



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO
CURSO DE ENGENHARIA DE BIODIVERSIDADE**

MAYKON RODRIGO GOMES DE BARROS

**APLICAÇÃO DE FUNÇÕES LINEARES NA DELIMITAÇÃO DOS
PULSOS DE VAZÕES NA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA ENGENHO
MATO GROSSO/PE**

**SUMÉ - PB
2018**

MAYKON RODRIGO GOMES DE BARROS

**APLICAÇÃO DE FUNÇÕES LINEARES NA DELIMITAÇÃO DOS
PULSOS DE VAZÕES NA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA ENGENHO
MATO GROSSO/PE**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Graduação em
Engenharia de Biosistemas, do Centro de
Desenvolvimento Sustentável do Semiárido
da Universidade Federal de Campina
Grande, em cumprimento as exigências
para obtenção do título de Engenheiro de
Biosistemas.**

**Orientador: Dr. Paulo da Costa Medeiros.
Co-orientador: Dr. George do Nascimento Ribeiro.**

**SUMÉ - PB
2018**

B277a Barros, Maykon Rodrigo Gomes de.

Aplicação de funções lineares na delimitação dos pulsos de vazões na Estação Fluviométrica Engenho Mato Grosso - PE. / Maykon Rodrigues Gomes de Barros. - Sumé - PB: [s.n], 2018.

43 f.

Orientadores: Professor Dr. Paulo da Costa Medeiros; Professor Dr. George do Nascimento Ribeiro.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Biosistemas.

1. Engenharia hidráulica. 2. Recursos hídricos. 3. Gestão das águas. 4. Hidrograma ambiental. I. Título.

CDU: 626(043.1)

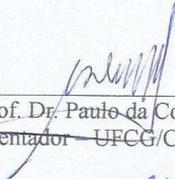
MAYKON RODRIGO GOMES DE BARROS

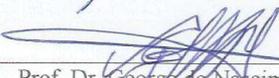
**APLICAÇÃO DE FUNÇÕES LINEARES NA DELIMITAÇÃO DOS PULSOS DE
VAZÕES NA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA ENGENHO MATO GROSSO/PE**

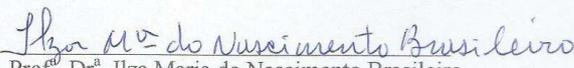
Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Biossistemas, do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Biossistemas.

Sumé, 06 de agosto de 2018.

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Paulo da Costa Medeiros
Orientador – UFCG/CDSA/UATEC


Prof. Dr. George do Nascimento Ribeiro
Co-orientador – UFCG/CDSA/UAEB


Prof. Dr. Ilza Maria do Nascimento Brasileiro
Examinador interno – UFCG/CDSA/UATEC


Prof. Dr. Bruno Rafael Pereira Nunes
Examinador externo – UFCG/CDSA/UAEB

Dedico esta monografia a toda minha família, em especial a minha mãe Maria Helenice, meu pai Luis Carlos, as minhas tias Maria do Socorro e Aurinete Corrêa, minha avô Dona Helena (*in memorian*), meu padrinho Robson Rafael (*in memorian*) por terem me ensinado ser uma pessoa de bem, humilde e prestativa, e que “devemos alcançar nossos objetivos, sem querer passar por cima de ninguém”. Também dedico de forma especial a Layane Carmem, por toda ajuda e companheirismo nessa caminhada acadêmica e a minha irmã Brigida Millena.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, por ter me dado saúde, paz e força nos momentos mais difíceis, ao qual pensei muitas vezes em desistir, mas hoje tenho a certeza que ele tem algo de bom para mim.

Agradeço de coração a toda minha família, pelas imensas vezes que me incentivaram a seguir em frente para que eu pudesse alcançar mais um objetivo na minha vida. Em especial, agradeço a minha mãe Maria Helenice, pelos abraços, carinhos e incentivos nos momentos de aflição. Ao meu pai Luiz Carlos e minha irmã Brígida Millena, obrigado pela força e apoio familiar. As minhas tias Maria do Socorro e Aurinete Corrêa, duas tias maravilhosas, entre elas, considero Maria do Socorro como minha segunda mãe, serei sempre grato pelo apoio, que por sinal não faltou em nenhum momento, como forma de retribuição, serei sempre prestativo, pois ajudaram a minha mãe nos momentos mais complicados.

A minha avó Dona Helena (*in memorian*), obrigado por tudo, a senhora foi maravilhosa, nunca me deixou na mão, sempre nos ajudou e incentivou a fazer o certo. Ao meu padrinho Robson Rafael (*in memorian*), esse cara vai estar guardado em meu coração, sempre me aconselhando, desde os seis anos de idade foi um padrinho presente, incentivador, passando todos os seus conhecimentos, até a sua despedida, no qual foi um dos momentos mais tristes e marcantes. Aos meus amigos(as), que lutaram e sei que irão lutar pela continuidade da Escolinha Professor Robson Rafael, muito obrigado pela ajuda: Roni Andrade, Allan Henrique, Anderson Itallo, Pamella Rafael, Ricardo Souza e Napoleão Camilo e minha madrinha Joseilda, obrigado por toda força; a caminhada foi longa e árdua, mas foi por um propósito especial.

Aos professores do CDSA, muito obrigado, por todo conhecimento repassado, em especial: Alex Albuquerque, Ilza Nascimento, Adriana Meira, Alecksandra Vieira, Edvaldo Eloy, Hugo Morais. Tenho uma maior gratidão pelos professores Paulo Medeiros e George Nascimento; vocês mudaram minha forma de agir, comecei a dar passos longos e evoluir através de seus ensinamentos. Um outro agradecimento, extremamente especial, a Layane Carmem, por toda ajuda e contribuição, pois sei que ela é uma das responsáveis por este momento. Pelas amizades feitas na universidade, Júlio e Jefferson. Aos secretários(as), técnicos de laboratório, entre eles Danilson e Rummenigge, grato pelas ajudas e contribuições, pois sei que foi feito um vínculo de amizade, também agradeço os funcionários(as) da empresa Zêlo que presta serviços à universidade.

“Aquele que não luta pelo futuro que deseja, deve aceitar o futuro que vier, pois, mais vale uma lágrima da derrota, do que à da vergonha de nunca ter lutado!” (Hudson Menezes).

RESUMO

Um capítulo à parte, na desafiadora jornada de pesquisas relacionadas à outorga de direitos de uso da água (um dos instrumentos de gestão da Lei N^o 9.433/97), é a definição de critérios para a vazão ecológica, tendo em vista que esta componente representa a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental no quantitativo fluvial, de maneira a preservar o ecossistema aquático ribeirinho. Várias metodologias têm sido desenvolvidas, desde critérios estatísticos, com valor único para todos os meses, até modelos holísticos, que mensuram níveis de *habitats* conforme variações de vazões. Uma forma alternativa, é considerar diferentes valores da vazão ecológica conforme o regime natural de fluxo, tendo em vista a importância da vida ripária segundo a variabilidade do escoamento no ano hidrológico. A presente pesquisa objetiva-se na delimitação dos pulsos de vazões através de funções lineares, em série histórica diária, que interligam as inflexões da ascensão e recessão de fluxo. A metodologia foi aplicada na série histórica de dados diários da estação fluviométrica Engenho Mato Grosso/PE no período de 01/01/1997 a 31/12/2006. Foram calculados índices de pulsos de vazões (IP) nas escalas diária e mensal, mensurando a proporção da variabilidade da delimitação frente ao escoamento fluvial. No ano 2000, o IP médio foi de 0,1427. O volume de pulsos foi dominante em 6.57% dos dias da série, com o ano 2000 com valores mais expressivos. O IP médio mensal destacou que, os meses de maio a julho apresentaram os maiores valores (em média 0,2172), e menores valores entre os meses de setembro a novembro (em média 0,0737), do ano 2000. A metodologia proposta mostrou-se como importante ferramenta em estudos sobre vazão ecológica, fortalecendo a visão hidrológica do regime de vazões para a confecção do hidrograma ambiental.

Palavras-chave: Gestão das Águas. Índice de Escoamento. Hidrograma Ambiental

ABSTRACT

A separate chapter, in research related to the granting of rights to the use of water resources (one of the instruments of management of Law N^o. 9.433 / 97), is the definition of criteria for the ecological flow, considering that this component represents the integration of the water resources management with the environmental management in the river quantitative, in order to preserve the riparian aquatic ecosystem. Many methodologies have been developed, from statistical criteria, with single value for every month, to holistic models, which measure habitat levels according to flow changes. An alternative way is to consider different values of the ecological flow according to the natural flow regime, considering the importance of the riparian life according to the variability of the flow in the hydrological year. The present research aims at delimiting flow pulses through linear functions, in a daily historical series, that interconnect inflections of ascension and flow recession. The methodology was applied in the historical series of daily data of the fluviometric station Engenho Mato Grosso/PE/Brazil (Period: 01/01/1997 to 12/31/2006). Flow pulses indexes (IP) were calculated in the daily and monthly scales, quantifying the proportion of the variability of the delimitation in relation to the fluvial flow. The mean IP was 0.1427. The volume of pulses was dominant in 6.57% of the days of the series, with the year 2000 with more expressive values. The mean monthly IP showed that the months of May to July presented the highest values (mean 0.2172), and lower values between the months of September to November (mean 0.0737). The proposed methodology proved to be an important tool in ecological flow studies, contributing to the hydrological vision of the flow regime for the construction of the environmental hydrograph.

Keywords: Water Management. Flow Index. Environmental Hydrograph

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Princípios para a confecção do hidrograma ambiental e o comportamento hídrico no contexto ecológico: a) Hidrograma e a variabilidade observada em escala reduzida (b) e a relação rio-aquífero.....	26
Gráfico 1 - Delimitação dos pulsos de vazão: (a) traçado e área em destaque para determinação do índice de pulsos (b).....	31
Gráfico 2 - Série temporal de dados de vazões diária e média mensal - estação fluviométrica Engenho Mato Grosso /PE (Período: 01/01/1997 a 31/12/2006)	32
Gráfico 3 - Delimitação dos pulsos de vazões - estação fluviométrica Engenho Mato Grosso /PE (Período: 01/01/1997 a 31/12/2006).....	32
Gráfico 4 - Índice de pulsos de vazões na escala diária - estação fluviométrica Engenho Mato Grosso/PE (Período: 01/01/1997 a 31/12/2006).....	33
Gráfico 5 - Índice de pulso médio mensal - estação fluviométrica Engenho Mato Grosso /PE (Período: 01/01/1997 a 31/12/2006).....	34
Mapa 1 – Estações fluviométricas da bacia do rio Sirinhaém/PE	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima

CEPAL - Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe

COBH₅ - Comitês de Bacia Hidrográfica do Estado de Pernambuco

CONSUS - Conselhos Gestores de Reservatórios

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

CRH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos

ELOHA - Limites Ecológicos de Alteração Hidrológica

HIDROWEB - Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Água

IP - Índice de Pulsos

ITEP - Instituto de Tecnologia de Pernambuco

MMA - Ministério do Meio Ambiente

OMM - Organização Meteorológica Mundial

ONU - Organização das Nações Unidas

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

Q₉₅ – Corresponde a vazão presente no rio, durante pelo menos 95% no tempo

Q₉₀ – Representa 80% da vazão referencial quando não houver barramento em rios perenes, de acordo com o estado de Pernambuco e 90% da Vazão referencial quando houver barramento em curso d'água intermitente, de acordo com estado de Pernambuco

Q_{7,10} – 50% da Vazão Referencial.

