansion was more than 150%, from 1383.89 ha in 2000 to 3453.60 ha in 2014. This fact denotes an intense expanding process of the dam turned agriculture that gives currently to these an average waterline of 10.5 ha. The expansion process occurred in throughout the municipal area, and the Samambaia's river basin was the one that stood out. This basin was an increase of 28 dams in 2014, totaling 1461.22 ha of flooded area. This setting allowed the Cristalina's city occupying an important position in the national agricultural scene.

**Palavras-chave:** farm dams, water availability, automated water extraction index, barragens agrícolas, disponibilidade hídrica, índice de extração automática de água.

### 1. Introdução

O papel da água no planeta Terra é diversificado, sendo esta o suporte primário de todos os ecossistemas, incluindo os que geram as fontes alimentares do ser humano, o que a torna um item de primeira necessidade à manutenção da vida (FERERES et al., 2011). Por outro lado, as limitações econômicas e financeiras para o aumento da disponibilidade hídrica e o crescimento da demanda por água tem agravado as perspectivas de sua escassez em muitas partes do mundo (MOLDEN, 2007).

Neste contexto, a construção de barragens apresenta-se como uma das principais alternativas economicamente viáveis para mitigação deste cenário. Uma barragem pode ser definida como uma barreira ou estrutura que cruza córregos, rios ou canais para confinar e assim controlar o fluxo hídrico. Podendo variar em tamanho: de pequenos maciços de terra, usados frequentemente em fazendas a grandes estruturas de concreto, geralmente usadas para abastecimento de água, geração hidrelétrica e irrigação (CIGB, 2007).

Estes reservatórios vêm tendo uma importante contribuição no desenvolvimento econômico e social mundial (WORLD COMMISSION ON DAMS, 2000). Além disto, para Brown et al. (2009), com as modificações climáticas pelas quais o planeta vem passando estes reservatórios tornam-se cada vez mais importantes na proteção dos recursos hídricos.

Tais fatores têm influenciado fortemente na construção e ampliação de barragens no Estado de Goiás, que tem como base de sua economia o agronegócio e tem sido um grande exportador de energia elétrica, com uma contribuição de 8,6% (11.170 MW) da geração elétrica nacional, sendo 9.561 MW de origem hidráulica (SEINFRA, 2013).

Neste aspecto, o município de Cristalina se destaca como um dos que mais ampliou sua rede de barramentos voltados para irrigação e, além disso, recebeu a instalação de duas centrais geradoras energéticas na última década. Isto posto, este trabalho mapeou os

barramentos com lâmina d'água superior a 5.000 m<sup>2</sup>, existentes no município de Cristalina para os anos de 2000 e 2014, utilizando imagens do satélite Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*) e o índice de extração automático de corpos d'água  $AWEI_{sh}$  (*Automated Water Extraction Index*), desenvolvido por FEYISA et al. (2014), com o objetivo de analisar a dinâmica de expansão da barragens no período de 2000 a 2014.

## 2. Caracterização da área de estudo

A área de estudos deste trabalho é o município de Cristalina (Figura 1), situado no Estado de Goiás entre as coordenadas: 17° 23' 26" e 16° 1' 59" Sul e 47° 16' 21" e 47° 57' 52" Oeste, este faz parte da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal, criada pela lei complementar n.º 94 de 19 de fevereiro de 1998 e regulamentada pelo decreto n.º 7.469 de 04 de maio de 2011, com intuito de facilitar a articulação entre os Estados de Goiás, Minas Gerais e o Distrito Federal.

