

DIAGRAMA UNIFILAR DE DADOS HIDROLÓGICOS EM BACIA HIDROGRÁFICA: PROPOSTA DE MODELO E PASSO A PASSO DE COMO FAZER CONSISTINDO OS DADOS

Juliano Santos Finck^{1}; Guilherme Mendoza Guimarães²; Amália Koefender³; Cecília Jardim Reis Souza⁴; Daniel Borges Almeida⁵; Francisco Fernando Noronha Marcuzzo⁶*

Resumo – Frequentemente se utilizam muitos dados de estações hidrometeorológicas, barramentos e cursos d’águas no meio dos recursos hídricos, o que pode dificultar a compreensão das relações intrínsecas entre esses dados. O objetivo desse trabalho é introduzir o conceito de diagrama unifilar aplicado ao contexto de recursos hídricos, e divulgar a metodologia desenvolvida para produção de diagramas unificares. Diagramas unificares podem ser confeccionados para facilitar a análise de diferentes atributos e agentes em uma bacia hidrográfica, auxiliando, por fim, em vários tipos de estudos hidrológicos. Divide-se a confecção de diagramas unificares nas seguintes etapas: obtenção de dados, preparação dos arquivos, visualização dos dados em programa de SIG, montagem do diagrama, e verificação dos dados. A organização dos dados de maneira sistêmica e resumida é particularmente útil para a prática da consistência de dados, etapa essa chave para modelagens hidrológicas.

Palavras-Chave – Barramentos, Fluviometria, Rede Hidrometeorológica Nacional.

SINGLE-LINE HYDROLOGIC DATA DIAGRAM FOR RIVER BASIN: MODEL PROPOSAL AND STEP-BY-STEP METHOD TO PERFORM ITS DATA CONSISTENCY

Abstract – Frequently quite a lot of hydrometeorological data from stations, dams and water courses are used on water resources studies, which can nevertheless complicate the comprehension of intrinsic relations within these data. The aim of this work is to introduce the concept of single-line diagram applied on the context of water resources, and to divulgate the methodology developed for single-line diagram composition. Single-line diagram can be made in order to ease analysis of different attributes and agents in a river basin, enhancing ultimately several kinds of hydrologic studies. The composition process of these diagrams may be categorized on the following steps: collecting data, organizing archives, visualizing data in GIS software, arranging the diagram, and consisting data. The arrangement of data in a systematized and summarized manner is particularly useful when consisting data, key-procedure for a decent hydrologic model.

Keywords – Dams, Fluviometry, Brazilian Hydrometeorological Network.

^{1,2,3,4,5} UFRGS-IPH - Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Av. Bento Gonçalves nº 9500 – Agronomia – CEP 91501-970, Porto Alegre/RS. ^{1,2,4}Graduando em Engenharia Ambiental ^{3,5}Engenheiro Ambiental. ^{1*}juliano.finck@gmail.com

²gmguiaraess@gmail.com ³amalia.koe@gmail.com ⁴ceciliajr@gmail.com ⁵engenheirodanielalmeida@gmail.com

⁶ Pesquisador em Geociências, CPRM / SGB - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil - Rua Banco da Província, n o 105 - Santa Teresa - Porto Alegre/RS - CEP 90840-030, Tel.:(51)3406-7300. francisco.marcuzzo@cprm.gov.br.

1. INTRODUÇÃO

Devido as limitações da percepção humana, abordagens puramente reducionistas e deterministas algumas vezes induzem hidrólogos a equívocos (RUI *et al.*, 2013). Savenije (2009) discorre sobre a atual falta de visão sistêmica no grande meio da hidrologia, citando dificuldades em modelar sistemas, vinculando a cientistas cada vez mais especializados na análise de compartimentos menores, em detrimento de compreender a bacia hidrográfica como um todo. É nesse contexto que se sugere nas próximas linhas uma abordagem de organização de dados hidrológicos de maneira sistêmica e sequencial.

