



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

LAYANE CARMEM ARRUDA DA ROCHA

**APLICAÇÃO DA TRANSFORMADA DE WAVELET CONTÍNUA EM
DADOS DE VAZÃO DIÁRIA**

**SUMÉ - PB
2018**

LAYANE CARMEM ARRUDA DA ROCHA

**APLICAÇÃO DA TRANSFORMADA DE WAVELET CONTÍNUA EM
DADOS DE VAZÃO DIÁRIA**

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

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

**SUMÉ - PB
2018**

R672a Rocha, Layane Carmem Arruda da.
Aplicação da Transformada de Wavelet Contínua em dados de
vazão diária.. / Layane Carmem Arruda da Rocha. - Sumé - PB:
[s.n], 2018.

48 f.

Orientador: Professor Dr. Paulo da Costa Medeiros.

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

1. Hidrologia. 2. Hidrograma. 3. Transformada de Walvelet
Contínua. 4. Vazão diária I. Título.

CDU: 556(043.1)

LAYANE CARMEM ARRUDA DA ROCHA

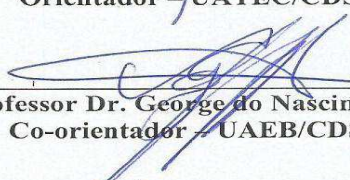
**APLICAÇÃO DA TRANSFORMADA DE WAVELET CONTÍNUA EM
DADOS DE VAZÃO DIÁRIA**

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

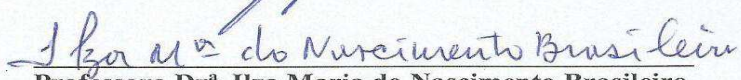
BANCA EXAMINADORA:



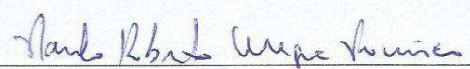
Professor Dr. Paulo da Costa Medeiros.
Orientador – UATEC/CDSA/UFCG



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



Professora Dr.ª. Ilza Maria do Nascimento Brasileiro.
Examinadora Interna – UATEC/CDSA/UFCG



Professor Dr. Paulo Roberto Megna Francisco.
Examinador Externo – PPGCS/DSER/UFPB

Trabalho aprovado em: 11 de 06 de 2018.

SUMÉ - PB

Dedico esta monografia as mulheres fortes e guerreiras da minha família, que juntas me ensinaram o caminho da simplicidade, do amor, do respeito, da honestidade e da fé, minha avó Clarice Maria (*in memoriam*), minha mãe Maria do Carmo e minha tia Viviane Carmem. Dedico também, ao meu grande pai e amigo José Luís e a minha querida irmã Maria Lavinya.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado coragem, força, saúde e proteção para concluir a tão sonhada graduação.

Aos meus amados pais José Luis e Maria do Carmo, por terem me dado apoio, amor e incentivo em todos os momentos. A minha irmã Maria Lavinya, que muitas vezes me incentivou e me desafiou, fazendo com que eu tivesse coragem para muitas coisas. Ao meu avô, José Cordeiro, que contribuiu com minha formação. E claro a minha querida e amada tia Viviane, que sempre me ajudou diretamente e indiretamente em tudo.

Agradeço imensamente aos meus amáveis orientadores Prof. Dr. Paulo Medeiros e Prof. Dr. George Ribeiro, que sempre confiaram em mim. Agradeço não só as orientações quanto estudante, mas também a cada conselho, a cada conversa pessoal, a cada risada e sei que além de professores eu ganhei dois grandes amigos.

Não poderia deixar de agradecer aos meus colegas de curso, que muitas vezes compartilharam comigo alegrias, tristezas e conquistas: Jefferson Barros, Júlio Rodrigues, Herlanne Porto e mais ainda, de uma forma especial, a Maykon Barros por todo companheirismo, paciência, apoio, incentivo e confiança até mesmo quando eu achava que não iria dar certo. Também não posso deixar de agradecer a Vanderlanne Cavalcante, que mesmo depois de mudar de curso, continuamos fieis amigas e compartilhamos muitos momentos.

Também agradeço aos amigos que fiz em Sumé, afinal quando estamos longe da família, tudo se torna mais difícil e foram eles que muitas vezes me fizeram felizes: Pâmella Rafael, Anderson Itallo, Allan Henrique e Roni Andrade.

E claro, a todos os professores e técnicos que contribuíram para minha formação, em especial aqueles (as) que mantivemos um laço de amizade: Prof. Dr. Hugo Andrade, Prof^a. Dr^a. Fabiana Pimentel, Prof^a. Dr^a. Normanda Freitas, Prof. Dr. Edvaldo Eloy, ao técnico Dr. Rummenigge Rodrigues e em especial minha querida professora e amiga Prof^a. Dr^a. Ilza Brasileiro que me trouxe o afeto de mãe, durante toda a graduação.

Agradeço a cada funcionário do CDSA, desde o pessoal da secretaria da UATEC até o os funcionários da Zelô por toda disponibilidade e ajuda.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.” (José de Alencar).

RESUMO

A presente pesquisa utilizou a ferramenta matemática transformada de wavelet Contínua para identificação de eventos significativos e periodicidades em séries temporais. A metodologia consiste na geração de gráficos bidimensionais, denominados espectrogramas de energia de wavelets com intensidade de cores representando as energias no domínio da escala versus deslocamento. Foram utilizados dados de vazões diárias (estação Engenho Mato Grosso, no município de Rio Formoso/PE - Período de Janeiro de 1997 a Dezembro de 2006) e confeccionados os hidrogramas. Foram delimitados os aportes superficial direto/subterrâneo e calculado o índice de escoamento de base, para a escala diária. A análise espectral envolveu dados de vazão total e de base, bem como o índice de escoamento calculado. Observaram-se dois eventos para a vazão de base e para a vazão total: eventos com períodos de duração relativamente aproximados, porém em datas diferentes espaçados entre 4 anos e 5 meses e 5 anos. Para índice de escoamento de base, verificam-se três eventos de maiores energias, sendo em períodos semelhantes. A análise poderá ser estendida em estudos posteriores com séries temporais mais longas, de maneira a detectar periodicidades de eventos fluviométricos com maiores energias do espectro, tanto no fluxo total como no domínio do fluxo de base. A metodologia proposta nesta pesquisa mostra-se como importante ferramenta para apoiar estudos e projetos na área de recursos hídricos, especialmente na tomada de decisões frente aos instrumentos de gestão das águas.