SEMA - Secretaria de Estado de Meio Ambiente

SIGRH - Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SINGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SNIRH - Sistema de Informações Sobre Recursos Hídricos

SRHE - Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos

TW - Transformada de Wavelet

UP - Unidade de Planejamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 A EVOLUÇÃO DO GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL.....	16
3.2 POLITICA DE RECURSOS HIDRICOS NO ESTADO DE PERNAMBUCO	17
3.3 INSTRUMENTOS DE GESTÃO	18
3.3.1 Outorga dos direitos de uso da água	18
3.4 VAZÃO ECOLÓGICA	20
3.5 SÉRIES TEMPORAIS	22
3.5.1 Série Temporal de Vazão	23
3.5.2 Pulsos de Vazões	24
4 MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	28
4.2 DADOS E METODOLOGIA	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6 CONCLUSÃO	36
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da população nas últimas décadas, o crescimento das demandas em diversos setores da sociedade condicionaram impactos negativos ao meio ambiente. A problemática quanto ao uso de qualquer recurso natural, se dá não só pela carência da gestão, mas também, pela complexidade que envolve processos, planejamento e gerenciamento, aspectos tanto mensuráveis como subjetivos, diante da tríade da sustentabilidade (social, econômico e ambiental). De sobremaneira, os recursos hídricos são os mais afetados, reconhecidamente escassos, especialmente relacionado às atividades humanas.

No Brasil, também com desafios de melhoria no controle das águas, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos em 08 de janeiro de 1997, a Lei de N.º 9.433. Desta, verifica-se, dentre outros destaques, que água é um bem de domínio público, dotado de valor econômico e a bacia hidrográfica é a unidade de gerenciamento. A outorga, um dos instrumentos de gestão, concede ao usuário o direito pelo uso da água por tempo determinado.

Nesse contexto, destaca-se o “zoneamento das águas”, que é a definição dos usos adequados, ou não, nas diversas áreas de uma bacia hidrográfica, levando-se em consideração as características naturais, condições atuais e projeções futuras para garantias da qualidade ambiental (MACIEL Jr., 2000).

Considerado um instrumento de administração e controle, a outorga é administrada pelo poder público, com o papel de comandar a autorização pelo uso da água com condições e tempo pré-instituídos, incluindo uma suspensão temporária ou definitiva caso seja comprovado em uma determinada fiscalização (CAROLO, 2007). Dentre os critérios para estimativa de outorga, os mais empregados são os de cunho estatístico. Tucci e Mendes (2006), observam que, para ser definida uma vazão de referência no Brasil, é necessária a realização de funções hidrológicas, como a Q90 consideradas a vazão observada por 90% do tempo da sua série histórica, a Q95 que é representada por 95% das observações e a $Q_{7,10}$, referente a vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno.

Um aspecto fundamental dentro dos aportes de vazão outorgável é a quantificação da demanda ecológica/ambiental. Esta se refere à quantidade mínima que não se pode utilizar nas diferentes modalidades de usuários de água, tendo em vista ser o suprimento relacionado à ecologia aquática. Para Cruz (2000), a vazão ecológica é definida como “a vazão necessária para que sejam preservadas as condições de pulso hidrológico, transporte de sedimentos e nutrientes, sincronidade com o ciclo de vida das espécies silvestres da fauna e flora e a taxa

de perturbações necessárias à renovação e funcionamento dos ecossistemas associados ao curso de água, ou seja, a vazão necessária para manter as funções que mantém o mosaico de biótipos que compõem o rio, nos seus leitos maiores e menores”.

De acordo com Silveira et al. (1998) e Cruz (2001), as vazões que sobram da subtração das demais vazões são utilizadas para o abastecimento necessário da população e da vazão ecológica podem ser outorgadas para outros fins diante liberação.

A quantificação das instituições responsáveis pela instrução dos processos de outorga é restringida pela situação habitualmente verificada: ausência de dados hidrológicos e ecológicos na maior parte dos rios brasileiros (SILVEIRA et al., 2005). Diante dessas análises, podemos compreender que na vazão ecológica há decorrências de ações legais e técnicas que objetivam resultados eficazes na gestão dos recursos hídricos.

Segundo Furey e Gupta (2001); Brodie e Hostetler (2005), a divisão entre o escoamento subterrâneo e o escoamento superficial direto no hidrograma é considerado um método que permite compreender a magnitude e a dinâmica da descarga de águas subterrâneas e dos processos de escoamentos superficial direto em bacias hidrográficas. A análise de hidrogramas (curva vazão versus tempo) representa complemento importante no contexto hidrológico, apoiando desde a esfera da modelagem até o aspecto de gestão das águas em uma bacia hidrográfica.

Para Corrar e Theóphilo (2004), uma série temporal compõe uma grande quantidade de dados que, por determinados fatores, podem ter variações sob diversas influências. Motiva-se, nesse sentido, a análise de tendências, variações cíclicas, variações sazonais e as variações irregulares. Sabendo que, essa série temporal, torna-se uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, ao analisar os dados de estações pluviométricas e fluviométricas, é possível identificar limites em conformidade com a sazonalidade, ou quão estes estão além ou aquém da média histórica de dados.

Nesse contexto, o presente trabalho focaliza-se na delimitação da variabilidade fluvial em série temporal diária (hidrograma) da estação Engenho Mato Grosso, localizada na bacia hidrográfica do rio Sirinhaém, no município de Rio Formoso/PE. A análise de dados, segundo índices de escoamento visa apoiar a gestão de recursos hídricos, em especial à vazão ecológica, fundamental para definição da outorga de direitos do uso da água, um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Aplicar funções lineares na delimitação dos pulsos de vazões em série histórica diária da estação fluviométrica Engenho Mato Grosso/PE, visando apoiar a vazão ambiental no contexto da variabilidade do escoamento ao longo do ano hidrológico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir as estações fluviométricas, períodos de simulação e análise de dados;
- Traçar o hidrograma e delimitar os pulsos de vazão fluvial diária;
- Determinar os índices de escoamento no aporte delimitado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A EVOLUÇÃO DO GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

Em 1977, foi realizada a primeira Conferência das Nações Unidas sobre a Água, na cidade Mar del Plata, Argentina, aonde teve como ponto principal a necessidade da reforma e modernização da gestão dos recursos hídricos, cujo Plano de Ação recomendava, entre outras, que cada país devia formular e analisar uma declaração geral de políticas em relação ao uso, à ordenação e a conservação da água (CEPAL, 1998).

Foi criada a comissão da Organização das Nações Unidas (ONU), em 1983, para observar os principais problemas ambientais do planeta e assim indicar soluções para a preservação do meio ambiente. No mesmo ano, foi realizado em Brasília, o Seminário Internacional de Gestão de Recursos Hídricos, aonde foram realizados vários encontros nacionais de órgãos gestores de recursos hídricos (ANA, 2018b).

A partir disso, a Constituição Federal de 1988, estabeleceu que os rios de fronteira ou de limite interestadual e rios que atravessam mais de um estado ou país é de domínio federal e os rios internos aos estados e águas subterrâneas pertencem ao domínio estadual. Foi determinado pelo artigo 21, inciso XIX, que é competência da União “instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direito de seu uso”.

Em 1997 foi criada a Política Nacional de Recursos Hídricos através da Lei N.º 9.433, também conhecida como Lei das Águas, que teve como contextualização a introdução de novos conceitos no gerenciamento de recursos hídricos, tais como a descentralização, participação de novos atores e a bacia hidrográfica, como unidade territorial preferencial de gestão para implementação.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) estabeleceu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), constituído por instâncias participativas de formulação e deliberação (conselho e comitês de bacias), instâncias de formulação de políticas governamentais (secretarias de Estados e Ministérios do Meio Ambiente – MMA) e instâncias de implementação e regulação (Agência Nacional de Águas – ANA, órgãos gestores e agências de água) (ANA, 2018a).

A Lei N.º 9.984/2000 é a Lei de criação da Agência Nacional de Águas e por meio dela, compete a ANA, corresponder os fundamentos, objetivos e diretrizes da PNRH,

organizar, implantar e gerir o SNIRH. Nessa normativa, a ANA tem o dever de disciplinar em caráter normativo, a implementação, a operacionalização, o controle e a avaliação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, o que inclui o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, que no domínio nacional, se configura SNIRH.

3.2 A POLÍTICA DE RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DE PERNAMBUCO

Após um ano da aprovação da Lei das Águas, foi implementado a partir de 1998, o Subprograma de Desenvolvimento Sustentável de Recursos Hídricos para o Semiárido Brasileiro – PROÁGUA/Semiárido, programa proveniente de um acordo com o Banco Mundial através de um empréstimo, e que tinha como objetivo garantir a ampliação da oferta de água de boa qualidade, com utilização racional, de tal modo que sua escassez relativa não continuasse a construir impedimento ao desenvolvimento sustentável da região. Sendo alcançado uma área de 1 milhão de km² nos nove estados da região nordeste e mais o estado de Minas Gerais, que possui áreas de região semiárida, envolvendo bacias de rios federais, responsabilidades da União e estaduais (EMBRAPA, 2018).

No estado de Pernambuco a Lei N.º 11.426/1997, dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Plano Estadual de Recursos Hídricos, que institui o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SIGRH. A maior dificuldade na fase de elaboração do programa de gestão participativa foi adotar a bacia hidrográfica como unidade de referência localizada em uma região onde os rios em sua maioria são intermitentes, além da dependência dos reservatórios para o acesso aos diversos usos da água (ANA, 2018a).

Integram-se no SIGRH: o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH), o órgão superior deliberativo e consultivo do Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos; os Comitês de Bacias Hidrográficas do estado de Pernambuco (COBHs), parlamentos nos quais a sociedade manifesta seus interesses, define as prioridades para cada bacia hidrográfica; os Conselhos Gestores de Reservatórios (CONSUS), colegiados formados por representantes do poder público, dos usuários de água e da sociedade civil para atuar na área de influência de um açude; a Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos (SRHE), responsável pela formulação e gestão integrada das Políticas de Recursos Hídricos e de Saneamento; e a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) é responsável pela execução da Política de Recursos Hídricos (APAC, 2018).

3.3 INSTRUMENTOS DE GESTÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos tem como objetivos e diretrizes alcançar a gestão das águas por meio dos instrumentos (Art. 5º), sendo eles: os Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de águas em classes, segundo os usos principais da água; a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos; a cobrança por esse uso; e o sistema de informações sobre recursos hídricos.

Porto e Porto (2008), citam que é discutível a aplicação do instrumento de cobrança pelo uso da água aos rios da região amazônica, porém bacias bastante críticas, como a do Alto Tietê localizada no estado de São Paulo, precisa de mais instrumentos de incentivos a boas ações do que aqueles listados na norma legal, sendo assim considerado um dos pontos fortes e amplos da lei das águas, permitindo assim, adaptar-se a gestão às particularidades de cada bacia hidrográfica.

Os Planos de Recursos Hídricos são instrumentos de planejamento que servem para orientar a sociedade, e particularmente a atuação dos gestores, no que diz respeito ao uso, recuperação, proteção, conservação e desenvolvimento dos recursos hídricos (ANA, 2018c).

Segundo Machado (2002), a gestão integrada dos recursos hídricos adota várias dimensões e abrange diferentes e complexas conotações: no primeiro caso, reconhece os processos de transporte de massa de água do ciclo hidrológico; no segundo ponto, avaliado como recursos de utilidades múltiplas; terceiro caso encontra-se constante relação com os elementos dos ecossistemas (fauna, flora e solo); o quarto ponto, envolve participação dos gestores, usuários e população no planejamento e na gestão desses recursos, levando em consideração, que devem ser acatadas as necessidades da sociedade de desenvolvimento socioeconômico com preservação do meio ambiente.