O uso de diagramas unifilares em determinadas áreas da ciência, como em instalações elétricas, já está consagrado. Ainda assim, sendo tanto uma maneira de sintetizar informação como de representar relações sequenciais entre diferentes aspectos de um sistema, diagramas unifilares de dados hidrológicos em bacias hidrográficas são idealizados sobre fluxogramas de cursos d'água (KOEENDER e MARCUZZO, 2016). A esses também se concatena certas informações chave conforme o estudo hidrológico - *e.g.* no contexto de regionalização de vazões, adiciona-se o conjunto de estações fluviométricas (MARCUIZZO e MELATI, 2015); em outro trabalho o modelo de diagramas unifilares é utilizado descritivamente, visando representar um organograma de informações básicas (ALMEIDA *et al.*, 2016). Em trabalho recente, Guilherme *et al.* (2017) apresentam uma série de diagramas unifilares confeccionados para as sub-bacias 80–84, em que se concatenaram dados do inventário de estações hidrometeorológicas da ANA e de alguns barramentos do SIGEL. Os mesmos autores citam a aplicabilidade dos diagramas para modelagem de fluxo de cursos d'água, montagem de sistema de alerta contra enchentes, e estudos de interligação de bacias.

Verifica-se alguns poucos trabalhos que utilizaram diagramas unifilares no contexto da hidrologia em anos passados (CRUZ, 2001; REIS, 2002; LIMA, 2006; BRITO, 2010; MARTINS, 2015). Carece-se, porém, da existência de uma metodologia para confecção desses diagramas. Portanto, esse trabalho visa discorrer sobre o tema em linhas gerais. Valendo-se de exemplificação, discorrer-se-á sobre a confecção de um diagrama unifilar, com vistas à consistência de dados hidrológicos de estações fluviométricas e pluviométricas do inventário de estações hidro meteorológicas da Agência Nacional de Águas (ANA) e de barramentos do Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico (SIGEL).

2. MATERIAL E MÉTODO

A construção desses diagramas unifilares se divide nas seguintes etapas: obtenção de dados, preparação dos arquivos, visualização dos dados em programa de Sistema de Informações Geográficas (SIG), montagem do diagrama em Microsoft Word (MICROSOFT, 2010), e verificação dos dados. Para a confecção dos diagramas, num primeiro momento se consideram quais informações são realmente importantes para o estudo específico ao qual se propõem. Leva-se em consideração aqui o já difundido princípio da parcimônia.

2.1 Obtenção de dados – Etapa 1

A primeira etapa consiste em definir e obter os dados necessários para a montagem do diagrama. Comumente, faz-se uso de um modelo digital de elevação (MDE). Dado o contexto brasileiro, salvo alguns estados que possuem seus próprios modelos com melhor resolução espacial, sugere-se o uso das imagens do radar SRTM30, *Shuttle Radar Topography Mission*. Essas imagens, as quais possuem resolução horizontal de 30 metros, podem ser obtidas no sítio Earth Explorer (2014) do Sistema Geológico dos Estados Unidos (USGS). Assim, pode-se unir estes arquivos via

algoritmos em programas de SIG. Há um tutorial produzido por Koefender *et al.* (2014) que elucida passo a passo o processo, utilizando o programa ArcGIS 10.2 (ESRI, 2013).

No sítio do HidroWeb (BRASIL, 2005), sistema de informações hidrológicas, da ANA, pode-se obter o inventário de estações na aba *Softwares*, o qual é atualizado semanalmente. O inventário de barramentos pode ser obtido no sítio do SIGEL da Agência Nacional de Energia Elétrica no item Download, clicando em *shapefile*. Aqui diversos dados podem ser acessados, porém se costuma utilizar o conjunto de Aproveitamentos Hidrelétricos (AHE), o qual engloba usinas hidrelétricas (UHE), pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e centrais geradoras hidrelétricas (CGH). Idealmente seria indicado utilizar dados de todos os barramentos, inclusive aqueles sem aproveitamento hidrelétrico, pois também alteram o regime fluvial natural.