Palavras-chave: Hidrologia. Hidrograma. Série temporal.

ABSTRACT

The present research used the mathematical tool Transformed Wavelet Continuous to identify significant events and periodicities in time series. The methodology consists in the generation of two-dimensional graphs, called wavelet energy spectrograms with color intensity representing the energies in the scale versus displacement domain. Daily flow data were used (Engenho Mato Grosso station, in the city of Rio Formoso / PE - Period from January 1997 to December 2006) and the hydrograms were made. The direct / underground surface inputs were delimited and the base flow index calculated for the daily scale. The spectral analysis involved total and base flow data as well as the calculated flow rate. Two events were observed for the base flow and for the total flow: events with relatively approximate duration periods, but on different dates spaced between 4 years and 5 months and 5 years. For base flow index, three events of higher energies are observed, being in similar periods. The analysis can be extended in later studies with longer time series, in order to detect periodicities of fluviometric events with higher energies of the spectrum, both in the total flow and in the field of the base flow. The methodology proposed in this research is shown as an important tool to support studies and projects in the area of water resources, especially in decision-making in relation to water management instruments.

Keywords: Hydrology. Hydrograph. Time series.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Análise de wavelet para a vazão de base (média diária) da estação do Engenho Mato Grosso/PE no período de Jan/1997 a Dez/2006)	34
Figura 2 - Análise de wavelet para a vazão total diária da estação do Engenho Mato Grosso/PE no período de Jan/1997 a Dez/2006)	35
Figura 3 - Análise de wavelet do BFI (diário) da estação do Engenho Mato Grosso/PE no período de Jan/1997 a Dez/2006)	36
Gráfico 1 - Separação dos escoamentos para intervalo Δt : vazão de base (Q1), a vazão total (Q2).....	29
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 - Separação dos escoamentos de base e superficial direto - estação fluviométrica Engenho Mato Grosso/PE (Período: 01/01/1997 a 31/12/2006)	32
Mapa 1 - Bacia hidrográfica do Rio Sirinhaém	26
Mapa 2 - Compartimentação geomorfológica da Bacia do Rio Sirinhaém	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima

BFI - Índice de Escoamento de Base ou Índice de Fluxo Base

DMA - Diretiva Marco da Água

HIDROWEB - Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Água

IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente Recursos Naturais Renováveis

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ITEP - Instituto de Tecnologia de Pernambuco

OMM - Organização Meteorológica Mundial

SEMA - Secretaria de Estado de Meio Ambiente

SNIRH - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

TF - Transformada de Fourier

TO - Transformada de Ondaleta

TW - Transformada de Wavelet

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 GOVERNANÇA HÍDRICA	16
3.2 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	17
3.2.1 Outorga	18
3.3 HIDROGRAMA: CURVA VAZÃO VERSUS TEMPO.....	19
3.4 SEPARAÇÃO DOS ESCOAMENTOS	20
3.4.1 escoamento Superficial	21
3.1.2 escoamento de Base	22
3.5 ÍNDICE DE ESCOAMENTO	23
3.6 TRANSFORMADA DE WAVELET	24
4 MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	26
4.2 DADOS E METODOLOGIA	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 ESCALOGRAMAS DE WAVELET	33
6 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem natural de fundamental importância para o equilíbrio da Terra, devido as frequentes alterações naturais e/ou antrópicas, se faz necessário um maior controle e monitoramento da sua quantidade e qualidade disponível. Assim, é contínua a busca por alternativas viáveis para soluções de problemas atuais e, ao mesmo tempo, garantir que futuras gerações tenham acesso a tal recurso.

Para enfrentar estes desafios, os modelos de gestão de recursos hídricos vêm concretizando princípios que consideram a visão sistêmica e integrada dos elementos que compõem o meio ambiente; a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e o processo participativo e descentralizado, como a forma mais adequada de tomada de decisão na administração da água (PEIXINHO, 2010).

Com o monitoramento dos corpos de água, através de mensurações quali-quantitativas, avalia-se o estado de conservação da bacia hidrográfica. Segundo Ortega (2011), tal averiguação subsidia estratégias e ações que contribuem para reverter situações atualmente encontradas em busca de uma melhoria sócio-econômica e ambiental. No caso da ausência de monitoramento utiliza-se técnicas de regionalização, seja para variáveis, indicadores e funções (como o são as curvas de permanência), seja para os parâmetros de um modelo chuva-vazão (PINHEIRO, 2010).

Oliveira (1998) cita que muitos estudos e averiguações são realizados com o uso de banco de dados hidrometeorológicos, cuja qualidade e quantidade são fundamentais para uma maior confiabilidade nas tomadas de decisões de gestão hídrica no tocante a horizontes de curto, médio e longos prazos, a exemplo da outorga e cobrança pelo uso da água.

Pinheiro (2009) enfatiza que o conhecimento dessas variáveis, funções e séries temporais que delimitam o comportamento hidrológico de um rio, em dada seção fluvial, viabiliza uma série de projetos relacionados aos recursos hídricos, dentre os quais podem ser citados os estudos de disponibilidades hídricas, obras hidráulicas de condução, desvio e de controle de cheias. Neste sentido, o uso das vazões naturais pode auxiliar na busca de um índice mais efetivo que represente o potencial hídrico de uma região (MOREIRA, 2006).

As séries temporais de vazões são os resultados da integração dos componentes do ciclo hidrológico e, conseqüentemente, das influências naturais e antrópicas numa determinada região, sendo ferramentas fundamentais nas decisões quanto ao uso racional das águas (MORTATTI, 2003).

A quantificação das disponibilidades hídricas subterrâneas é fundamental para promover uma operação coordenada e integrada dos recursos hídricos. Para realizar essa quantificação existem diversos métodos, como o balanço hídrico, variação do nível d'água, traçadores químicos e separação de escoamento de base (HEALY, 2010; COELHO et al., 2015).