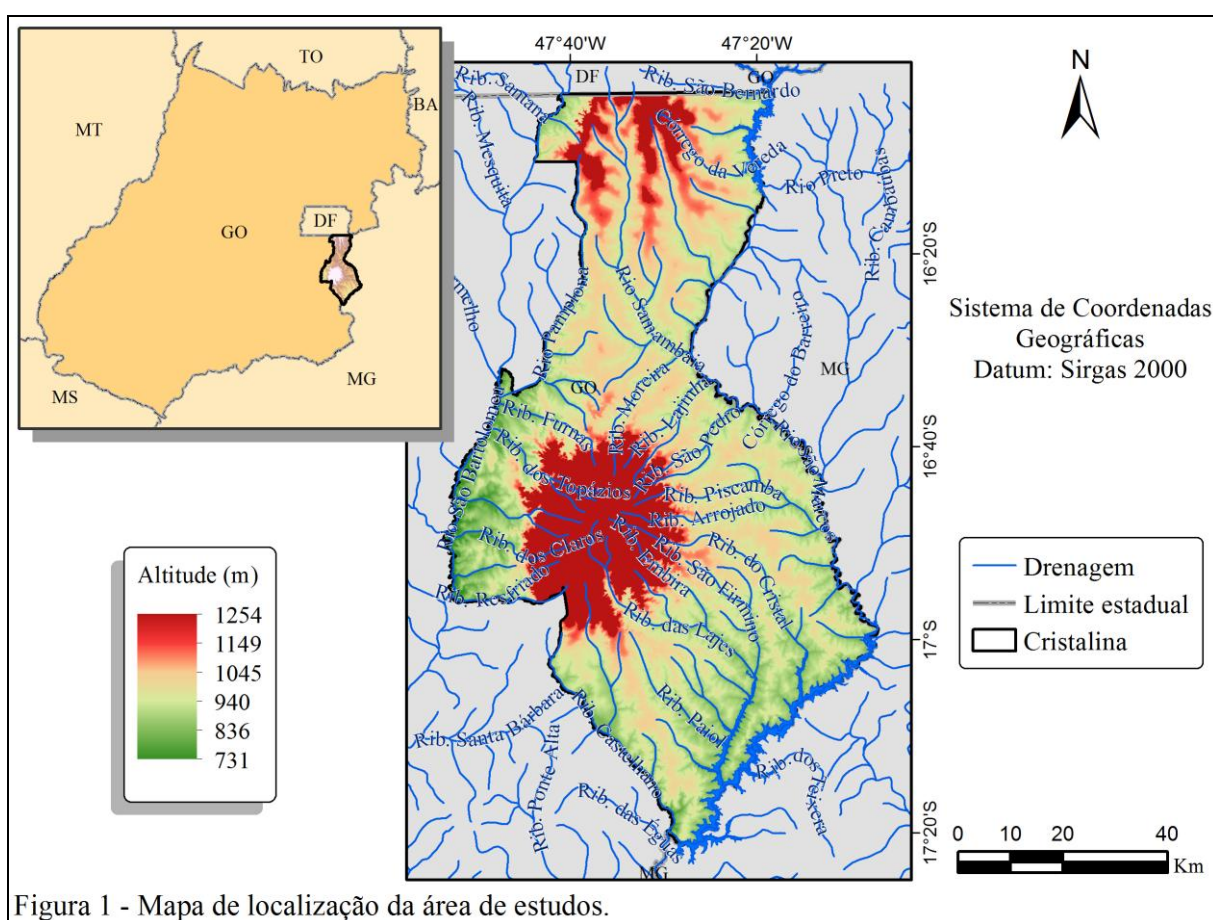


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudos.

O município possui grande vocação agrícola sendo responsável por 4,3% do valor adicionado do Produto Interno Bruto (PIB) no ano de 2011(IMB, 2013). A agricultura responde por 48,24% do PIB municipal, o que coloca Cristalina como o 13º maior PIB do Estado (IMB, 2013). No ano de 2011, foram cultivadas 35 tipos de culturas na área. Para algumas destas, tais como o alho, a batata inglesa, a cebola e o trigo, o município respondeu pela maior parte da produção Estadual (IMB, 2013). Estes números foram alcançados, sobretudo, em função dos investimentos em infraestrutura hídrica na região (construção de barragens, canais e sistemas de irrigação modernos).