Ainda na primeira etapa se faz necessário a obtenção de dados atualizados dos limites de municípios do Brasil. Há no sítio do IBGE no item bases cartográficas, subitem em malhas digitais, arquivos *shapefile* de 2015, os quais são interpretáveis por programas de SIG. Também, quanto a hidrografia da região, pode-se obter tais dados no sítio do HidroWeb (BRASIL, 2005), no item de Portal de Metadados Espacial, conhecido também como GeoNetwork, sob o nome de Base Hidrográfica Ottocodificada. A ANA disponibiliza ainda arquivos digitais de hidrografia em 1:1.000.000 e 1:2.500.000 por bacias no mesmo sítio. Pode-se obter a hidrografia em 1:2.500.000 feita pelo IBGE em que constam cursos d'água e seus nomes. Sempre que possível, é bom utilizar uma base regional — *e.g.* no caso do Rio Grande do Sul, a de Hasenack e Weber (2010) é uma opção.

2.2 Preparação de dados – Etapa 2

A segunda etapa consiste na preparação dos arquivos para serem visualizados em programa de SIG. O primeiro processo consta em recortar os dados que serão realmente utilizados para a produção do diagrama já que em ambos os inventários constam localidades em todo território brasileiro. Outra razão é que o tempo de processamento diminui consideravelmente no momento de rodar algoritmos para obtenção de arquivos para cálculo de áreas de drenagem.

Os inventários apresentam estações e AHE os quais possuem dados de altitude, área de drenagem — exceto no caso de estações pluviométricas — posição geográfica e em que município foram alocados. Sendo o objetivo a consistência desses dados, utilizam-se as imagens de satélite do radar do SRTM30 para estimar a altitude e a área de drenagem para estações e AHE. Também, fazendo uso da malha digital de municípios de 2015 do IBGE, comparam-se os dados de municípios. Utilizando arquivos da hidrografia da região, pode-se comparar a informação de rios que consta nos inventários.

São diversos passos realizados para organizar essa gama de dados no programa de SIG. O passo-a-passo consta em suas minúcias no tutorial de Koefender *et al.* (2017). Alguns dos processos são simples importações para o programa de SIG, outros envolvem processos demorados dentro do próprio programa. Do processo para o cálculo de área de drenagem, um subproduto é um *raster* de acumulação de fluxo, o qual pode ser utilizado para estimar as distâncias ao longo do rio entre localidades, uma vez que esse dado pode ser bastante útil quando o objetivo da confecção do diagrama unifilar for a modelagem hidrológica. O já mencionado tutorial de Koefender *et al.* (2017) faz uso tanto do programa ArcGIS 10.2 (ESRI, 2013), como do programa Quantum GIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2017), ou apenas QGIS, o qual está por sua vez sob uma licença de programas livres.

2.3 Visualização de dados no programa de SIG – Etapa 3

Depois de todos dados já preparados no programa de SIG, parte-se propriamente para a terceira etapa: a visualização desses dados no programa de SIG. Desenvolveu-se uma simbologia para ambos os inventários de AHE e estações no QGIS, a qual se pode obter da leitura do tutorial de Koefender *et al.* (2017). No caso das camadas de drenagem e municípios, sugere-se uma simples definição de simbologia — *i.e.* cor azul e legenda de nome para drenagem; legenda de nome para os municípios. Uma descrição mais elaborada dessa etapa também consta descrita no mesmo tutorial citado acima.

Segue na Figura 1 uma imagem simplificada dos tipos de camadas utilizadas até então. A ambos os inventários já devem estar associados os valores estimados via SRTM30 de altitude e área de drenagem. A maneira de associar esses valores aos inventários está descrito em Koefender *et al.* (2017).

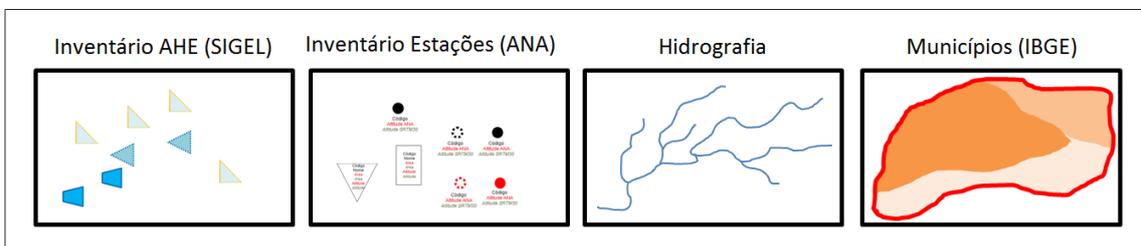


Figura 1 - Camadas presentes na etapa de visualização pós-processamento de dados.