Segundo Brodie e Hostetler (2005) a análise do hidrograma é baseado na separação do escoamento superficial direto do escoamento subterrâneo, sendo um procedimento que permite a compreensão da magnitude da dinâmica da descarga de água subterrânea. Colaborando com os referidos autores, Furey e Gupta (2011) afirmam que tal procedimento permite uma melhor compreensão da variabilidade espacial e temporal dos processos de escoamento superficial direto em bacias hidrográficas.

Uma aplicação prática da separação é na estimativa do índice de escoamento de base (BFI), que é a razão entre escoamento de base, ou subterrâneo, e o escoamento total, em um intervalo de tempo. Assim, este índice pode ser utilizado como uma importante variável explicativa em equações de regionalização de vazões mínimas (GUSTARD et al., 1987; CLAUSEN, 1995; WAHL & WAHL, 1995).

A transformada wavelet é uma ferramenta muito utilizada na física, matemática, que permite decompor um sinal em diferentes componentes de frequências, possibilitando-se assim, estudar cada componente separadamente em sua escala correspondente. A análise espectral foi realizada através de metodologia proposta por Torrence e Compo (1998) onde gráficos bidimensionais, espectogramas de energia de wavelets, denominados escalogramas, mostram intensidade de cores representando as energias no domínio da escala versus deslocamento. A ênfase das maiores energias (cores “quentes”) no espectro de potência wavelet, possibilita detectar escalas de variabilidade dominantes e suas variações temporais. Essa ferramenta matemática auxilia na visão do comportamento da vazão, ilustrando de maneira mais ampla as frequências de fluxo superficial e subterrâneo, oferecendo suporte ao contexto hidrológico e ambiental em estudos e projetos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Aplicar a transformada de wavelet contínua em série fluviométrica diária na bacia hidrográfica do Rio Sirinhaém/PE.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir a série da escala temporal e série fluviométrica de dados;
- Traçar os hidrogramas e separar os aportes de escoamento subterrâneo/superficial direto;
- Calcular o volume de escoamento total e de base;
- Determinar o índice de escoamento;
- Gerar os espectros de wavelet na série fluviométrica escolhida.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 GOVERNANÇA HÍDRICA

Para Granja (2007) a governança consiste na implementação de um sistema de normas inseridas em uma reestruturação estratégica, envolvendo a participação de variados atores sociais que compartilham da capacidade governativa, identificando os problemas da sociedade assim, elaborando e implementando políticas públicas.

De acordo com o Banco Mundial, em seu documento *Governance and Development*, de 1992, a definição geral de governança é “o exercício da autoridade, controle, administração, poder de governo”. Precisando melhor, “é a maneira pela qual o poder é exercido na administração dos recursos sociais e econômicos de um país visando o desenvolvimento”, implicando ainda “a capacidade dos governos de planejar, formular e programar políticas e cumprir funções” (GONÇALVES, 2006).

A governança hídrica corresponde aos arranjos estruturais formais e informais existentes, capazes de influir no processo de gestão dos recursos hídricos. A Global Water Partnership (2002) definiu a governança das águas como um conjunto de “sistemas políticos, sociais, econômicos e administrativos disponíveis para aproveitar e gerenciar os recursos hídricos, e distribuir os serviços hídricos nos distintos níveis da sociedade”. Logo, a governança das águas vai envolver as estruturas políticas, sociais, econômicas e jurídicas instituídas por uma determinada sociedade para tratar das questões hídricas (ROGERS & HALL, 2003).

Por sua vez, o conceito de gestão compreende o conjunto de ações estabelecidas para disciplinar as relações de uso da água diante do contexto socioambiental existente. De acordo com Villar (2012), a diferença entre governança e gestão da água é que a primeira é um conjunto de processos e instituições que definem e identificam quais são as metas de gestão a serem perseguidas. Enquanto a gestão trata dos mecanismos e medidas práticas utilizadas para atingirem as metas traçadas e, portanto, atingir melhores resultados.

Logo, a governança da água fornece a estrutura para decidir quais serão as atividades de gestão dos recursos hídricos que serão implementadas (LAUTZE, 2011), e através dela será determinado como a gestão será estruturada ou efetivada (VILLAR, 2012). Sant’Anna (2010) menciona que uma crise da governança hídrica é uma crise nos processos de tomada de decisão e das instituições.

3.2 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Foram sancionados, na Constituição Federal de 1988, dispositivos para os recursos hídricos que são de grande importância para a gestão das águas. Segundo o referido documento, as águas como bens de uso comum e alterou a dominialidade das águas do território nacional, anteriormente definida pelo Código de Águas de 1934.

No art. 23, inciso XI, da Constituição Federal de 1988, fica explícito que é competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios “registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios”. E no art. 26, inciso I, incluem-se entre os bens dos Estados e do Distrito Federal “as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União”.

A Diretiva Marco da Água (Diretiva 2000/60/CE) é uma norma do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, que estabeleceu uma profunda e substancial reforma na legislação vigente na Europa em matéria de água. Essa diretiva tem uma abordagem pioneira para a proteção da água, baseada em formações geográficas naturais; em particular, as bacias hidrográficas. Essa norma representou um grande avanço na gestão das águas, pois superou a visão setorial e buscou uma abordagem integrada e global, compreendendo as águas superficiais, subterrâneas, de transição e costeiras (ROBLES, 2004).

De acordo com Villar (2011), com a entrada em vigor da DMA, os Estados foram obrigados a definir geograficamente as regiões hidrográficas e identificar as autoridades responsáveis pela gestão das águas. A bacia hidrográfica se tornou a base da gestão dos recursos hídricos e não as unidades administrativas. A escolha da bacia hidrográfica se fundamentou no princípio de que essa escala permite observar melhor as características econômicas, sociais e naturais da região e, em consequência, criar políticas mais adequadas às particularidades locais. As diversas bacias hidrográficas foram inseridas em uma unidade de coordenação administrativa mais ampla, denominada de regiões hidrográficas, que correspondem “a área de terra e de mar constituída por uma ou mais bacias hidrográficas vizinhas e pelas águas subterrâneas e costeiras” associadas a essas bacias (art., 2º, 15, DMA).