3.3.1 Outorga dos direitos de uso da água

Silva & Monteiro (2004), definiram que a outorga do uso da água é, considerado um instrumento essencial ao gerenciamento dos recursos hídricos, pois dentro de suas características, ela possui aspectos técnicos, legais e econômicos que, bem organizados, contribui para que ocorra o sucesso da implementação de um sistema racionalizado de uso dos mananciais. Wurbs & Walls (1989) e Pires (1996), relataram que esse instrumento é eficiente para tratar escassez quantitativa, uma vez que há uma valorização econômica sobre um bem finito.

A definição da vazão outorgável (quantidade de água a ser disponibilizada para os seus diversos usos), direciona-se à critérios hidrológicos, através dos múltiplos usos, a capacidade de suporte do ambiente e a procura do desenvolvimento sustentável (ANA, 2011). Segundo Almeida (2003), a função da outorga é ratear a água disponível de acordo com as demandas existentes ou potenciais, para assim alcançar melhores resultados à sociedade. Estes poderão estar relacionados ao abastecimento industrial, público e à sustentabilidade ambiental sendo, este último, relacionado a manutenção da vazão mínima do curso de água, ou seja a vazão ecológica.

A outorga deve ser observada como instrumento de alocação de água entre os mais diversos usos de uma bacia hidrográfica (ANA, 2011). Segundo Silva e Monteiro (2004), a alocação deve analisar os aspectos quantitativos, qualitativos, o uso racional e a distribuição temporal e espacial da água. Os mesmos autores afirmam que, devem ser analisadas questões técnicas relacionadas a hidrologia, hidráulica e qualidade de água, questões legais tratando de competências, direitos e deveres dos usuários, bem como questões políticas sobre os acordos entre usuários e governos para o desenvolvimento sustentável da bacia e a articulação institucional.

Segundo a Lei N.º 9.433/1997, a Agência Nacional de Águas é a instituição responsável pela avaliação técnica para a emissão da outorga de direito de uso da água em corpos hídricos de domínio da União. De acordo com a Constituição Federal, corpos de água de domínio da União são considerados os lagos, rios e correntes d'água que fluem por mais de um estado, possuem limites com outros países ou unidades de Federação. Para corpos hídricos de domínio dos estados e do Distrito Federal, a solicitação de outorga deve ser solicitada junto ao órgão gestor estadual de recursos hídricos.

O Requerimento de Outorga deve ser solicitado pelo usuário juntamente com um profissional competente, seja para utilizar águas superficiais ou subterrâneas, advindo de um plano de como será utilizado tal recurso hídrico. O órgão competente analisará o pedido e expedirá o documento se o plano estiver de acordo (SEMA, 2014).

Para compatibilizar as demandas e ofertas de água em um bacia hidrográfica, a gestão do uso racional deve seguir o desenvolvimento sustentável, com o mínimo de dano possível ao meio ambiente, com quantidade efetivamente disponível, tendo já subtraída as vazões mínimas (CURADO & STEFFEN, 2015). Assim sendo, antes mesmo da definição da vazão outorgável, atenta-se para o componente fundamental cujo aporte de água deverá ser mantido

no corpo hídrico, de maneira sustentável para condicionar a ecologia aquática que relaciona a vida ripária ao longo do ano hidrológico, trata-se da vazão ecológica.

3.4 VAZÃO ECOLÓGICA

Cruz (2005) e Medeiros et al. (2011), avaliam que a vazão ecológica é a quantidade de água que deve permanecer no leito dos rios para atender à necessidade das demandas do ecossistemas aquático, para preservação da fauna e flora associada ao corpo hídrico. Benetti et al. (2003), ressaltam que a quantidade de água utilizada de um curso fluvial para atender usos externos bem como o abastecimento público, industrial, dessedentação animal, irrigação, energia elétrica entre outros, não devem afetar a vazão ecológica.

Jowett (1997) e Sarmento (2007), destacam que existem vários métodos de determinação da vazão ecológica e são classificados de acordo com seus procedimentos metodológicos adotados, em hidrológicos (histórico de fluxo), hidráulicos (geometria hidráulica), *hábitats* e holísticos.

Sarmento (2007) cita algumas metodologias para a determinação da vazão ecológica: os métodos hidrológicos, utilizam dados gerados através de séries temporais de vazões diárias ou mensais, para assim realizar recomendações referentes a vazão ecológica a serem adotadas; os hidráulicos, são consideradas as alterações em variáveis simples, como perímetro molhado ou profundidade máxima, sendo medidas numa única seção transversal dos rios; os métodos que considera os níveis de *habitat*, tem como principal objetivo avaliar a vazão ecológica quanto ao *habitat* físico disponível para as espécies pesquisadas; os holísticos, identificam os eventos críticos de vazões em função do critério estabelecido para variabilidade, considerando alguns componentes principais ou parâmetros do ecossistema do rio (aspectos das cheias, secas e qualidade da água), atentando às espécies sensíveis a tal variabilidade, como invertebrados, plantas e animais (ARTHINGTON et al., 1992).

Collischonn et al. (2006), destaca que durante anos, a visão de vazão ecológica era observada como sendo fluxo remanescente/residuais que deveriam ser mantidos em épocas de estiagem predominante que representa uma das vertentes da definição de vazão ecológica. Outra vertente, mais robusta, é o conceito do regime natural do rio, que não se restringe unicamente à definição de vazão mínima fluvial, pois esta poderia estar acima ou abaixo de uma demanda ecológica ideal, mas inclui nas variabilidades sazonais do rio.

Para análise da qualidade ambiental de um rio, deve-se atentar que os ecossistemas associados são intensamente dependentes do regime hidrológico, sendo incluso as magnitudes das vazões mínimas, máximas, o tempo das estiagens e das ocorrências das cheias, a frequência e a época de acontecimentos desses eventos, entre outros fatores (POFF et al., 1997; BUNN & ARTHINGTON, 2002; POSTEL & RICHTER, 2003; NAIMAN et al., 2002).

Craig (2000), enfatiza que na maioria dos casos as alterações no regime hidrológico colaboraram para a extinção de espécies nativas e para a invasão por espécies exóticas. O mesmo autor afirma, que essas invasões causam impactos significativos, ao ponto de desaparecimento de espécies exóticas, proporcionando inviabilidade de algumas atividades de comunidades tradicionais, as quais necessitam dos recursos naturais e tiveram perda de fertilidade de solos de planície, que dependiam dos nutrientes depositados durante as cheias nas zonas ribeirinhas ou nas proximidades dessas.

Postel & Richter (2003) abordam que a quantificação dos aspectos fundamentais de acordo com o regime hidrológico para a manutenção dos ecossistemas, agrupam as seguintes características: (1) vazão de base no período úmido e seco; (2) cheias normais, decorrentes por todos os anos; (3) cheias extraordinárias, que não ocorre ao longo dos anos; (4) vazões mínimas extraordinárias; (5) taxas de variação da vazão ao longo do tempo; (6) variabilidade interanual de todas as características anteriores.

Para realizar a diferenciação das descargas mínimas, Pereira (2004), considerou as vazões adjuntas as permanências de 95% (Q95) e 90% (Q90), frequentemente utilizadas em projetos de outorga para uso da água. Já Vestena et al. (2012), destaca o uso da vazão média mínima de sete dias com período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$), derivada de dados de estimativa estatística da disponibilidade hídrica dos escoamentos naturais de água, sendo capítulo importante para o instrumento da Política Nacional dos Recursos Hídricos do Brasil.

De acordo com Medeiros et al. (2011), no Brasil, as autorizações de uso dos recursos hídricos são permitidos por meio de um valor único de vazão ecológica, adquiridos por técnicas hidrológicas que não consideram as limitações hídricas nos regimes naturais de vazões (a escala espaço-temporal e a variabilidade hidrológica) e os padrões dos *hábitat* (aspectos dos *micro-hábitats* ao longo do curso d'água com a alteração fluvial).

Muitos autores atribuem a denominação de vazão ambiental como conceito que incorpora as atividades humanas à vazão ecológica, como sendo o “resultado das negociações

com os diversos atores envolvidos, tendo como ponto de partida a vazão ecológica, e considerando os múltiplos usos da água” (NEVES, 2010).

3.5 SÉRIES TEMPORAIS

De acordo com Makridakis et al. (1998), é denominada como “série temporal” uma sequência de valores de uma variável observada em intervalos de tempo igualmente espaçados. Bayer et al. (2012), entendem que uma série temporal é um conjunto de observações ordenadas no tempo, e que os processos que compõem o ciclo hidrológico como: chuva, vazão, evaporação, infiltração, entre outros; por serem objetos de medições sistemáticas em tempos discretos, podem ser tratados como séries temporais.

Morettin e Tolo (2004) dizem que os modelos utilizados para descrever séries temporais são processos estocásticos, isto é, processos controlados por leis probabilísticas. E ainda classificam os modelos de séries temporais em: paramétricos, cuja análise é feita no domínio do tempo; e os não paramétricos cuja análise é realizada no domínio da frequência.

Mortatti et al. (2004) cita que as séries temporais de vazão são o resultado da integração dos componentes do ciclo hidrológico e, conseqüentemente, das influências naturais e antrópicas numa determinada região. Essas séries têm fundamental importância como subsídio para as tomadas de decisões em relação à racionalização do uso da água e à preservação desse recurso. A análise de séries temporais consiste em procurar alguma relação de dependência temporal entre os dados, identificando o mecanismo gerador da série com o objetivo de extrair periodicidades relevantes nas observações; descrever o seu comportamento e fazer previsões (BAYER & SOUZA, 2010).

“As variáveis hidrológicas têm sua variabilidade registrada por meio das chamadas séries temporais, as quais reúnem as observações ou medições daquela variável, organizada de modo sequencial de sua ocorrência no tempo (ou espaço)” (NAGUETINI & PINTO, 2007).

Os modelos de séries temporais são ferramentas importantíssimas e têm sido bastante utilizada nos mais diversos campos do conhecimento (SERRA et al., 2005). No que se diz respeito à hidrologia, Pinheiro et al. (2010) cita que o conhecimento de variáveis e funções hidrológicas, em uma dada seção fluvial, assim como suas séries temporais de vazões médias diárias, viabiliza o planejamento, projetos e a operação de estruturas de aproveitamento de recursos hídricos, em bacias hidrográficas monitoradas. Fogliatto (2003) enfatiza que as

vantagens desta técnica estendem-se desde auxílio ao planejamento de infraestrutura, reduzindo riscos inerentes ao processo decisório das atividades.

3.5.1 Série Temporal de Vazão

Na ciência hidrológica, o uso de modelagem para estimativas de disponibilidade de água tem sido aplicado, principalmente, para horizontes de vazões de curto e médio prazos, em função das mudanças de uso e ocupação do solo, ressaltando-se assim, a importância do planejamento e gerenciamento das águas (PEREIRA et al., 2016).

Os estudos hidrológicos exigem, em sua maioria, a manipulação de dados de vazão e sua representação gráfica, para que se tenha uma visão do comportamento hídrico do rio para o uso em obras hidráulicas (PINHEIRO & BADIA, 2008). Essa representação gráfica é chamada de hidrograma ou hidrógrafa, onde se verifica a distribuição da vazão em função do tempo numa dada seção de um curso d'água (RIGHETTO, 1998). O mesmo autor cita que o hidrograma pode ser considerado como resposta da bacia hidrográfica a partir das suas características fisiográficas que regem as relações de acordo com a chuva e o escoamento de uma bacia hidrográfica, a uma dada precipitação e a contribuição do aquífero de acordo com a sua distribuição da vazão em função do tempo em uma determinada seção de um curso d'água.

Tucci (2009) descreve que para a determinação do hidrograma do projeto de uma bacia hidrográfica são necessários dois elementos principais, a separação do volume de escoamento superficial e a propagação deste volume para jusante.