A área está inserida na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, situando-se a sua margem direita. A drenagem local possui um padrão radial (Figura 1) que caracteriza a presença do domo de Cristalina (LATRUBESSE, 2006). Os principais mananciais que banham o

perímetro municipal são o Rio São Marcos, Rio Preto, Rio Samambaia, Ribeirão São Bartolomeu e Ribeirão das Lajes.

### 3. Material e Método

Para este estudo foram utilizadas as imagens dos satélites *Landsat 5 TM (Thematic Mapper)* e *Landsat 8 OLI (Operational Land Imager)* obtidas no portal do USGS (*United States Geological Survey*). Foram utilizadas três cenas com qualidade nove segundo a classificação do USGS (2014), ou seja, uma imagem perfeita e sem erros, todas com nível de correção L1T também chamado de *Standard Terrain Correction*, que engloba a correção radiométrica e geométrica, usando pontos de controle e Modelo Digital de Elevação (MDE), tais como o SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), NED (*National Elevation Dataset*), CDED (*Canadian Digital Elevation Data*), DTED (*Digital Terrain Elevation Data*), e GTOPO 30 (*Global 30 Arc-Second Elevation*) (USGS, 2014).

Utilizou-se imagens dos meses de maio, julho e agosto, período de estiagem no Estado de Goiás, o que possibilitou a aquisição de imagens com baixa ou nenhuma presença de nuvens minimizando desta forma os efeitos oriundos da atmosfera. A Tabela 1 apresenta a data de aquisição das imagens utilizadas.

Tabela 1 - Imagens *Landsat* e suas datas de referência

| Orbita/Ponto | Data da aquisição - Landsat 8 OLI | Data da aquisição - Landsat 5 TM |
|--------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 221/072      | 13/05/2014                        | 10/08/2000                       |
| 221/071      | 29/05/2014                        | 25/07/2000                       |
| 220/072      | 06/05/2014                        | 18/07/2000                       |

A primeira etapa do processamento destinou-se à realização do mosaico das imagens. O mosaico é a técnica de união de diversas imagens de modo a gerar uma representação pictórica contínua da área de estudos. Foi utilizado o método de reamostragem pelo vizinho mais próximo, que é uma interpolação dos níveis de cinza de cada banda da imagem original utilizando-se, para tal, os valores dos pixels mais próximos (D'ALGE, 2004). Não foram aplicadas técnicas de correção radiométrica, evitando-se desta forma a modificação dos números digitais (NDs) originais das imagens. Esse processo permitiu o recobrimento de toda a área de estudo.

Para extração dos barramentos foi aplicado o método de extração automática de corpos d'água  $AWEI_{sh}$  (*Automated Water Extraction Index*), conforme a Equação 1, proposto por Feyisa et al. (2014). Trata-se de um índice indicado para aplicação em regiões que apresentam sombras e sem a presença de feições como neve, gelo e construções com altos albedos. Esse índice é capaz de realçar o contraste e distinguir com mais assertividade superfícies de água, por meio de combinações aritméticas de bandas espectrais por diferenciação, adição e aplicação de diferentes coeficientes.

O  $AWEI_{sh}$  foi desenvolvido com base em estudos empíricos das propriedades de reflectância de pixels puros, levando em consideração vários tipos de cobertura do solo. A partir da realização de processos iterativos, foi possível definir os melhores limiares de separabilidade entre diferentes superfícies tais como: a água, os alvos escuros, as sombras e as estruturas edificadas. Esses limiares deram subsídio à escolha dos coeficientes, fazendo com que a água assumia valores maiores que zero, enquanto que outros objetos sejam classificados com valores abaixo de zero (FEYISA et al., 2014).

$$AWEI_{sh} = \rho_{banda1(L5TM)} + 2,5 \times \rho_{banda2(L5TM)} - 1,5 \times (\rho_{banda4(L5TM)} + \rho_{banda5(L5TM)}) - 0,25 \times \rho_{banda7(L5TM)} \quad (1)$$

$$AWEI_{sh} = \rho_{banda2(L8OLI)} + 2,5 \times \rho_{banda3(L8OLI)} - 1,5 \times (\rho_{banda5(L8OLI)} + \rho_{banda6(L8OLI)}) - 0,25 \times \rho_{banda7(L8OLI)} \quad (2)$$

Onde,  $\rho$  é o valor da reflectância das bandas espectrais do *Landsat 5 TM* e *Landsat 8 OLI*.