Atrelado as diretrizes citadas anteriormente, o Plano Nacional de Recursos Hídricos de 2006 e a Lei Nacional de Recursos Hídricos de 1997 (Lei N.º 9.433), recomendam a gestão dos recursos hídricos por bacias hidrográficas, da qual incentiva a relação entre a educação sanitária, a educação ambiental e a sustentabilidade, ambas voltadas para a proteção dos

recursos hídricos. Dentro do contexto de bacia hidrográfica, utilizá-la como unidade é de suma importância para unir educação ambiental e educação para a ciência, explorando a interdisciplinaridade e as condições locais e regionais (TUNDISI, 2009).

O Plano Nacional de Recursos Hídricos, o Enquadramento dos Corpos de Água, a Cobrança pelo Uso da Água, o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e a Outorga, são os cinco instrumentos de gestão da Lei N.º 9.433 de 1997. Tucci e Mendes (2006) propõem alguns investimentos necessários, para se resolver os problemas na gestão dos recursos hídricos: investir no Programa Nacional de Águas pluviais, visando o controle de drenagem e impactos relacionados à inundação de cidades, assim como em água, esgoto e drenagem para obter bons resultados. Deve-se ainda dar ênfase ao investimento em capacitação de novos profissionais, desde técnicos do nível médio para o controle ambiental até tomadores de decisão e gerentes no âmbito da gestão.

3.2.1 Outorga

A outorga de direito de uso de recursos hídricos é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecido no inciso III, artigo 5º da Lei Federal 9.433, de 08 de Janeiro de 1997. Esse instrumento tem por objetivos assegurar o controle qualitativo e quantitativo dos usos da água assim como o efetivo exercício dos direitos de acesso.

Para Antunes (2004), a outorga deve ser considerada um instrumento mediador entre a autorização e a licença administrativa, ou seja, um instrumento jurídico – administrativo. Simplício e Faria (2016), enfatizam que a outorga é um ato administrativo autorizativo, mediante o qual o poder público faculta ao outorgado fazer uso da água por determinado tempo, nas condições expressas no respectivo ato.

O Art. 12, da Lei Federal 9.433, dispõe sobre os usos de recursos hídricos que estão sujeitos à outorga pelo Poder Público, dentre eles: captação de água, lançamento de efluentes e outros usos que alterem o regime, a qualidade ou a quantidade do corpo hídrico; o uso para fins de aproveitamento de potenciais hidrelétricos e a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo.

O órgão responsável pela análise dos pedidos e emissão de outorgas de direito de uso de recursos hídricos em corpos hídricos de domínio da União é a Agência Nacional de Águas – ANA, assegurada pela Lei n.º 9.984/2000, que criou a referente agência. Em corpos

hídricos de domínio dos Estados-membros e do Distrito Federal, a solicitação de outorga deve ser feita às respectivas autoridades outorgantes estaduais.

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). E caso haja desistência ou desativação, o usuário deverá comunicar o pedido formalmente a ANA, através de um formulário específico, de acordo com a Resolução ANA n.º 833, de 21 de Novembro de 2011. O mesmo órgão gestor que forneceu a outorga será responsável pela fiscalização da mesma.

Segundo Machado (2002), o governo não pode conceder ou autorizar usos que provoquem a agressão à qualidade e a quantidade das águas, assim como não podem agir sem justiça ao permitirem acesso à água. Essa norma legal da outorga de direitos do uso torna-se dessa forma, vinculante para a ação governamental federal e estadual.

3.3 HIDROGRAMA: CURVA VAZÃO VERSUS TEMPO

Os modelos que simulam a transformação da chuva em vazão são ferramentas que representam, de forma simplificada, os diversos processos do ciclo hidrológico que interagem numa bacia hidrográfica (BRAVO et al., 2009). Esses modelos são baseados em equações matemáticas que possuem parâmetros que caracterizam o comportamento hidrológico de bacia (TUCCI, 1998).

Dados hidrológicos, principalmente de estações pluviométricas e fluviométricas, são importantes ferramentas para a gestão dos recursos hídricos. O hidrograma, hidrógrafa ou fluviograma é a representação gráfica da distribuição da vazão em função do tempo numa dada seção de um curso d'água. Essa distribuição é interpretada como sendo a resposta da bacia hidrográfica ou área de drenagem quando estimulada pelas chuvas que caem sobre essa área (RIGHETTO, 1998).

Tucci (2009) define hidrograma como um gráfico entre a vazão e o tempo, sendo este resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão na bacia hidrológica, enfatizando que a variabilidade da vazão de rios é determinada por fatores relacionados à interação entre a precipitação e a fisiologia da bacia.

Medeiros et al. (2011) ressalta que o hidrograma contempla todo o desempenho hídrico da bacia, 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.

Makridakis (1998), em seus estudos, mostra que a série temporal é uma sequência de valores de uma variável observada em intervalos de tempo igualmente espaçados. Esse banco de dados é essencial para o traçado do hidrograma. Morettin e Tolo (2004) afirmam que os modelos utilizados para descrever séries temporais são processos estocásticos, ou seja, são processos controlados por leis probabilísticas.

Segundo Tucci (2003), no projeto de uma bacia hidrográfica, o hidrograma depende de dois componentes 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, altamente correlacionada com a intensidade da precipitação; região do pico, próximo ao valor máximo, quando o hidrograma começa a mudar de inflexão devido à redução da precipitação e até mesmo ao amortecimento da bacia; 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).

3.4 SEPARAÇÃO DOS ESCOAMENTOS

A quantificação da disponibilidade hídrica subterrânea é um dos grandes desafios nos estudos hídricos, ou seja, estimar a magnitude de suas reservas seja estas perenes ou reguladoras (renováveis). A identificação das parcelas direta e indireta do escoamento pode ser realizada através de métodos de separação de escoamento, que utilizam a análise das vazões em uma bacia hidrográfica ao longo do tempo. A parcela indireta do escoamento superficial possui origem subterrânea e é de grande interesse, uma vez que ela corresponde a capacidade de recarga do Aquífero (DORA, 2013).