O hidrograma pode ser dividido em três partes principais: ascensão, com forte consequência da intensidade da precipitação; região do pico, próximo ao valor máximo, quando a taxa do aumento de vazão começa a diminuir, devido à redução da precipitação, à inflexão do início do decaimento de vazão; e por fim a recessão, momento em que, apenas o escoamento subterrâneo está contribuindo para a vazão total do rio (TUCCI, 2009). Essa subdivisão é considerada satisfatória para os estudos, planejamentos e manuseio dos recursos hídricos (AKSOY et al., 2009).

Medeiros et al. (2011) ressalta que o hidrograma contempla todo o desempenho hídrico da bacia e suas subdivisões simulam o comportamento da água no rio volumetricamente com o tempo, e representa informação de grande utilidade para o planejamento dos recursos hídricos. Logo, essa distribuição pode ser considerada como a resposta da bacia hidrográfica

ou área de drenagem, a partir do momento que houver as chuvas que caem sobre a área (RIGHETTO, 1998).

Regiões urbanas, normalmente concentram mais áreas com maior impermeabilização, cujo aumento, condiciona escoamento superficial com altas velocidades, picos com maiores magnitudes, comparando-se com regiões florestais/rurais (WATTS & HAEKE, 2003).

A variabilidade da vazão de rios é determinada por fatores relacionados à interação entre a precipitação e a fisiologia da bacia (TUCCI, 2009), refletindo a importância da variabilidade espacial da precipitação para os padrões de vazão de rios. Assim sendo, a análise da hidrógrafa permite associar as alterações volumétricas na seção de fluxo analisada. O comportamento do aumento ao decaimento dos níveis de água, e vice-versa, pode ser diagnosticado em escalas temporais diferenciadas, como nos períodos anuais, passando pela sazonalidade, até fluxos diários. Tal análise, configura-se assim, uma importante ferramenta na gestão das águas.

3.5.2 Pulsos de Vazões

Segundo Bunn & Arthington (2002), existem vários estudos que fornecem uma base de compreensão científica quanto a alteração de fluxo, como por exemplo: magnitude, frequência e tempo, que induzem uma variedade de respostas. Poff et al. (2010), destaca que é necessário avançar no conhecimento das alterações de fluxo, para ter uma compreensão da resposta ecológica, apoiando assim no desenvolvimento de diretrizes de fluxo regional denominando, ELOHA – Limites Ecológicos de Alteração Hidrológica.

Atentando-se ao conceito de “pulso de hidrológico” na definição de vazão ecológica (CRUZ, 2000), incorpora-se nesse aspecto a importância da variabilidade hidrológica, influenciada pela magnitude, duração, frequência, tempo e taxa de mudança de fluxo (POFF et al., 1997) bastante citada na ciência hidroecológica (BEUGLY & PYRON, 2010; ISRAEL, 2017).

Resume-se tais parâmetros: magnitude das vazões, bastante conexa com as condições hidroclimatológicas na área da bacia; frequência, relacionada com a recorrência da magnitude, a previsibilidade de fluxo com magnitude definida; tempo, duração associada a uma condição de fluxo específica (como, sazão, inundação, domínio de base) ou tempo de vazão de referência (como, quantidade de dias que excede determinado valor no ano hidrológico); taxa

de mudança de fluxo, referindo-se a quão rapidamente o fluxo muda de uma magnitude para outra.

Jacobson & Galat (2006) citam que muitos, dos grandes rios, têm regimes de fluxo alterados por barragens (ZHANG et al., 2016), desvios e mudanças hidrológicas na bacia hidrográfica, uma vez que a forma do canal foram alteradas por obras hidráulicas, em forma de diques, açudes e represas. Nesse sentido, as alterações de médio e longo prazos devem ser consideradas.

Já para o fluxo natural de um rio, a observação quanto a variação, será diferenciada notadamente pela escala de tempo avaliada, na ordem de horas, dias, estações do ano, anos e assim por diante (DUNNE & LEOPOLD, 1978 ; POFF et al., 1997). Rocha (2009; 2010) cita que é necessário se fazer uma observação, ao longo de muitos anos, em estações fluviométricas para que assim possa se descrever as características do padrão de fluxo de um rio, em termos de quantidade, periodicidade e variabilidade, que é o seu regime de fluxo natural, sendo que, normalmente, os estudos sobre alterações hidrológicas dos rios se referem aos efeitos a jusante de uma determinada barragem.

Nas últimas décadas tem sido crescente a atenção por parte dos ecologistas em teorias que incorporassem a grande variabilidade temporal nos ambientes lóticos, em especial no que diz respeito o comportamento do fluxo de água (POFF & WARD, 1989; JACOBSON, R.B & GALAT, 2006; POFF & ZIMMERMAN, 2010). A perspectiva ecológica básica, baseia-se nos eventos extremos tendo altos e baixos fluxos, exercendo pressão seletiva sobre as populações ribeirinhas, afim de destacar o sucesso e regular as taxas de processo dos ecossistemas de diferentes espécies em relação as variações do fluxos “sub-letais” (RESH et al., 1988; HART & FINELLI, 1999).

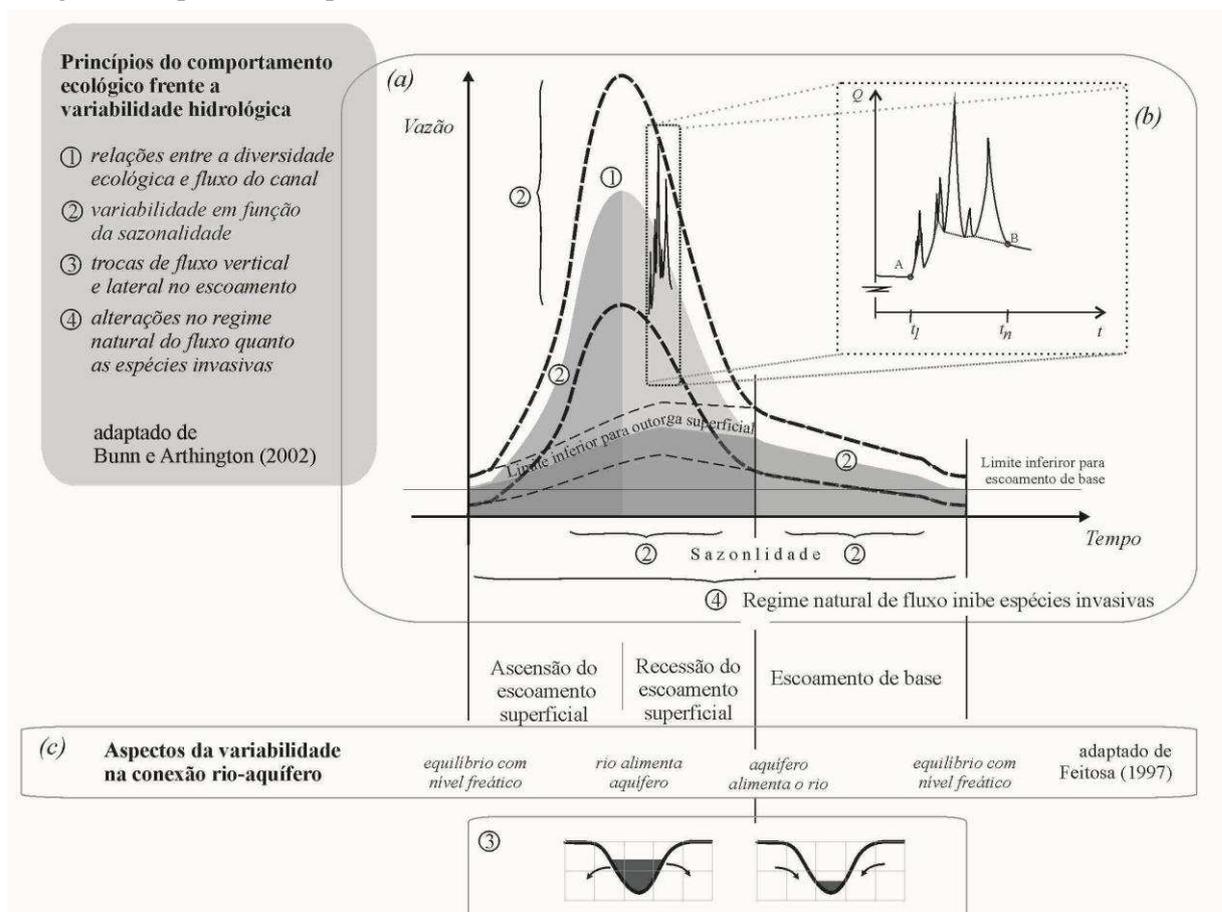
O ecossistema ripário, em sua integridade, inclui a dinâmica da zona ripária, sua vegetação e suas interações, desempenhando funções relacionadas à geração do escoamento direto em microbacias, o aumento da capacidade de armazenamento e à manutenção da qualidade da água (efeito-tampão), além de promover estabilidade das margens dos rios, equilíbrio térmico da água e formação de corredores ecológicos (FAIL et al., 1987; NAIMAN & DÉCAMPS, 1997; LOWRANCE et al., 1997; LIMA & ZAKIA, 2006; ATTANASIO et al., 2012).

Deve-se ressaltar, a relação rio-aquífero, nos períodos de cheia (rio influente) quando este faz recarga natural ao aquífero e de estiagem (rio efluente), quando o aquífero contribui para o rio, sendo assim, o fluxo basal advindo de água subterrânea (FEITOSA, 1997; USGS,

2016). No contexto ecológico, essa alteração, notadamente sazonal, tem forte influência na vida ripária lateral e no leito do rio.

Tucci (2009) e Naiman et al., (2008) destacam que existem quatro princípios básicos sobre a influência do regime natural de vazões na biodiversidade ripária, mediante vários mecanismos relacionados no tempo e no espaço, resumidamente expressos em um hidrograma ambiental (BUNN e ARTHINGTON, 2002), atentando-se: às relações entre a diversidade ecológica e fluxo do canal (mudanças geomorfológicas pelas grandess vazões); a variabilidade hidrológica (sazonalidade); as trocas de fluxo vertical e lateral no escoamento (ressalta-se, as fases de rio efluente e influente) e as alterações no regime natural do fluxo quanto as espécies invasivas. A Figura 1 resume esses princípios incorporando a relação rio-aquífero.

Figura 1 - Princípios para a confecção do hidrograma ambiental e o comportamento hídrico no contexto ecológico: a) Hidrograma e a variabilidade observada em escala reduzida (b) e a relação rio-aquífero (adaptado de Medeiros, 2011).



FONTE: Autoria própria.

Assim sendo, a variabilidade fluvial representa um capítulo fundamental para a confecção do hidrograma ambiental, e conseqüentemente, apoiar a definição da vazão ecológica.