Adaptado de Feyisa et al. (2014).

#### 4. Resultados e Discussão

Com intuito de facilitar a análise dos resultados, os dados referentes às duas barragens construídas no município para geração de energia elétrica foram retirados do contexto geral e são apresentados primeiramente. Estas barragens situam-se ao norte do município na bacia do Rio Preto denominada Usina Hidrelétrica de Queimado e possui área inundada total de 40,11 Km<sup>2</sup> (ANEEL, 2014), tendo sido mapeada neste trabalho uma área inundada de 32,78 Km<sup>2</sup> para o mês de maio de 2014. E ao sul do município encontra-se o segundo represamento com este fim na bacia do Rio São Marcos, e é denominada como Usina Hidrelétrica de Batalha e possui área inundada total de 138 Km<sup>2</sup> (ANEEL, 2014), e a mesma foi delimitada neste trabalho com uma área de 121,64 Km<sup>2</sup>, também para o mês de maio.

Os dados revelam que uma grande quantidade de obras de ampliação de volume foram realizadas no mesmo período supracitado, ou seja, ampliação da capacidade útil dos barramentos agrícolas. A área média inundada passou de 6,75 ha no ano de 2000 para 10,50 ha em 2014, o que representa um crescimento na área média por volta de 56%. Percebe-se que os barramentos mapeados distribuem-se por todo o perímetro do município, sendo que a Bacia hidrográfica do Rio Samambaia é a que possui atualmente o maior número de barragens.

Na Figura 2 é possível observar a distribuição espacial dos barramentos existentes do ano de 2000 e 2014. Nota-se a existência de diversos barramentos em sequência e fica evidente também a mudança no cenário agrícola, com a ampliação da irrigação uma vez que as imagens datam do período de estiagem.

Foram mapeados 205 barramentos para o ano de 2000 e 329 para o ano de 2014, conforme Tabela 2, resultando em uma diferença de 124 barramentos na contagem geral. Entretanto, no período foram identificados 134 novos barramentos, essa diferença é resultante do agrupamento de alguns reservatórios em função de obras de ampliação. No que tange a quantidade este aumento corresponde a cerca de 60%, ao passo que ao analisar o incremento da área inundada o crescimento fica por volta de 150%.

Tabela 2 - Quantidade de barramentos e área inundada por otto bacia no município de Cristalina

|   | 2000       |                |                 | 2014       |                |                 |
|---|------------|----------------|-----------------|------------|----------------|-----------------|
|   | Qtd        | Área (ha)      | Área média (ha) | Qtd        | Área (ha)      | Área média (ha) |
| Bacia Hidrográfica Rib. Castelhana                          | 10         | 218,37         | 21,84           | 26         | 346,18         | 13,31           |
| Bacia Hidrográfica Rib. das Lajes                           | 30         | 85,89          | 2,86            | 47         | 276,24         | 5,88            |
| Bacia Hidrográfica Rio Samambaia                            | 55         | 616,29         | 11,21           | 83         | 1461,22        | 17,61           |
| Bacia Hidrográfica Rio Preto                                | 12         | 26,96          | 2,25            | 14         | 163,62         | 11,69           |
| Bacia Hidrográfica Rio S. Bartolomeu                        | 54         | 320,60         | 5,94            | 65         | 556,46         | 8,56            |
| Região Hidrográfica a montante Foz Rio Samambaia            | 12         | 64,14          | 5,35            | 28         | 443,80         | 15,85           |
| Região Hidrográfica a montante do Rib. das Lajes            | 29         | 48,95          | 1,69            | 55         | 175,17         | 3,18            |
| Região Hidrográfica Foz Rib. Castelhana/Rib. das Lajes      | 2          | 1,95           | 0,98            | 0          | 0,00           | 0,00            |
| Região Hidrográfica Foz Rio Piracanjuba / Rio S. Bartolomeu | 1          | 0,75           | 0,75            | 11         | 30,89          | 2,81            |
|   | <b>205</b> | <b>1383,90</b> | <b>6,75</b>     | <b>329</b> | <b>3453,57</b> | <b>10,50</b>    |