Embora a separação dos componentes do hidrograma sempre tenha sido um desafio na hidrologia (NATHAN & MCMAHON, 1990; CHEN et al., 2006, HAN & HAMMOND, 2006; JEMCOV & PETRIC, 2009), a Agência Nacional de Águas (2018) cita que essa separação, principalmente, em escoamento superficial direto e escoamento de base é muito importante para o estudo das características hidrológicas da bacia e para alguns métodos de

previsão de enchentes. Sendo que o primeiro ocorre quando a taxa de precipitação supera a taxa de infiltração no solo, logo a água deslocará pelas vertentes da bacia hidrográfica em direção ao curso d'água. Em períodos de estiagem, a vazão do rio é mantida pelo escoamento de base, oriundo do reservatório de água subterrânea, abastecido durante os períodos chuvosos (COLLISCHONN & TASSI, 2008).

Basicamente o escoamento pode ser dividido em três partes: escoamento de base (*base flow*), que é a descarga natural da água subterrânea; escoamento superficial (*direct runoff*) corresponde à água que corre pela superfície da terra e escoamento subsuperficial (*interflow*), que consiste na água que flui sob a terra, mas não faz parte da água subterrânea; geralmente é considerada satisfatória para o planejamento e para o manejo dos recursos hídricos (ASKOY et al., 2009).

Mattiuzz (2013) enfatiza que, a partir da separação do escoamento superficial e de base, é possível realizar uma estimativa de recarga aquífera. Sendo esta informação essencial para uma gestão adequada desse recurso, simultâneo com o manancial superficial, pois a superexploração desse recurso natural, afeta não somente a disponibilidade da água subterrânea e os custos relacionados a sua extração, mas também as reservas superficiais.

3.4.1 Escoamento Superficial

Os processos hidrológicos, em uma bacia hidrográfica, possuem duas direções de fluxo a vertical, representado pela precipitação e evapotranspiração, e horizontal, representado pelo escoamento. A vegetação é fundamental em todo o processo hidrológico da bacia hidrográfica, principalmente na interceptação e evapotranspiração, atuando, indiretamente, em todas as fases do ciclo (TUCCI & CLARKE, 1997).

O escoamento superficial é um componente do ciclo hidrológico relacionado ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo, resultante das precipitações sendo considerado o componente preponderante na formação de cheias ou aumento de vazões dos cursos de água (PINTO et al., 1973).

Uma vez que, o acúmulo de água nas depressões existentes na superfície do solo começa a ocorrer, e a intensidade de precipitação excede a taxa de infiltração, e/ou a capacidade de infiltração de água no solo é ultrapassada, a água começa a escoar pela superfície do solo (PRUSKI, 2003). Tucci (1998) enfatiza que o escoamento superficial é resultado da água precipitada que não foi interceptada pela cobertura vegetal ou retida sobre a

superfície do terreno e não infiltrou e que, conseqüentemente, acaba escoando nos caminhos de maior declividade.

O escoamento superficial transporta, além da água, compostos químicos, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que, além de causarem prejuízos diretos à produção agropecuária, também poluem os cursos d' água (PRUSKI, 2003). O solo desprovido da cobertura vegetal e da ação fixadora das raízes, exposto ao impacto direto das gotas de chuva, sofre desagregação, efeito que é complementado pela energia do escoamento superficial das águas, causando elevadas perdas de solo (SILVEIRA, 1998).

3.4.2 Escoamento de Base

As águas subterrâneas são fundamentais para a manutenção dos corpos d'água superficiais, pois a perenização da maior parte dos rios, lagos e pântanos depende da descarga dos aquíferos, através do fluxo de base (HIRATA et al., 2010).

Os fluxos de base representam uma parcela que na hidrologia classifica de parcela indireta do escoamento superficial, onde a parcela direta é materializada pelo escoamento superficial propriamente dito (MATTIUZZ, 2013).

Denominado escoamento de base, é a parte do fluxo que vem de baixo, refere-se geralmente a descarga no fluxo da água subterrânea (NATHAN & MCMAHON, 1990; GRASZKIEWICZ et al., 2011), e muda gradualmente ao longo de semanas para meses (WITTENBERG & SIVAPALAN, 1999). Logo, reflete a conexão com a água subterrânea. Todos os fluxos respondem a chuva-escoamento, mas é a descarga do lençol freático que sustenta o fluxo do rio entre os eventos de estiagem. Assim, o fluxo de base é importante para sustentar habitats aquáticos perenemente (FAN et al., 2013).

A separação do escoamento de base é um método que pode melhorar a compreensão da captação de água (TULARAM & ILAHEE, 2008; MEI & ANAGNOSTOU, 2015), e ajuda na gestão de recursos hídricos (ARNOLD et al., 1995), projetando e prevendo eventos de inundação através da separação dos componentes (GRASZKIEWICZ et al., 2011; KINKELA & PEARCE, 2014), calibração de modelos hidrológicos, deduzindo as propriedades do aquífero e análise de tendência de fluxo (TALLAKSEN, 1995; STEWART et al., 2007; ZHANG et al., 2014; LOTT & STEWART, 2016). Tal método utiliza os dados de séries históricas, de vazão para determinar as parcelas direta e indireta do escoamento, a partir da

análise do hidrograma e da aplicação de filtros numéricos. Estes filtros são algoritmos que calculam a separação dos escoamentos, de forma automatizada.

Diversos filtros foram propostos ao longo dos anos, uma das maiores contribuições nesse aspecto foi dada por Eckhardt (2005), que desenvolveu uma fórmula geral da qual os outros filtros tornaram-se apenas casos especiais. Esta forma geral tem como parâmetro o índice máximo do escoamento de base, o qual possui valores pré-definidos propostos por Eckhardt, que são definidos de acordo com as características geológicas e da drenagem da bacia hidrográfica (COLLISCHONN & FAN, 2012).

3.5 ÍNDICE DE ESCOAMENTO

Dentre muitos parâmetros que relacionam o escoamento das águas subterrâneas e superficiais está o índice de escoamento de base (*Base Flow Index – BFI*) (AKSOY et al., 2009). Este índice é uma descrição significativa do comportamento de fluxo de uma bacia hidrográfica, demonstrando sua utilidade na estimativa de fluxo baixo e fluxo alto em todo o mundo (FSUP, 2009).