O uso de ferramentas matemáticas que auxiliam a análise da recorrência, frequência/periodicidade, magnitude, em diferentes escalas temporais de eventos expressivos do escoamento, torna-se fundamental no estudo da variabilidade de vazões. A exemplo, podemos citar a transformada de wavelet contínua, que nos últimos anos, tornou-se uma ferramenta comum para análise de séries, principalmente na geofísica (TORRENCE & COMPO, 1998; SMITH et al., 1998; LABAT et al., 2000; ÖZGER et al., 2011; SHOAIB et al., 2015).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

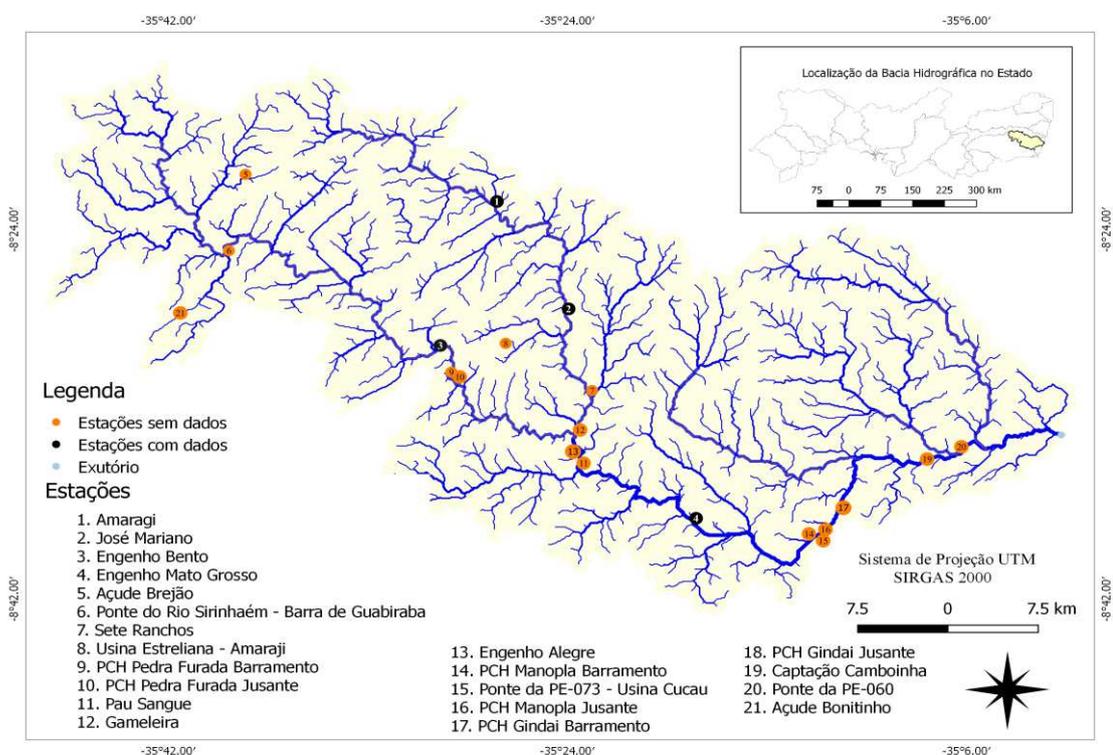
Para escolha da área de estudo, levou-se em consideração a quantidade de estações fluviométricas no estado da Paraíba e dos dois estados vizinhos: Pernambuco e Rio Grande do Norte. Segundo o Inventário das Estações Fluviométricas, disponibilizado pela ANA (2009), até o ano de sua publicação, a Paraíba tinha 72 estações, Pernambuco 238 e o Rio Grande do Norte 158. Assim sendo, foi escolhido trabalhar com o estado de Pernambuco. Entretanto, ao analisar essas estações pelo HidroWeb (2017), observou-se que, hoje, Pernambuco tem 429 estações, porém nem todas estão ativas. Esses postos estão distribuídos nas grandes e pequenas bacias hidrográficas do estado.

Como foco inicial, a escolha da bacia/estação foi atrelada ao banco de dados com fluxo de base ao longo do ano hidrológico, ou seja, rio perene. A bacia do rio Sirinhaém (Unidade de Planejamento - UP4), encontra-se localizada no estado de Pernambuco, entre as latitude sul de 08 16' 05" e 08 44' 50" e longitude Oeste de 35 01' 00" e 35 47' 58". Limitando-se ao norte com a bacia do rio Ipojuca (UP3) e ao grupo de bacias de pequenos rios litorâneos 3 – GL3 (UP16), na parte sul identifica-se a bacia do rio Una (UP5) e no grupo de bacias de pequenos rios litorâneos 4, temos a GL4 (UP17), já na região Leste, verifica-se o Oceano Atlântico e os grupos de bacias GL3 e GL4, e na localização Oeste a bacia do rio Una (APAC, 2018).

Segundo à Agência Pernambucana de Águas e Climas (2018), o rio Sirinhaém é considerado o principal curso d'água da bacia, com nascente no município de Camocim de São Felix com uma extensão de aproximadamente 158 km, no sentido Noroeste – Sudeste, percorrendo as sedes dos municípios de Cortês e Gameleira. Em sua extensão, o rio Sirinhaém possui cerca de 10 afluentes, na margem esquerda observa-se os riachos do Sangue e os rios Amaraji, Camaragibe, Tapiruçu, e Sibiró e ao lado direito, verifica-se os riachos Seco, Tanque de Piabas e Várzea Alegre, Córrego Sabiá e rio Cuiambuca. Sendo considerado o efluente mais importante, o rio Amaraji, nasce no município de Gravatá, com uma extensão aproximada em 65 km, na qual, drena as águas oriundas das cidades de Gravatá, Amaraji, Ribeirão e Gameleira. Sendo que a bacia do rio Sirinhaém comporta ou Suporta, em seu reservatório, 1 milhão de m³ de água.

Englobando 19 municípios, a bacia do rio Sirinhaém possui uma área de 2.090,64 km² (2,13% da área do estado). Os municípios de Cortês e Ribeirão estão integralmente inseridos na bacia, e outros sete possuem suas sedes na bacia: Amaragi, Barra de Guabiraba, Camocim de São Félix, Gameleira, Joaquim Nabuco, Sairé e Sirinhaém. Os demais, dez, encontram-se limitados na Água Preta, Bezerros, Bonito, Escada, Gravatá, Primavera, São Joaquim do Monte, Tamandaré, Ipojuca e Rio Formoso (APAC, 2018). Levando-se em consideração as informações citadas anteriormente, foi possível construir, utilizando o *software* QGIS, a Mapa 1, na qual verificasse as estações fluviométricas existentes na bacia em estudo.

Mapa 1 – Estações fluviométricas da bacia do rio Sirinhaém/PE



Fonte: Autoria própria

De acordo com o Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP, 2011), o clima da bacia do rio Sirinhaém é apresentado pelas maiores precipitações mensais concentradas nos meses de maio à julho, com valor elevado registrado em Junho. Já os meses mais secos correspondem entre outubro à dezembro.

A bacia apresenta grande irregularidade na precipitação média anual, com valores climatológicos de precipitação total anual oscilando com média, de 550 mm, no setor Oeste da bacia, até 2300 mm, no setor Leste. Sendo observados os menores valores em Sairé (680 mm) e Bonito (806 mm) e os maiores encontram-se nas localidades de Sirinhaém (2307 mm)

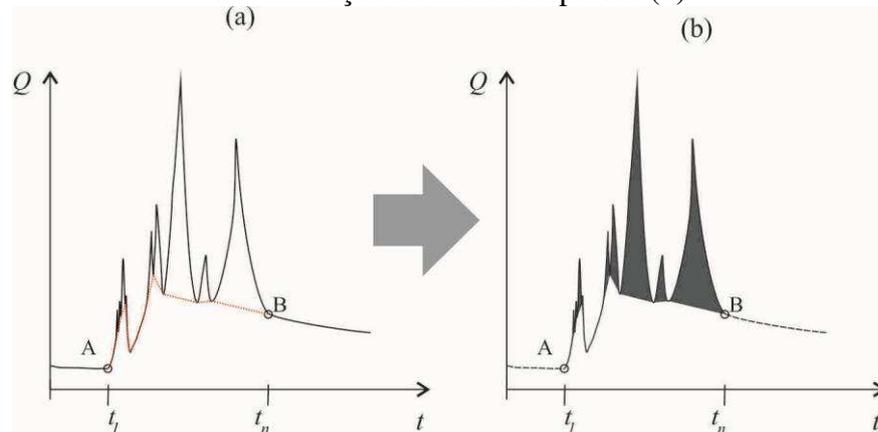
e rio Formoso (2200 mm). Segundo o CPRM – Serviço Geológico do Brasil (2005), o relevo localizado na cidade Sirinhaém é bastante analisado e possui vales profundos, na região litorânea de Pernambuco e Alagoas, é composta pelo “mar de morros” que procedem a Chapada da Borborema, sua vegetação de floresta hipoxerófila. Os solos daquela região são classificados como Latossolos nos topos dos planos, sendo profundos e bem drenados, pelos podzólicos nas vertentes íngremes, sendo pouco a medianamente profundos e bem drenados, pelos Gleissolos de várzea nos fundos dos vales estreitos, contendo solos orgânicos e encharcados.

4.2 DADOS E METODOLOGIA

Os dados fluviométricos foram obtidos por meio do site de Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Água (HIDROWEB, 2017). Foi definida a estação fluviométrica, código 39480000, situada em Engenho Mato Grosso, no município de Rio Formoso, estado de Pernambuco, apresentando um fluxo de base em sua área do período de estudo. Para isso, foi levado em consideração a ausência de dados em alguns anos da série histórica, como também períodos incomuns as sazesões de cheia ou de estiagem na vazão média mensal em datas anteriores e/ou posteriores da série definitiva, foi adotada, para este trabalho, o período de 1 de janeiro de 1997 a 31 de dezembro de 2006.

Para delimitação dos pulsos de vazões, no aporte total no hidrograma, utilizou-se o período de 10 anos para realizar as interligações das curvaturas de elevação e recessão diária da série temporal, diante das funções lineares, como se verifica na Gráfico 1, traçados de vazões de A para B, intervalo de tempo $t_B - t_A$. Para a composição do hidrograma e o traçado de delimitação dos dados, foi utilizada a planilha eletrônica MS EXCEL. A quantidade de inflexões para o referido traçado será condicionada devido a sua escala temporal.

Gráfico 1 - Delimitação dos pulsos de vazão: traçado (a) e área em destaque para determinação do índice de pulsos (b)



FONTE: Autoria própria

Segundo Miller et al. (2016), o Índice de Pulsos – IP, é uma derivação do índice de escoamento de base, sendo relacionado o volume de base com o volume total escoado. Definido através da razão entre o volume da alta frequência de pulsos (oscilações de ascensão e recessão no escoamento) e o volume fluvial total em um intervalo de tempo (Equação 1). Diante das demais utilidades, o índice permite observar, em meio as diferentes escalas temporais, a grandeza da variabilidade dos pulsos de vazão nos períodos de cheias e de secas, apoiando investidas frente a forte relação do rio com o lençol freático sob a fase de influência (fluxo do rio para o aquífero) (IVKOVIC, 2009).

$$IP = \frac{\int_{t_1}^{t_2} Q_{\text{pulsos}}(t) dt}{\int_{t_1}^{t_2} Q_{\text{total escoada}}(t) dt} \quad (1)$$

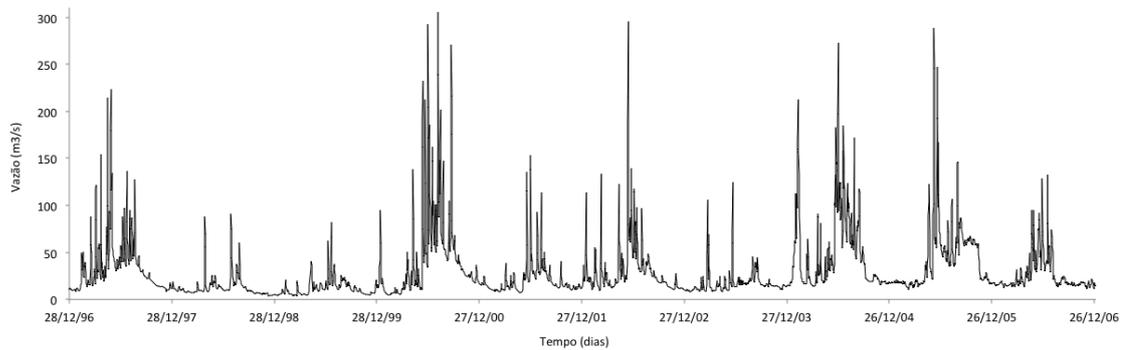
Os volumes escoados foram determinados pela metodologia de integração numérica, usando a planilha eletrônica MS EXCEL, em que $f(t)$ representa o traçado da vazão $Q(t)$ em um intervalo, $\Delta t = t_n - t_1$, integrando os n intervalos $t_{i+1} - t_i$, cuja a (Equação 2), representa a área abaixo da curva. O volume de escoamento superficial foi obtido pela diferença entre o volume total (curva superior) e o volume de pulsos (traçado de delimitação dos escoamentos). De posse dos volumes calculados, serão determinados os índices de escoamento de pulsos como citado em tópico anterior.

$$\int_{t_1}^{t_n} f(t) dt \approx \sum_{i=1}^n \frac{(t_{i+1}-t_i)}{2} [Q(t_{i+1}) + Q(t_i)] \quad (2)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Gráfico 2, observa-se a série temporal de dados de vazões: diária; e média mensal, da estação fluviométrica para o período de 01/01/1997 a 31/12/2006, dados coletados em Hidroweb (2017). Destaca-se que, para a escolha desse período, foi levado em consideração a não ausência de dados e valores comuns as sazonalidades em períodos de cheias e de estiagem na vazão média mensal.