A bacia hidrográfica do rio Samambaia, que possui a maior quantidade de barragens, conta atualmente com 83 (Figura 3) e área inundada total de 1.461,22 ha. Esta bacia é a que possui a maior área inundada média que corresponde a 18,41 ha. Nesta bacia houve ainda aumento de 28 barramentos com incremento em área inundada da ordem de 845 ha entre 2000 e 2014.

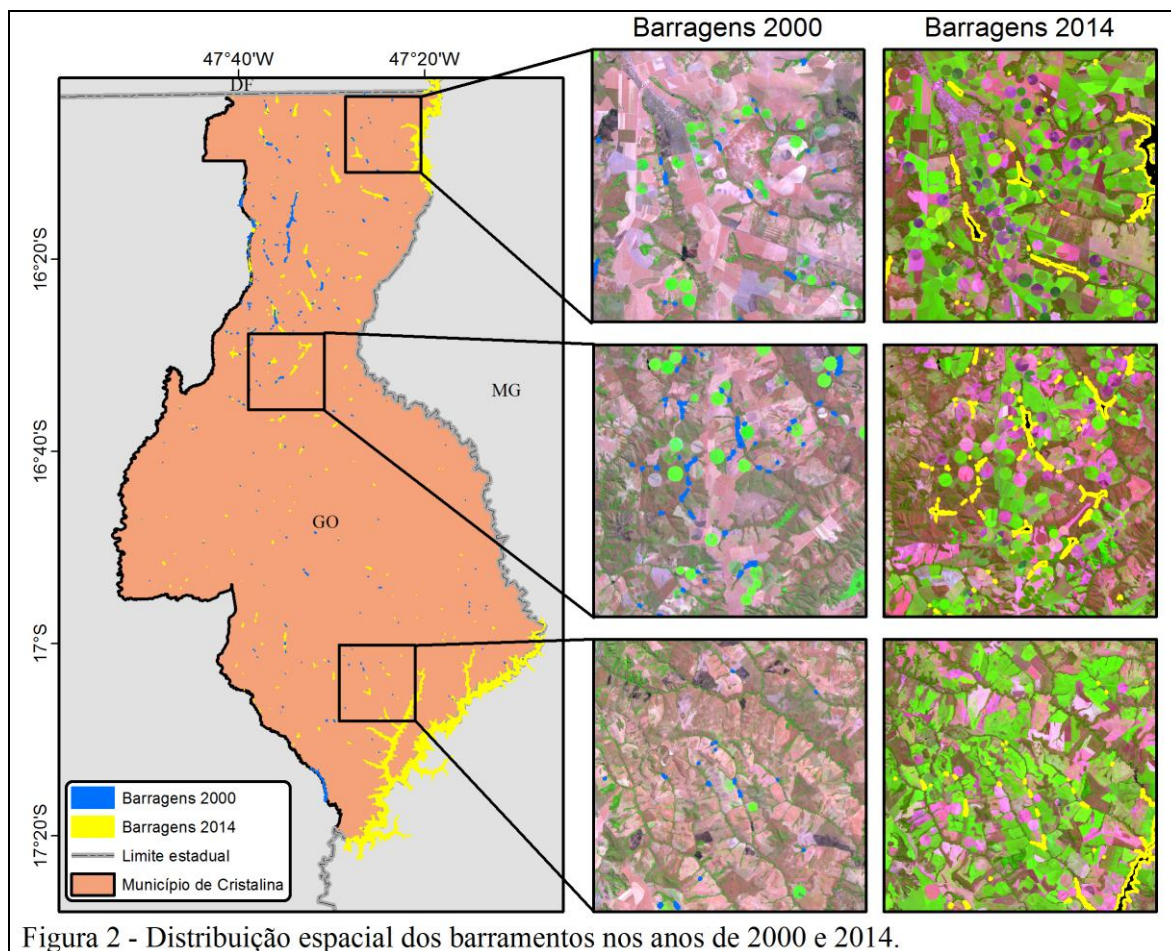


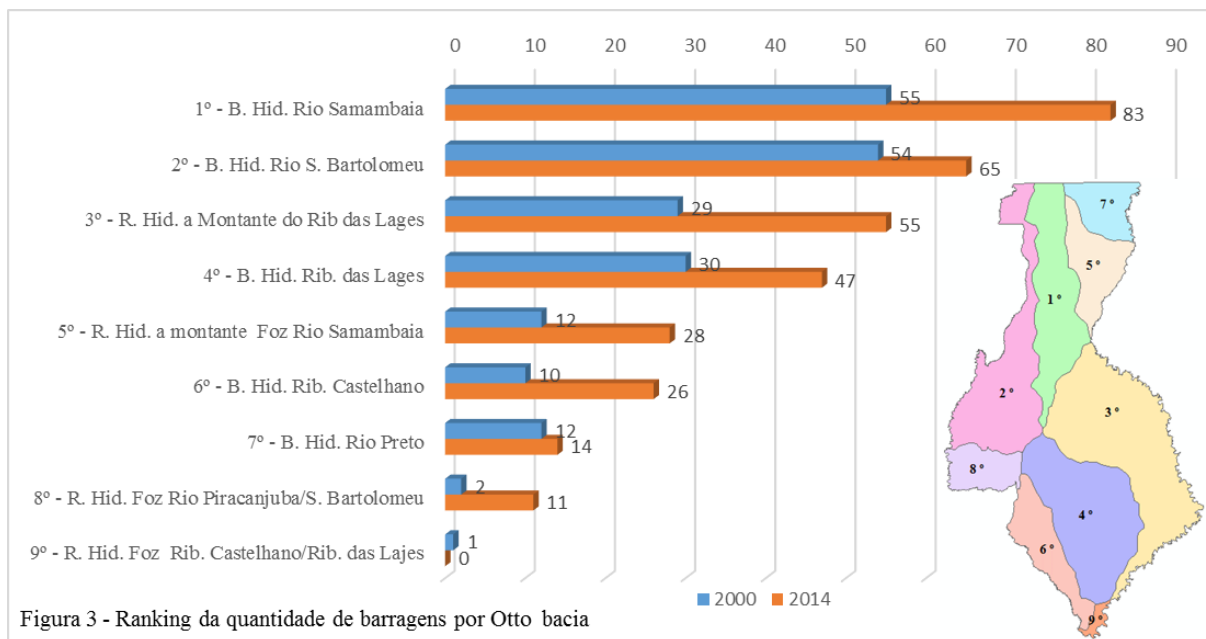
Figura 2 - Distribuição espacial dos barramentos nos anos de 2000 e 2014.

A segunda bacia com maior quantidade de barragens é a do Rio São Bartolomeu, que possui 65 reservatórios. Nesta, houve um incremento de 11 acumulações com expansão de área inundada da ordem de 236 ha. Outra região hidrográfica que apresentou incremento significativo foi a situada à montante do Ribeirão das Lajes com 26 novos barramentos e acréscimo em área de 126,23 ha. A jusante desta situa-se a bacia hidrográfica do Ribeirão das Lajes que teve uma ampliação de 17 barramentos e aumento de área de aproximadamente 190 ha.