O método do Índice de Fluxo Base foi desenvolvido durante um estudo de fluxo no Reino Unido (INSTITUTE OF HYDROLOGY, 1980). O índice é determinado através da razão do fluxo de base para o fluxo total calculado a partir de um procedimento de análise hidrográfico e separação usando descargas diárias. O BFI é considerado uma medida de escoamento de um rio que é derivado de fontes armazenadas e, em estudos de captação, encontrou-se muitas áreas de aplicação, incluindo estimativa de vazão baixa e avaliação de recarga de água subterrânea (BRUŠKOVÁ, 2008).

O BFI pode ser analisado em escalas temporais diferenciadas (SMAKHTIN, 2001), como por exemplo, na relação entre dados diários e anuais. E ainda quando se considera aspectos físicos do sistema (ECKHARDT, 2005; LONGOBARDI & VILLANI, 2008). Logo, o cálculo do BFI pode-se destacar por sazão, não sendo visto de forma individualizada, mas de forma integrada (inclui períodos chuvosos e secos), haja vista que esse índice sintetiza a análise de escoamentos para o ano hidrológico (MEDEIROS, 2011).

Para os estudos de análise regional, que envolvem pesquisas de vazões mínimas, é necessário o uso do cálculo do BFI, que vem sendo considerado como uma importante variável nesse tipo de estudo, sendo influenciado no hidrograma pela técnica que separa o escoamento de base em relação ao escoamento total (PINTO, 2006).

3.6 TRANSFORMADA DE WAVELET

Nos últimos anos, a análise de wavelets tornou-se uma ferramenta comum para análise de séries temporais, altamente irregulares, complexas e intermitentes, frequentemente encontradas na geofísica (TORRENCE & COMPO, 1998; SMITH et al., 1998; LABAT et al., 2000; LABAT, 2005, 2008; ÖZGER et al., 2010, 2011; NIU, 2013; NIU & SIVAKUMAR, 2013; CHEN et al., 2014; NIU et al., 2014; SEHGAL et al., 2014a, b; SHOAIIB et al., 2014, 2015). Vários estudos combinam a aplicação da transformada wavelet, com outros métodos, a fim de melhorar as características dos sinais geofísicos, por exemplo, Adamowski e Sun, (2010) e Nourani et al. (2009, 2012).

A transformada wavelet é um método de sinais dependente do tempo, feita a partir de análises em forma de ondas. Os dados do domínio do tempo podem ser transformados em dados de domínio de frequência com wavelet (HOSHI, 2016). A análise wavelet permite a extração de informações localizadas em tempo e frequência, que permitem uma investigação mais profunda da causalidade entre variáveis (ROUEFF & SACHS, 2011).

Takata et al. (2002) propuseram um método para calcular a função de transferência a partir do tempo dos dados de domínio por wavelet. Seu procedimento partia da derivação das funções de transferência do domínio e em seguida da frequência. Primeiro, a entrada do domínio de tempo e sinais de saída são transformados em sinais de domínio de frequência, uma wavelet mãe complexa chamada Morlet. Então, a transferência da função é obtida a partir da relação dos coeficientes wavelet e dos sinais de entrada e saída.

Gomez-Luna et al. (2013) enfatizaram a vantagem da wavelet para análise de sinais temporais em relação a transformação de Fourier, ou seja, o sinal de duração finita pode ser decomposto pela wavelet mãe, que possui escala de tempo adequada, embora a transformação de Fourier é essencialmente decomposição de uma soma de funções exponenciais complexas periódicas de duração infinita.

Na transformada wavelet, decompondo uma série temporal no espaço de tempo-frequência, é possível determinar os modos dominantes de variabilidade e como esses modos variam no tempo. Portanto, a transformada wavelet prova ser útil ferramenta para analisar variações localizadas de potência dentro de uma série temporal (AGARWAL et al., 2016).

Muitos estudos demonstraram a utilidade da análise de wavelets na regionalização. Por exemplo, Saco e Kumar (2000) usaram wavelets como análise de componente principal de espectro, para aglomerar estações de fluxo nos Estados Unidos. Uma abordagem similar

usando vários meios de clusterização foi adotada por Zoppou et al. (2002) para regionalizar 286 bacias hidrográficas em toda a Austrália.

Mesmo que o espectro de energia wavelet tenha sido bem sucedido para capturar o comportamento do fluxo, torna-se difícil usar o espectro wavelet em caso de dados limitados ou incompletos dados (YIOU et al., 2000).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A definição da área de estudo estava atrelada à escolha da estação fluviométrica, com foco em bacias hidrográficas do estado de Pernambuco, mais especificamente às situadas no litoral (bacias hidrogeológicas Paraíba-Pernambuco e Vulcano-Sedimentar do Cabo (COSTA FILHO & COSTA, 2000) ou próximas dessa região, tendo vista a necessidade de fluxo perene (dados contínuos de vazão versus tempo).

A Bacia do Rio Sirinhaém corresponde à Unidade de Planejamento Hídrico UP4, de acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (1998). Esta bacia está localizada nas mesorregiões do Litoral/Zona da Mata e Agreste, entre $08^{\circ} 16' 05''$ e $08^{\circ} 44' 50''$ de latitude sul e $35^{\circ} 01' 00''$ e $35^{\circ} 47' 58''$ de longitude oeste (PERNAMBUCO, 2006). Limita-se ao norte com a Bacia do Rio Ipojuca (UP3) e grupo de bacias de pequenos Rios litorâneos GL3 (UP16); ao sul com a Bacia do Rio Una (UP5) e com o grupo de bacias de pequenos Rios litorâneos GL4 (UP17); a leste com o Oceano Atlântico e os grupos de bacias GL3 e GL4 e, a oeste, com a Bacia do rio Una (APAC, 2017).

Esta bacia apresenta uma área de drenagem de 2.090,64 km² (Mapa 1), abrangendo 19 municípios. Dentre eles, Cortês e Ribeirão que estão integralmente inseridos na bacia e os demais estão parcialmente inseridos (PERNAMBUCO, 2006).