2.4 Montagem do diagrama no Word – Etapa 4

A quarta etapa consiste em propriamente iniciar a montagem dos diagramas. Sugere-se utilizar os modelos que constam no tutorial de Koefender *et al.* (2017). Os diagramas são tipicamente desenhados no Word (MICROSOFT, 2010) para poderem ser facilmente editáveis futuramente. Pode-se utilizar também o programa Hidro desenvolvido pela ANA, o qual pode ser obtido do sítio da ANA. Esse programa pode auxiliar para ler os dados que constam no inventário ANA caso o usuário não tenha realizado certas etapas no momento de preparação dos dados, as quais constam também no tutorial já citado. Nesta etapa de montagem do diagrama, sugere-se utilizar o programa de GIS, o Word e, de maneira opcional, o programa Hidro na mesma janela (Figura2).

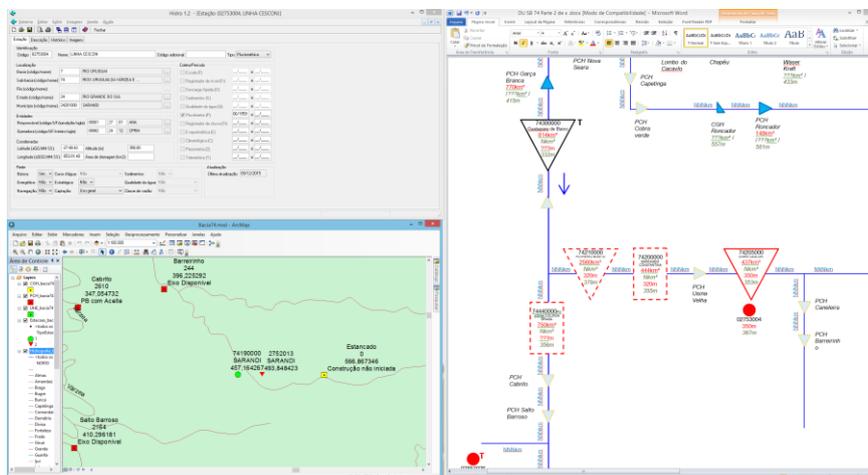


Figura 2 – Disposição das janelas utilizadas no momento da montagem de diagramas unifilares no Word.

No momento da verificação de dados, há um processo que pode ter sua valia discutida: utilizar as informações provindas do SRTM30. É necessário sempre levar em consideração que os produtos de SIG são ainda um tanto novos e carregam certas incertezas associadas. Pode-se citar, por exemplo, que quando consistindo estações em divisa de município, o inventário pode apontar que a estação está no município vizinho, e, estando esse logo do outro lado do rio, pode-se relevar essa discrepância.

Seria também equivocado supor que os valores de altitudes extraídos do SRTM30 são valores de elevação do terreno porque os valores do SRTM30 expressam um modelo digital de elevação, assumindo valores de copas de arvores e topos de prédios.

A consistência de dados, isto é, a verificação dos dados que serão utilizados é de vital importância. Em Tucci (2005) consta que uma das limitações básicas para modelos hidrológicos é a qualidade de dados; dados de entrada ruins, dados de saída também ruins. É nesse sentido que se elucida uma das aplicações dos diagramas unifilares.

Segue no Quadro 1 os sítios via os quais o material utilizado como apoio pode ser acessado.

Quadro 1 – Material utilizado direta e/ou indiretamente como apoio, neste estudo, para baixar da internet.