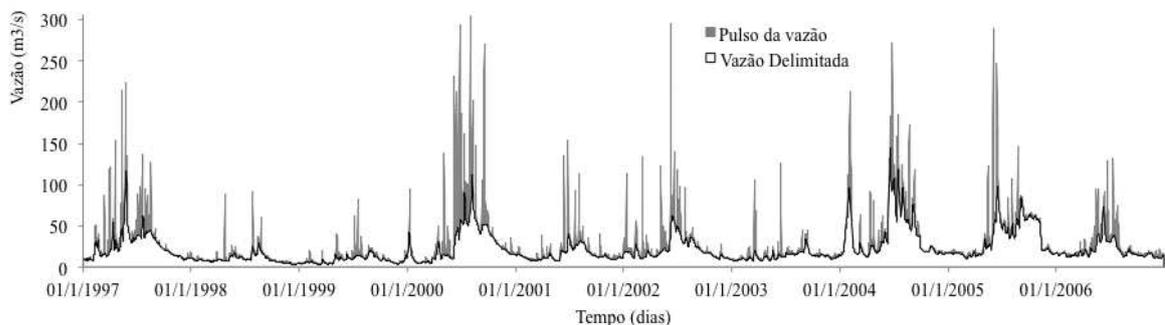
Gráfico 2 - Série temporal de dados de vazões diária e média mensal - estação fluviométrica Engenho Mato Grosso/PE (Período: 01/01/1997 a 31/12/2006)



Fonte: construído com os dados da pesquisa.

Para a delimitação dos pulsos de vazões, foi utilizado o modelo como informado no Gráfico 3, cujos traçados lineares condicionaram a uma atividade bastante laboral, especialmente na definição dos pontos de inflexão, ascensão e recessão diário das vazões.

Gráfico 3 - Delimitação dos pulsos de vazões - estação fluviométrica Engenho Mato Grosso/PE (Período: 01/01/1997 a 31/12/2006)



Fonte: construído com os dados da pesquisa.

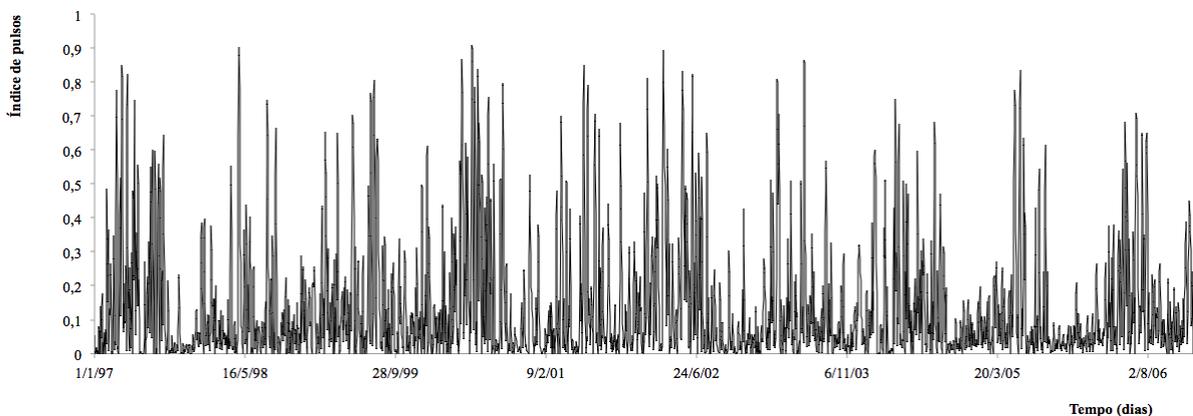
A partir dos dados delimitados dos pulsos de vazões e do fluxo total, foram determinados os volumes desses aportes com uso de integração numérica (Equação 2). Assim

sendo, tais aportes representam a variabilidade volumétrica de ascensão e recessão do escoamento na escala diária.

Conforme mencionado na metodologia (4.1), foram calculados os índices de pulsos que, quantifica a proporção dessa variabilidade frente ao fluxo total, identificando períodos em que essas perturbações são dominantes ao longo da série temporal.

Na Gráfico 4, encontra-se ilustrado, graficamente, o índice de pulso calculado ao longo do período 01/01/1997 a 31/12/2006 para a estação fluviométrica Engenho Mato Grosso /PE. Observa-se valores alternando conforme sazões, nos meses chuvosos (mais elevados) e de estiagem (menos dominante). O volume de pulsos foi dominante em 6,57% dos dias da série: em 8 de junho de 2000 (IP com valor máximo de 0,9095) com mais ocorrências nos meses de maio, junho e julho; nenhuma ocorrência no mês de novembro. O valor médio do índice foi de 0,1427 (14,27%). Devido as maiores quantidades de chuva no ano citado, foi observado um maior índice de pulso no canal do rio, levando em consideração o momento de ascensão.

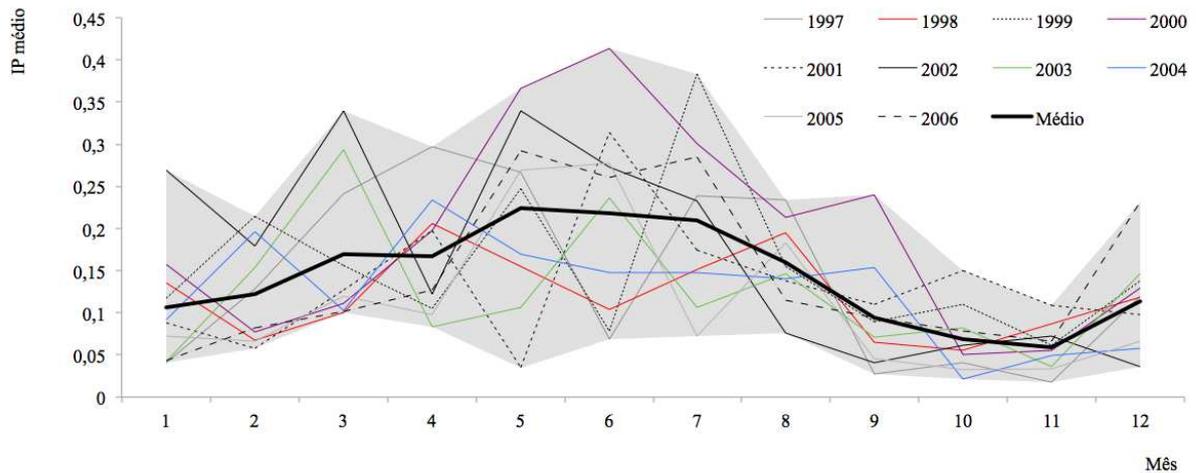
Gráfico 4 - Índice de pulsos de vazões na escala diária - estação fluviométrica Engenho Mato Grosso /PE (Período: 01/01/1997 a 31/12/2006)



Fonte: construído com os dados da pesquisa.

No Gráfico 5, verifica-se o índice de pulso médio mensal em cada ano do período de estudo (01/01/1997 a 31/12/2006): a área sombreada delimita os valores mínimos e máximos do índice; os valores médios globais para cada mês estão destacados no traçado entre esses limites; nos meses de maio a julho (IP médio nesses três meses de 0,2172) foram observadas as maiores proporções da variabilidade delimitada frente ao volume total; menores valores médios nos meses de setembro a novembro (IP médio de 0,0737), ou seja, em média o aporte da variabilidade de fluxo representou 7,37% do volume escoado nesses três meses.

Gráfico 5 - Índice de pulsos médio mensal - estação fluviométrica Engenho Mato Grosso /PE (Período: 01/01/1997 a 31/12/2006)



Fonte: construído com os dados da pesquisa.

O ano de 2000 apresentou os maiores valores médios (0,366 em maio; 0,4142 em junho; 0,3005 em julho) com média anual de 0,1926. Assim sendo, destaca-se que, o uso de índices calculados nesta pesquisa, permitem ponderar a proporção da variabilidade de pulsos de vazões limitando em diferentes níveis, apoiando a confecção do hidrograma ambiental em futuras pesquisas.

A Organização Meteorológica Mundial (OMM) (INMET, 2018) definiu Normais Climatológicas classificadas como “valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas” e padrões climatológicos normais como “médias de dados climatológicos calculados para períodos consecutivos de 30 anos”. Ainda cita que no caso de indisponibilidade dessa série temporal, Normais Provisórias podem ser calculadas (médias de curto período, baseadas em observações que se estendam sobre um período mínimo de 10 anos).

6 CONCLUSÃO

A escolha da estação fluviométrica Engenho Mato Grosso/PE, para o período de 01/01/1997 a 31/12/2006, mostrou-se com uma maior quantidade e qualidade de dados, ao período de estudo que utilizamos. A partir dos índices de pulsos de vazão calculados, constatou-se que: a variabilidade representou, em média, 14,27% do volume fluvial; no ano 2000, foram observadas as maiores proporções do volume delimitado, média anual de 19,26%; os meses de maio a julho foram, em média com IP igual a 0,2172, mais expressivos e, entre os meses de setembro a novembro, destacadas as menores proporções com IP em média de 0,0737.

A presente metodologia desenvolvida neste trabalho, usou de funções lineares na delimitação dos pulsos de vazões, mostrou-se como ferramenta que auxilia na análise de importante componente da vazão de outorga, na definição não só da vazão ecológica, mas também na confecção do hidrograma ambiental, notadamente na variabilidade da ascensão e recessão do escoamento.