Mapa 1 - Bacia hidrográfica do Rio Sirinhaém



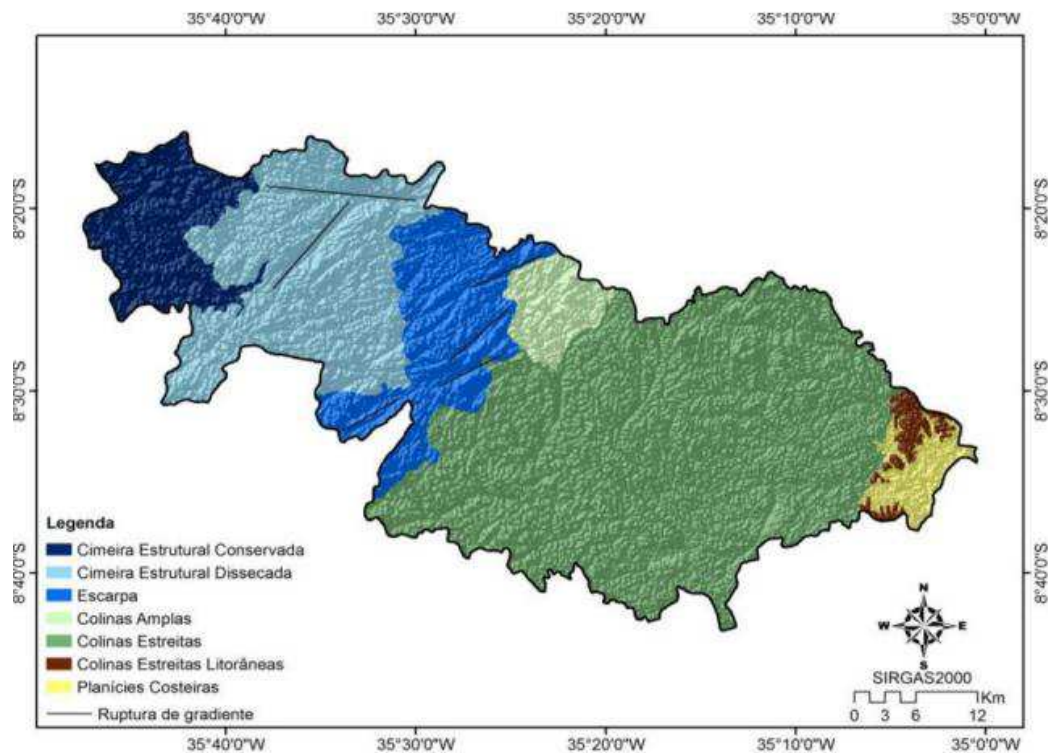
Fonte: Agência Condepe/Fidem/IBGE (1998).

O Rio Sirinhaém é o principal curso d'água da bacia, tendo sua nascente no município de Camocim de São Felix. Sua extensão é de aproximadamente 158 km, no sentido noroeste-sudeste, e seus principais afluentes são: o riacho do Sangue e os rios Amaraji, Camaragibe, Tapiruçu e Sibiró na margem esquerda; os riachos Seco, Tanque de Piabas, Várzea Alegre, Córrego do Sabiá e o Rio Cuiambuca na margem direita.

Segundo o Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP, 2011), o clima da bacia do rio Sirinhaém apresenta os máximos mensais de precipitação concentrados nos meses de maio, junho e julho, com o valor máximo registrado em junho. Os meses mais secos correspondem ao trimestre outubro, novembro e dezembro. Essa bacia apresenta grande irregularidade na precipitação média anual, com valores climatológicos de precipitação total anual oscilando, em média, entre 550 mm, no setor oeste da bacia, até 2300 mm, no setor leste. Os menores valores são observados em Sairé (680 mm) e em Bonito (806 mm) e os maiores nas localidades de Sirinhaém (2307 mm) e Rio Formoso (2200 mm).

Quanto ao relevo, um parecer apresentado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2008), destaca que a bacia hidrográfica do Rio Sirinhaém é marcada por um relevo movimentado, abrangendo áreas do Planalto Litorâneo e da Planície Litorânea. Esse planalto constitui uma zona de transição entre as Planícies Litorâneas e as Encostas Orientais do Planalto da Borborema, com uma inclinação de noroeste para leste. Compõe um sistema de drenagem que conecta e diseca três morfoestruturas regionais, que são de rochas cristalinas e sedimentares da zona leste do Estado de Pernambuco, no qual os vales fluviais seguem a direção de antigas fraturas das rochas cristalinas e deposição dos sedimentos provenientes do meridiano do Planalto da Borborema, parte do sopé da Borborema e parte do Planalto Sedimentar Costeiro, apresentando compartimentação geomorfológica regional conforme o Mapa 2.

Mapa 2 - Compartimentação geomorfológica da Bacia do Rio Sirinhaém



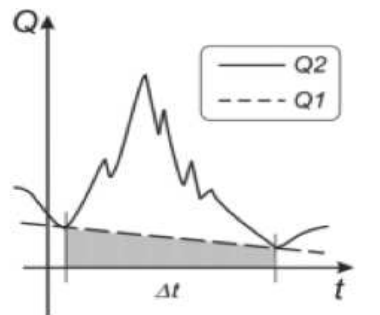
Fonte: UGP-Barragens/ITEP (2011).

4.2 DADOS E METODOLOGIA

Na metodologia proposta, foram utilizados dados fluviométricos, obtidos através do site de Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Água (HIDROWEB, 2017). Foi selecionada a estação 39480000, localizada em Engenho Mato Grosso, no município de Rio Formoso, Pernambuco, com fluviometria que apresenta fluxo de base (rio caracteristicamente perene, como supracitado). Em alguns anos, constatou-se ausência de dados na série histórica de dados diários, bem como foram observados períodos incomuns às sazões de cheia ou de seca (a partir da análise da vazão média mensal), convergindo à escolha da serie temporal deste trabalho para o período de 01 de Janeiro de 1997 a 31 de Dezembro de 2006.

Para a separação do escoamento de base do aporte total nos hidrogramas, o método escolhido foi o proposto por Tucci (2013), que compreende o traçado linear que interliga a inflexão inicial de ascensão de escoamento fluvial até a inflexão. Para a subdivisão tem-se o escoamento superficial direto, como se observa no Gráfico 1. Para um intervalo Δt , temos: Q_1 , como a vazão de base e Q_2 como a vazão total. O aporte superficial direto se faz pela diferença entre Q_2 e Q_1 .