Material	Endereços (“links”) para Baixar Utilizando o Navegador de Internet
	----- Material Utilizado e Produzido no Estudo e Mapas Para Impressão em PDF -----
Este artigo em PDF	https://drive.google.com/file/d/0B08viPHIwmy2TW9rTERQZnROZVU/view?usp=sharing
Referência bibliográfica deste artigo segundo a ABNT/NBR 6023 de 2002	https://drive.google.com/file/d/0B08viPHIwmy2bTJ4ThhZQ1lrbGM/view?usp=sharing
Apresentação deste artigo – Pôster	https://drive.google.com/file/d/0B08viPHIwmy2M2J5dFRGaTk1Qkk/view?usp=sharing
Apresentação deste artigo – Oral	https://drive.google.com/file/d/0B08viPHIwmy2REgza3N4QIViaGc/view?usp=sharing
Tutorial de diagramas unifilares utilizado nesse artigo (Koefender <i>et al.</i> 2017)	https://drive.google.com/open?id=0B08viPHIwmy2ZFp1T1hyV0VoVm8
Diagrama unifilar SB 85, parte 2 de 14	https://drive.google.com/file/d/0B5VdVLE05QEajczcTJ5eI5TTA/view?usp=sharing

4. CONCLUSÃO

O uso de diagramas unifilares deve ser mais difundido no meio científico. Nota-se já a grande utilidade deles para dispor dados hidrológicos de uma maneira sequencial. Essa abordagem facilita a compreensão da dinâmica da bacia hidrográfica enquanto sistema, auxiliando por fim no estudo de fenômenos hidrológicos.

Possivelmente ainda há outras aplicações a serem encontradas tanto no meio da hidrologia, como em outras áreas da ciência. É evidente a utilidade para modelagem de fenômenos hidrológicos, em estudos tanto de regionalização de vazão como de previsão de eventos extremos.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a CPRM/SGB pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho e a bibliotecária Ana Lucia Borges Fortes Coelho da CPRM/SGB de Porto Alegre/RS.

Referências

- ALMEIDA, D. B.; KOEFENDER, A.; SOUZA, C. J. R.; MARCUZZO, F. F. N. Diagramas unifilares e mapeamento das estações F, FD, P, Pr e barramentos das sub-bacias 70 a 74 no Rio Uruguai. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 13., 2016, Aracaju. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.evolvedoc.com.br/srhne/detalhes-72_diagramas-unifilares-e-mapeamento-das-estacoes-f-fd-p-pr-e-barramentos-das-sub-bacias-70-a-74-no-rio-uruguai>. Acesso em: 22 maio 2017.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. Hidroweb: Sistema de informações hidrológicas. 2005. Disponível em: <<http://www.hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 22 maio 2017.
- BRITO, R. P. **Limitações do critério de vazão ecológica do estado do Tocantins : o caso das PCHs Agrotrafo e Palmeiras**. 2010. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS/IPH, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/49165>>. Acesso em 22 maio 2017.
- CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais**. 2001. 199 f. Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS/IPH, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/2602>>. Acesso em 22 maio 2017.
- EARTH explorer. Desenvolvido por U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2014. Permit your search in area: type in an address or place name, enter coordinates or click the map to define your search area (for advanced map tools, view the help documentation), and/or choose a date range. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 22 maio 2017.
- ESRI – Environmental Systems Research Institute. ArcGIS. **Sistema de Informação Geográfica para área de trabalho de computador**, versão 10.2. 2013. Disponível em: <<https://www.arcgis.com/features/>>. 22 maio 2017.
- GUIMARÃES, G. M.; ALMEIDA, D.B.; MARCUZZO, F. F. N. SIG na construção de diagramas unifilares das estações F, FD, P, Pr além das UHE, PCH, CGH das sub-bacias 80 a 84 na bacia hidrográfica do Atlântico – Trecho Sudeste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18. (SBSR), 2017, Santos. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0B5VdVLRtE05QESEdZZHpLbXNtWTQ/view?usp=sharing>>. Acesso em: 01 jun. 2017.
- HASENACK, H.; WEBER, E.(org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre, 2010. : UFRGS Centro de Ecologia. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD). Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/dados-espaciais/250-base-cartografica-vetorial-continua-do-rio-grande-do-sul-escala-1-50-000>>. Acesso em: 22 maio 2017.
- KOEFENDER, A. **Como Baixar Imagens SRTM30 (2014), Mosaicar, Calcular Área de Drenagem, Extrair Altitude, Gerar MDE e Criar Mapa de Declividade**. 2015a. 29 p. Tutorial. Manual desenvolvido durante o estágio no projeto de regionalização de vazões na CPRM-PA/GEHITE. Porto Alegre, 2015a. Disponível em: <<https://onedrive.live.com/view.aspx?cid=F3E4C2A1EA29981A&resid=f3e4c2a1ea29981a%21222&app=WordPdf&wdo=1>>. Acesso em: 22 maio 2017.
- KOEFENDER, A. e MARCUZZO, F.F.N. Modelo e conceituação de diagrama unifilar de bacia hidrográfica: o caso da sub-bacia 76. **Revista de Geografia**, Recife, v. 33, n. 3, p. 201-229, 2016. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/view/1084/788>>. Acesso em: 22 maio 2017.
- KOEFENDER, A.; SOUZA, C. J. R.; ALMEIDA, D. B; GUIMARÃES, G. M.; FINK, J. S.; MARCUZZO, F. F. N. **A CONCEPÇÃO DE DIAGRAMA UNIFILAR DE BACIA HIDROGRÁFICA PARA ESTUDOS DE INTERESSE HIDROLÓGICO: O passo a passo de**