REFERÊNCIAS

- AKSOY, H.; KURT, I.; ERIS, E. Filtered smoothed minima baseflow separation method. **Journal of Hydrology**, v. 372, p. 94–101, June 2009. Disponível em: < DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.03.037 >. Acesso em: 18/12/2017.
- ALMEIDA, C. C. Outorga dos Direitos de Uso de Recursos Hídricos. **Revista da Fundação Escola Superior do Ministério Público do Distrito Federal e Territórios**, v. 22, p. 55-75, 2003. Disponível em: < http://www.escolamp.org.br/arquivos/22_03.pdf>. Acesso em: 18/12/2017.
- ANA. **Agência Nacional das Águas**. Alternativas Organizacionais Gestão de Recursos Hídricos. Unidade 1, 2018a. Disponível em: < <https://capacitacao.ead.unesp.br/cursosead/course/view.php?id=354>>. Acesso: 01/07/2018.
- ANA. **Agência Nacional das Águas**. Gerenciamento Integrado. v. 2, 2018b. Disponível em: < <https://capacitacao.ead.unesp.br/cursosead/course/view.php?id=176> >. Acesso em: 16/01/2018.
- ANA. **Agência Nacional das Águas**. HidroWeb:.. Séries históricas. 2017. Disponível em <www.hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 18/12/2017.
- ANA. **Agência Nacional de Águas**. Inventário das estações fluviométricas. 2 ed., Brasília, 2009. Disponível em: < <http://arquivos.ana.gov.br/infoidrologicas/InventariodasEstacoesFluviometricas.pdf> >. Acesso em: 18/12/2017.
- ANA. **Agência Nacional das Águas**. Outorga do Direito de Uso dos Recursos Hídricos 2011. Disponível em: < <https://capacitacao.ead.unesp.br/cursosead/course/view.php?id=222> >. Acesso em: 01/07/2018.
- ANA. **Agência Nacional das Águas**. Plano de Recursos Hídricos e Enquadramento dos Corpos de Água, 2018c. Disponível em: < <https://capacitacao.ead.unesp.br/cursosead/course/view.php?id=189> >. Acesso em: 01/07/2018.
- APAC. **Agência Pernambucana de Águas e Clima**. Disponível em: < http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=2&subpage_id=3>. Acesso em: 16/01/2018.
- ARTHINGTON A.H.; KING, J.M.; O'KEEFE, J.H.; BUUN, S.E.; DAY, J.A.; PUSEY, B.J.; BLUHDORN, D.R. & THARME, R. Development of an holistic approach for assessing environmental flow requirements of riverine ecosystems. In Proceedings of an International Seminar and Workshop on Water Allocation for the Environment, Pigram JJ, Hooper BP (Eds). **The Centre for Water Policy Research**, University of New England: Armidale, Australia, 1992. Acesso em: 16/01/2018.
- ATTANASIO, C.M.; GANDOLFI, S.; ZAKIA, M. J. B.; VENIZIANI JUNIOR, J. C. T.; LIMA, W. de P.. A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 493-501, 2012.

Disponível em: <http://orgprints.org/29043/1/Attanasio_A%20importancia.pdf>. Acesso em: 25/07/2018.

BAYER; D. M.; CASTRO, N. M. DOS R.; BAYER, F. M. Modelagem e Previsão de Vazões Médias Mensais do Rio Potiribu Utilizando Modelos de Séries Temporais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n.2, p. 229-239, Abr/Jun 2012. Acesso em: 25/07/2018.

BAYER, F.M.; SOUZA, A.M. Wavelets e modelos tradicionais de previsão: um estudo comparativo. **Revista Brasileira de Biometria**, v.28, n. 2, p. 40-61, 2010. Acesso em: 25/07/2018.

BENETTI, A. D.; LANNA, A. E.; COBALCHINI, M. S. Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 149-160, Porto Alegre, abr./jun. 2003. Acesso em: 23/06/2018.

BEUGLY, J.; PYRON, M. Variation in Fish and Macroinvertebrate Assemblages among Seasonal and Perennial Headwater Streams. **The American Midland Naturalist**, v., 163, n., 1, p. 2-13, jan., 2010.

BUNN, S. E.; ARTHINGTON, A. H. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. **Environmental Management**, v. 30, n. 4, p. 492-507, 2002.

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Disponível em: <http://143.107.108.83/sigrh/cobranca/pdf/leitura_04.pdf>. Acesso em: 20/10/2017.

BRASIL. Lei Constituição da República Federativa do Brasil, de 5 de Outubro de 1988.

BRASIL. Criação da Agência Nacional de Águas – ANA. Lei Nº 9.984, de 17 de Julho de 2000.

BRODIE, R. S.; HOSTETLER, S. A review of techniques for analysing baseflow from stream hydrographs. **Bureau of Rural Sciences**; Australian Government; Department of Agriculture, Fisheries and Forestry. Internacional Association of Hydrogeologist Conference. Camberra, 2005, 13 p. Acesso em: 01/02/2017.

CAROLO, F. Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos: Instrumento Para o Desenvolvimento Sustentável. Estudos das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. **Dissertação de Mestrado**. Universidade de Brasília Centro de Desenvolvimento Sustentável. Brasília – DF, Janeiro de 2007. Disponível em: <http://www.repositorio.unb.br/bitstream/10482/2949/1/2007_FabianaCarolo.pdf>. Acesso em: 21/02/2018.

CEPAL. **Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe**. Recomendaciones de las reuniones internacionales sobre el Agua: de Mar del Plata a Paris, 1998.

COLLISCHONN, W.; AGRA, S. G.; FREITAS, G. K.; PRIANTE, G.R. Da vazão ecológica ao Hidrograma ecológico. **ResearchGate**, janeiro de 2006. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/237250787>>. Acesso em: 01/06/2018.

CORRAR, L.; THEÓPHILO, C. Pesquisa operacional para decisão em contabilidade e administração. São Paulo: Atlas, 2004.

CURADO, L.C.; STEFFEN, J.L. Proposta para a definição de vazão mínima (ecológica) no Rio Aquidauana-MS. **ResearchGate**, 2015. Disponível em: < <https://www.researchgate.net/publication/268421812> >. Acesso em: 20/08/2018.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Sirinhaém, estado de Pernambuco. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. Disponível em: < http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16836/Rel_Sirinh%C3%A9m.pdf?sequence=1 > Acesso em: 20/06/2018.

CRAIG, J. F. 2000 Large dams and freshwater fish biodiversity. Contributing paper prepared for Thematic Review II.1: Dams, ecosystem functions and environmental restoration – World Commission on Dams, p. 59, 2000. Disponível em: < www.dams.org >. Acesso em: 01/06/2018.

CRUZ, R.C. 2000. A implementação da outorga do uso da água na Bacia do Rio Santa Maria: o papel do conteúdo informativo e complexidade dos níveis hidrológicos e da avaliação dos tipos funcionais de áreas úmidas na definição da vazão de proteção ambiental. Proposta de projeto para desenvolvimento de Tese. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Ecologia. 14p. Acesso em: 16/01/2018.

CRUZ, J.C. Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 189p. **Tese de Doutorado**, Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2001. Disponível em: < <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2602/000323130.pdf> >. Acesso em: 01/06/2018.

CRUZ, R. C. Prescrição de vazão ecológica: aspectos conceituais e técnicos para bacias com carência de dados. **Tese de doutorado em Ecologia** - Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: < <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/5486> >. Acesso em: 01/06/2018.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L.B. Water in Environmental Planning. San Francisco: W. H. **Freeman and Co.**, August 15, 1978. Disponível em: < <https://doi.org/10.1177/030913338000400216> >. Acesso em: 25/07/2018.

EMBRAPA. PROÁGUA, SemiÁrido. 2018. Disponível em: < <http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/ecoagua/princip/proagua.html> > Acesso em: 01/07/2018.

FAIL, J.L.; HAINES, B.L.; TODD, R.L. Riparian forest communities and their role in nutrient conservation in an agriculture watershed. **American Journal of Alternative Agriculture**, v.2, p.114-121, 1987. Disponível em: < <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/S0889189300001752> >. Acesso em: 25/07/2018.

FEITOSA, F.A.C. Pesquisa de água subterrânea. In: FEITOSA F. A. C.; MANOEL FILHO, J. Hidrogeologia: – conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, p. 389, 1997.

FOGLIATTO, F. Previsão de Demanda. Curso de graduação em Engenharia de Produção e Transporte (apostila). Porto Alegre, 2003.

FUREY, P. R.; GUPTA, V. K. A physically based filter for separating base flow from streamflow time series. **Water Resources Research**, v. 37, n. 11, p. 2709-2722, 2001. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2001WR000243>>. Acesso em: 16/01/2018.

HART D.D. & FINELLI C.M. Physical-biological coupling in streams: the pervasive effects of flow on benthic organisms. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 30, 363–395, 1999. Disponível em: < <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.ecolsys.30.1.363> >. Acesso em: 16/01/2018.

ISRAEL, A. O. Nature, the built environment and perennial flooding in Lagos, Nigeria: The 2012 flood as a case study. **Urban Climate**. v.21, p. 218-231, setembro, 2017. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095517300561> >. Acesso em: 16/01/2018.

Itep/OS. **Instituto de Tecnologia de Pernambuco. Unidade Gestora de Projetos Barragens da Mata Sul – UGP Barragens**. Estudo de Impacto Ambiental da Barragem Barra de Guabiraba- EIA. Recife, 2011. Disponível em: < <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/RIMA%20Barra%20de%20Guabiraba.pdf>>. Acesso em: 16/01/2018.

INMET. Instituto nacional de meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas> >. Acesso: 20/05/2018.

IVKOVIC, K. M. A top-down approach to characterise aquifer-river interaction processes. **Journal of Hydrology**, v.365, p.145–155, 2009. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169408005490> >. Acesso em: 16/01/2018.

JACOBSON, R. B.; GALAT, D. L. Flow and form in rehabilitation of large-river ecosystems: An example from the Lower Missouri River. **Geomorphology**, v. 77, p. 249–269, 2006. Disponível em: < doi:10.1016/j.geomorph.2006.01.014 >. Acesso em: 25/07/2018.

JOWETT, I. G. Instream flow methods: A comparison of approaches. **Regulated Rivers: Research and management**, v. 13, p. 115-127, 1997. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291099-1646%28199703%2913%3A2%3C115%3A%3AAID-RRR440%3E3.0.CO%3B2-6> >. Acesso em: 16/01/2018.

LABAT, D., ABABOU, R., MANGIN, A. Rainfall–runoff relations for karstic springs – Part II: continuous wavelet and discrete orthogonal multiresolution analyses. **Journal of**

Hydrology, v. 238, p. 149–178, 2000. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002216940000322X> >. Acesso em: 16/01/2018.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. O papel do ecossistema ripário. In: LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. (Org.). *As florestas plantadas e a água: Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento*. São Carlos: Rima editora, 2006. p. 77-88. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000095&pid=S0100-6916201100060001700009&lng=pt >. Acesso em: 25/07/2018.

LOWRANCE, R.; ALTIER, L.S.; NEWBOLD, J.D.; SCHNABEL, R.R.; GROFFMAN, P.M.; DENVER, J.M.; CORRELL, D.L.; GILLIAN, J.W.; ROBINSON, J.L.; BRINSFIELD, R.B.; STAVER, K.W.; LUCAS, W.; TODD, A.H. Water quality functions of riparian forest buffers in Chesapeake Bay watersheds. **Environmental Management**, v.21, p.687-712, 1997. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs002679900060?LI=true> >. Acesso em: 25/07/2018.

MACIEL JR., P. *Zoneamento das águas: um instrumento de gestão dos recursos hídricos*. 1ª ed. RC Editora Gráfica Ltda: Belo Horizonte, 2000. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/esa/v22n5/1809-4457-esa-22-05-00853.pdf> >. Acesso em: 16/02/2018.

MACHADO, C. J. S. Por uma negociação sociotécnica na gestão integrada dos recursos hídricos. **ABRH-Notícias**, Porto Alegre, v. 7, p. 20-21, 2002.

MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S. & HYNDMAN, R.J. *Forecasting Methods and Applications*. John Wiley & Sons. 3ª Edição. New York, 1998.

MEDEIROS, P. C.; SOUZA, F. A. S.; RIBEIRO, M. M. R. Aspectos conceituais sobre o regime hidrológico para a definição do hidrograma ambiental. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 131-147, 2011. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.179> > Acesso em: 14/02/2018.

MILLER, M. P.; BUTO, S. G.; SUSONG, D. D.; RUMSEY, C. A. The importance of base flow in sustaining surface water flow in the Upper Colorado River Basin. **Water Resources Research**. Maio, 2016. Disponível em: < onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2015WR017963/full > Acesso em: 14/02/2018.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. *Análise de Séries Temporais*. Edgar Blucher Ltda. São Paulo, 2004.