A região hidrográfica a montante da foz do Rio Samambaia apresentou um incremento de 16 barramentos e aumento de área da ordem de 379,66 ha. Já na bacia do Ribeirão Castelhana na região oeste do município ocorreu um incremento de 16 barramentos, e com 128,41 ha de ampliação da área inundada. Na bacia do Rio Preto, situada na região nordeste do município, foram mapeados apenas dois novos barramentos, vale ressaltar que apenas uma pequena parte desta bacia foi foco deste estudo, tendo sido mapeadas 147 barragens em toda a bacia nos anos de 2001 e 2002 por Rodrigues et al. (2007).

Na região hidrografia da foz dos Rios Piracanjuba e São Bartolomeu, ocorreu um incremento de 9 barramentos com área de ampliação 30,16 ha. Já na região hidrográfica, situada na foz dos Ribeirões Castelhana e das Lajes, a única barragem existente no ano de 2000 foi incorporada ao lago da Usina Hidrelétrica de Batalha.





## 5. Considerações Finais

Verificou-se que mesmo sem a aplicação de métodos de correção atmosférica nas imagens, o emprego do índice de extração automático de corpos d'água AWEI<sub>sh</sub> produziu resultados satisfatórios na identificação dos barramentos com área superior a 5000 m<sup>2</sup>. A principal característica que gerou confusão no processamento foi a presença de sombras em algumas regiões, sendo estas facilmente identificadas no processo de validação visual.

O amplo crescimento das barragens agrícolas no município, está diretamente ligado ao crescimento da produtividade e ampliação da capacidade de competição dos seus produtos no mercado externo, o que têm colocado Cristalina como uma das principais regiões agrícolas do Brasil.

## 6. Referências Bibliográficas

- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico**. 2014. Disponível em: <<http://sigel.aneel.gov.br/sigel.html>>. Acesso em: 3 out. 2014.
- BROWN, P. H. et al. Modeling the costs and benefits of dam construction from a multidisciplinary perspective. **Journal of environmental management**, v. 90 Suppl 3, p. S303–11, jul. 2009.
- CIGB, C. I. DE G. B. **As barragens e a água do mundo**. Paraná: CIGB - ICOLD, 2007. p. 74
- D'ALGE, J. C. L. Cartografia para geoprocessamento. In: CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; MEDEIROS, J. S. DE (Orgs.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004. p. 1–32.
- FERERES, E.; ORGAZ, F.; GONZALEZ-DUGO, V. Reflections on food security under water scarcity. **Journal of experimental botany**, v. 62, n. 12, p. 4079–86, ago. 2011.
- FEYISA, G. L. et al. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 140, p. 23–35, jan. 2014.
- GOIÁS. Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos (IMB). **Produto Interno Bruto dos Municípios Goianos - 2011**. 2013. Disponível em: <<http://www.seplan.go.gov.br/sepin/pub/pib/pibmun2011/pibmun2011.pdf>>. Acesso em: 2 set. 2014.
- GOIÁS. Secretaria de Estado de Infraestrutura (SEINFRA). **Balço Energético do Estado de Goiás - 2013**. Goiânia, Seinfra. 2013.
- LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Goiás e Distrito Federal**. Goiânia: Secretaria de Indústria e Comércio de Goiás, 2006.

MOLDEN, D. **Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture**. London: Earthscan, and Colombo: International Water Management Institute., 2007. p. 48.

RODRIGUES, L. N. et al. **Pequenas barragens de terra na bacia do Rio Preto: distribuição espacial e área do espelho d' água**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...**2013

USGS, U. S. G. S. **Landsat Processing Details**. Disponível em:  
<[http://landsat.usgs.gov/Landsat\\_Processing\\_Details.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat_Processing_Details.php)>. Acesso em: 2 out. 2014.

WORLD COMMISSION ON DAMS, W. **Dams and Development: A New Framework for Decision-Making**. London: Earthscan Publications Ltd, 2000. p. 404