- como obter as informações, como montar o diagrama unifilar e como verificar e corrigir seus dados inventariais básicos.** 2016. 87p. Tutorial. Manual desenvolvido na CPRM-PA/GEHITE. Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0B5VdVLRtE05QEeGw4MHN3b2V6b2s/view?usp=sharing>>. Acesso em: 30 dez. 2016.
- LIMA, H. V. C. **Análise da operação de sistemas de reservatórios utilizando lógica difusa, redes neurais artificiais e sistemas neuro-difusos.** 2006. Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS/IPH, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/9991>>. Acesso em: 22 maio 2017.
- MARCUZZO, F. F. N.; MELATI, M. D. A concepção e mapeamento dos diagramas unifilares das estações fluviométricas nas sub-bacias pertencentes à bacia hidrográfica do atlântico – trecho sudeste. In: Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, 26. (AESABESP), 2015, São Paulo, PR. Anais... São Paulo: SABESP, 2015a. P 1-20. 1 DVD. Disponível em: <http://www.evolvedoc.com.br/aesabesp/detalhes-676_a-concepcao-e-mapeamento-dos-diagramas-unifilares-das-estacoes-fluviometricas-nas-sub-bacias-pertencentes-a-bacia-hidrografica-do-atlantico-trecho-sudeste>. Acesso em: 22 maio 2017.
- MARTINS, L. R. **Viabilidade técnica da construção de banhados no espaço urbano para controle quali-quantitativo do escoamento pluvial.** 2015. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, UFRGS/Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2015. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/127702>>. Acesso em: 22 maio 2017.
- MICROSOFT office professional plus 2010. Versão 14.0.0760.1000 [S.l.]: Microsoft Corporation, 2010.
- QGIS Development Team. QGIS. Sistema de Informação Geográfica para área de trabalho de computador, versão 2.18.6. 2017. Licença de software livre GNU GPL. Disponível em: <<http://www.qgis.org/en/site/forusers/download.html>>. Acesso em: 22 maio 2017.
- REIS, L. G. de M. **Avaliação de critérios de outorga associados a políticas de operação de reservatório na bacia do Rio Moxotó, semi-árido brasileiro.** 2002. 202 f. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS/IPH, Porto Alegre, 2002. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5219>>. Acesso em: 22 maio 2017.
- RUI, X.; LIU, N.; LI, Q.; LIANG, X. Present and future of hydrology. **Journal of Water Science and Engineering**, Amsterdã, v. 6(3), p. 241-249, 2013.
- SAVENIJE, H.H.G. The art of hydrology. **Journal of Hydrology Earth System Sciences**, v. 13, p. 157-161, 2009.
- TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos.** Porto Alegre: UFRGS, 2005, 679 p. ABRH, Global Water Partnership.