MORTATTI, J. BORTOLETTO JÚNIOR, M. J.; MILDE, L. C. E.; PROBST, JEAN-LUC. Hidrologia dos Rios Tietê e Piracicaba: séries temporais de vazão e hidrogramas de cheia. **Revista de Ciência & Tecnologia**, V. 12, N. 23, p. 55-67, 2004. Disponível em: < <https://www.researchgate.net/publication/237508991> >. Acesso em: 06/07/2018.

NAIMAN, R. J.; BUNN, S.; NILSSON, C.; PETTS, G. E.; PINAY, G.; THOMPSON, L. C. Legitimizing fluvial ecosystems as users of water: an overview. **Environmental Management**, v. 30, n. 4. p 455-467, 2002. Disponível em: <

https://www.researchgate.net/publication/10990918_Legitimizing_Fluvial_Ecosystems_as_Users_of_Water_An_Overview >. Acesso em: 06/07/2018.

NAIMAN, R. J.; MCCLAIN, M. E. Andean Influences on the Biogeochemistry and Ecology of the Amazon River. **BioScience**, v. 58, n. 4, p. 325–338. 2008. Disponível em: < <https://doi.org/10.1641/B580408> >. Acesso em: 26/07/2018.

NAIMAN, R. J.; DÉCAMPS, H. The ecology of interfaces: riparian zones. **Annual Review Ecological System**, v.28, p.621-658, 1997. Disponível em: < <https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621>>. Acesso em: 25/07/2018.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p. Disponível em: < http://www.civil.ist.utl.pt/~mps/Mod_hid/Bibliografia/livro%20hidrologia%20estatistica.pdf >. Acesso em: 06/06/2018.

NEVES, M.J.N. Vazão Ecológica e Vazão Ambiental. 41^a Reunião da Câmara Técnica de Controle e Qualidade Ambiental. CONAMA. Brasília, junho, 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir1306/Apresentacao_Vazao+ecologica+vazao+ambiental.pdf>. Acesso em: 14/02/2018.

ÖZGER, M.; MISHRA, A.K.; SINGH, V.P. Estimating Palmer drought severity index using a wavelet fuzzy logic model. **Int. J. Climatol.**, v. 31, p. 2021–2032, 2011. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/230378153_Estimating_Palmer_Drought_Severity_Index_using_a_wavelet_fuzzy_logic_model_based_on_meteorological_variables >. Acesso em: 20/06/2018.

PEREIRA, S. B. Evaporação no lago de Sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco. 2004. 105 f. **Tese** de doutorado em Recursos Hídricos e Ambiental - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2004. Disponível em: < <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9701> >. Acesso em: 20/06/2018.

PEREIRA, D. dos R.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da. Hydrological simulation in a basin of typical tropical climate and soil using the SWAT model part I: Calibration and validation tests. **Journal of Hydrology**, v.7, p. 14 – 37, setembro de 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.05.002> >. Acesso em: 20/06/2018.

PINHEIRO, V. B.; NAGHETTINI, M. Calibração de um Modelo Chuva-Vazão em Bacias sem Monitoramento Fluviométrico a partir de Curvas de Permanência Sintéticas. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 2, p. 143-156, Abr/Jun, 2010. Disponível em < http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32801381/Artigo_356corr.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1486914167&Signature=Ej5TboLMk3evv7ATMkIyT%2Fhy2MA%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DCalibracao_de_um_Modelo_Chuva-Vazao_em_B.pdf>. Acesso em: 06/07/2018.

PINHEIRO, A.; BADIA, S. B. Efeitos da curva-chave sobre a curva de permanência dos escoamentos em uma bacia agrícola. **Revista de Estudos Ambientais REA**, Blumenau, v.

10, n. 2, p. 64 - 70, 2008. Disponível em: < <http://proxy.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/1219> >. Acesso em: 14/02/2018.

PIRES, C. L. F. A Outorga de Uso na Gestão de Recursos Hídricos. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. III, Salvador, Anais, vol.1. ABRH. p. 319-325, 1996.

POFF, N.L.; ALLAN, J.D.; BAIN, M.B.; KARR, J.R.; PRESTEGAARD, K.L.; RICHTER, B.D.; SPARKS, R.E.; STROMBERG, J.C. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. **Bioscience**, v. 47, n. 11, p.769–784, 1997. Disponível em: < http://wec.ufl.edu/floridarivers/RiverClass/Papers/Poff%20et%20al.%201997%20natflow_paradigm.pdf >. Acesso em: 14/04/2018.

POFF N.L.; RICHTER B.D.; ARTHINGTON A.H.; BUNN, S. E.; NAIMAN, R. J.; KENDY, E.; ACREMAN, M.; APSE, C.; BLEDSOE, B. P.; FREEMAN, M. C.; HENRIKSEN, J.; JACOBSON, R. B.; KENNEN, J. G.; MERRITT, D. M.; O’KEEFFE, J. H.; OLDEN, J. D.; ROGERS, K.; THARME, R. E.; WARNER, A. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. **Freshwater Biology**, v. 55, n. 1, p. 147–170, 2010. Disponível em: < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2427.2009.02204.x/full> >. Acesso em: 19/03/2018.

POFF N.L, WARD JV. Implications of streamflow variability and predictability for lotic community structure: a regional analysis of streamflow patterns. Canadian, **Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 46, p. 1805-1818, 1989. Disponível em: < <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/f89-228> >. Acesso em: 25/05/2018.

POFF, N. L; ZIMMERMAN, J. K. H. Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. **Freshwater Biology**, v. 55, p. 194–205, 2010. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2427.2009.02272.x> >. Acesso em: 14/01/2018.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. In: Revista Estudos Avançados: Dossiê Água. Instituto de Estudos Avançados da USP. V. 33, nº 63, mai-ago/2008, p. 43-60 Acesso em: 14/07/2018.

POSTEL, S.; RICHTER, B. Rivers for life: Managing water for people and nature. Island, **Press. Washington**, p. 253, 2003. Disponível em: < <https://www.amazon.com/Rivers-Life-Managing-People-Nature/dp/1559634448> >. Acesso em: 04/07/2018.

RESH, V.H.; BROWN, A.V.; COVICH, A.P.; GURTZ, M.E.; LI, H.W.; MINSHALL, G.W.; REICE, S.R.; SHELDON, A.L.; WALLACE, J.B.; WISSMAR, R. The role of disturbance in stream ecology. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 7, p. 433–455, 1988. Disponível em: < <https://www.jstor.org/stable/1467300> >. Acesso em: 11/04/2018.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos: EESC/ USP, 1998. Acesso em: 19/05/2018.

ROCHA, P. C. O Regime de Fluxo dos Rios Aguapeí e Peixe, Bacia do Alto Paraná/Brasil: Alterações e Formas de Impacto. In: XII Encuentro de Geógrafos de América Latina, 2009.

Disponível em:

<<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Procesosambientales/Impactoambiental/60.pdf>>. Acesso em: 25/07/2018.

ROCHA, P. C. Indicadores de Alteração Hidrológica no Alto Rio Paraná: Intervenções Humanas e Implicações na Dinâmica do Ambiente Fluvial. **Sociedade & Natureza**, v.22 (1), p. 191-211, Uberlândia, abr. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sn/v22n1/14.pdf>>. Acesso em: 25/07/2018.

SARMENTO, R. **Estado da Arte da Vazão Ecológica no Brasil e no Mundo**. Unesco/ANA/CBHSF, p. 38, 2007.

SEMA. **Secretaria de Estado de Meio Ambiente**. Manual para usuários: outorga de direito de uso de recursos hídricos, Belém, 2014. Disponível em: <http://www.sema.pa.gov.br/wp-content/uploads/2012/09/Manual_para_Outorga_de_Direito_de_Uso_de_RH_FINAL_MENOR_06082014.pdf>. Acesso em: 03/05/2018.

SERRA, C. M. V.; TAVARES, H. R.; SANTOS, J. C. C. Aplicação de séries temporais na análise de demanda turística no estado do Pará usando os modelos de Holt-Winters. XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção. Porto Alegre, RS, Brasil, 2005. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2005_Enegep0606_0932.pdf>. Acesso em: 06/07/2018.

SILVEIRA, G.L.; CRUZ, J.C.; CRUZ, R.C.; DEWES, R.; ARAÚJO, T.A. 2005. Concepção Geral. In: SILVEIRA, G.L. & CRUZ, J.C. (eds) Seleção Ambiental de Barragens: análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica. Santa Maria: ED. UFSM/ABRH. p. 15-55.

SILVA, L. M. C. da.; MONTEIRO, R. A. Outorga de Direito de uso de Recursos Hídricos: uma das possíveis abordagens. In: Carlos José Saldanha Machado. (Org.). Gestão de Águas Doces. 1ed.Rio de Janeiro: Interciência, v. 1, p. 135-178, 2004.

SILVEIRA, G.L.; ROBAINA, A.D.; GIOTTO, E.; DEWES, R. Outorga para uso dos recursos hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 3, p. 5-16, Jul/Set., 1998. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=52&SUMARIO=4333>>. Acesso em: 20/02/2018.

SHOAIB, M., SHAMSELDIN, A.Y., MELVILLE, B.W., KHAN, M.M. Runoff Forecasting using Hybrid Wavelet Gene Expression Programming (WGEP) approach. **Journal of Hydrology**, v. 527, p. 326–344, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169415003315>>. Acesso em: 25/02/2018.

SMITH, L.C., TURCOTTE, D.L., ISACKS, B.L. Streamflow characterization and feature detection using a discrete wavelet transform. **Hydrol. Process.**, v. 12, n. 2, p. 233–249, 1998. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/241586932_Stream_flow_characterization_and_feature_detection_using_a_discrete_wavelet_transform>. Acesso em: 20/07/2018.

TORRENCE, C. A & COMPO, G., P. **A Practical Guide to Wavelet Analysis**. Bulletin of the American Meteorological Society. v. 79, n. 1, January, 1998. Disponível em <http://paos.colorado.edu/research/wavelets/bams_79_01_0061.pdf> Acesso em: 10/02/2018.

TUCCI, C. E. M. Hidrograma ambiental. Outubro 2009. Disponível em: <<http://blog.rhama.net/2009/10/04/hidrograma-ambiental/>>. Acesso em: 29/07/2018.

TUCCI, C.E.M.; MENDES, C.A. **Avaliação Ambiental Integrada da Bacia Hidrográfica**. MMA/SQA, Brasília, DF. 2006, 300p. Acesso em: 10/02/2018.

USGS. United States Geological Survey. Rivers Contain Groundwater. Dezembro, 2016. Disponível em < <https://water.usgs.gov/edu/rivers-contain-groundwater.html> > . Acesso em: Julho de 2018.

VESTENA, L. R.; OLIVEIRA, E. D.; CUNHA, M. C.; THOMAZ, E. L. Vazão ecológica e disponibilidade hídrica na bacia das Pedras, Guarapuava-PR. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 212-227, 2012. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.840> >. Acesso em: 10/02/2018.

WATTS, L. F.; HAEKE, R. M. The effects of urbanization on hydrologic response: a study of two coastal catchments. **Journal of Hydrology** (NZ), New Zealand Hydrological Society, v. 42, n. 2, p. 125 - 143, 2003. Acesso em: 10/02/2018.

WURBS, R. A.; WALLS, W. B. Water Rights Modeling and Analysis. **Journal of Water Resources Planning and Management**. v. 115, n.4, p. 416-430, 1989. Disponível em: < <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9496%281989%29115%3A4%28416%29>>. Acesso em: 10/02/2018.

ZHANG, H.; SINGH, V. P.; ZHANG, Q.; GU, L. SUN, W. Variation in ecological flow regimes and their response to dams in the upper Yellow River basin. **Environ Earth Sci** 75:938, 2016. Disponível em: < DOI 10.1007/s12665-016-5751-x >. Acesso em: 26/07/2018.