Gráfico 1 - Separação dos escoamentos para intervalo Δt : vazão de base (Q1), a vazão total (Q2)



Fonte: Oliveira (2013).

Dentre muitos parâmetros que relacionam o escoamento das águas subterrâneas e as superficiais está o índice de escoamento de base (AKSOY et al., 2009). Este parâmetro é a razão, em longo prazo, entre o fluxo de base e a vazão total, conforme a Equação 1, em que Q é a vazão e t o tempo. O BFI auxilia na análise proporcional do domínio das águas subterrâneas frente às superficiais.

O volume total escoado, para uma escala de tempo, é representado pela área abaixo de cada curva (Equação 2). O uso de planilha eletrônica MS EXCEL facilitou a aplicação da metodologia da integração numérica.

$$BFI = \frac{\int_{t_1}^{t_2} Q_{base}(t)dt}{\int_{t_1}^{t_2} Q_{total\ escoada}(t)dt} \quad (1)$$

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

Para a geração dos gráficos com espectro de cores, foi utilizada a ferramenta matemática wavelet e assim realizada a análise da transformada de wavelet contínua para cada série temporal abordada.

A técnica denominada transformada de wavelet (TW) ou transformada de ondaleta (TO) é considerada um avanço no processamento de sinais, sendo uma metodologia fundamentada na transformada de Fourier (TF) (SILVA et al., 2005).

A maioria dos sinais na natureza apresenta comportamento não estacionário. O geofísico Francês Jean Morlet e outros desenvolverem funções básicas a fim de aproximar ao sinal natural por uma combinação linear, incorporando tempo e frequência na decomposição do sinal, por meio de escalas (CASTRO, 2007), através da dilatação (a) bem como a translação (b) de uma função simples (wavelet mãe) $\psi_{a,b}(t)$ (Equação 3) de uma variável real t , gerando assim em um único protótipo as funções wavelets. A transformada de wavelet contínua é a relação entre essas funções e o sinal da série temporal, cujos parâmetros de “aproximação” de onda variam continuamente no domínio do tempo, definida pela Equação 4.

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3)$$

$$W_{\psi_{a,b}}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{t=1}^N f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (4)$$

Em que: $f(t)$ é a série temporal ou sinal analisado e $\frac{1}{\sqrt{a}}$ é constante de normalização de energia.

A wavelet Morlet proposta por Goupillaud et al. (1984), apresenta as melhores propriedades de preenchimento do plano tempo-frequência com relação a todas as wavelets contínuas (OLIVEIRA, 2007) e possui características semelhantes às de sinais meteorológicos, tais como simetria ou assimetria, e variação temporal brusca ou suave (ARAÚJO & SILVA, 2011). É representada pelo produto de uma onda exponencial complexa, que na alteração da escala (largura), apresenta alta frequência (ondas Morlet), em um envelope gaussiano, que apresenta baixa frequência (Equação 5).

$$\psi_0(\eta) = \frac{1}{\pi^{\frac{1}{4}}} e^{i\omega_0\eta} e^{-\eta^2/2} \quad (5)$$

Em que: i é o parâmetro de dilatação e compressão da wavelet; ω_0 é o parâmetro de frequência adimensional; e η é o tempo adimensional.

A maneira de mudar o tamanho total das wavelets em relação ao tempo, as chamadas "as wavelets escaladas" é representada como:

$$\psi \left[\frac{(n' - n)\delta t}{s} \right] = \left(\frac{\delta t}{s} \right)^{\frac{1}{2}} \psi \left(\frac{(n' - n)\delta t}{s} \right) \quad (6)$$

Em que: s é o parâmetro de "dilatação", para mudar a escala; e n é o parâmetro de transformação no tempo. O fator de $s^{\frac{-1}{2}}$ é uma normalização para manter a energia total da wavelet. A transformação do conjunto da onda é dada por:

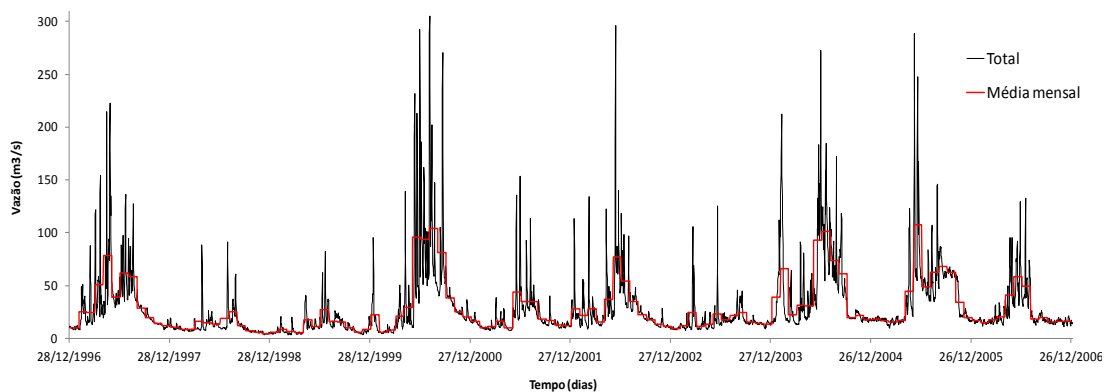
$$W_n(s) = \sum_{n'=0}^{N-1} x_n \psi^* \left[\frac{(n' - n)\delta t}{s} \right] \quad (7)$$

O asterisco (*) denota o complexo conjugado da função ψ . O somatório pode ser utilizado para valores de escalas, da alta frequência até a mais baixa. Um gráfico bidimensional da variabilidade pode ser confeccionado traçando a amplitude e a fase da wavelet. Torrence e Compo (1998) disponibilizam a aplicação da transformada de wavelet contínua na internet (Interactive Wavelet Plot) (TORRENCE & COMPO, 2017).

5 RESULTADO 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). O traçado com dados de vazões médias mensais apoiou nas definições dos pontos de inflexão de ascensão e recessão do escoamento (meses chuvosos e de estiagem).

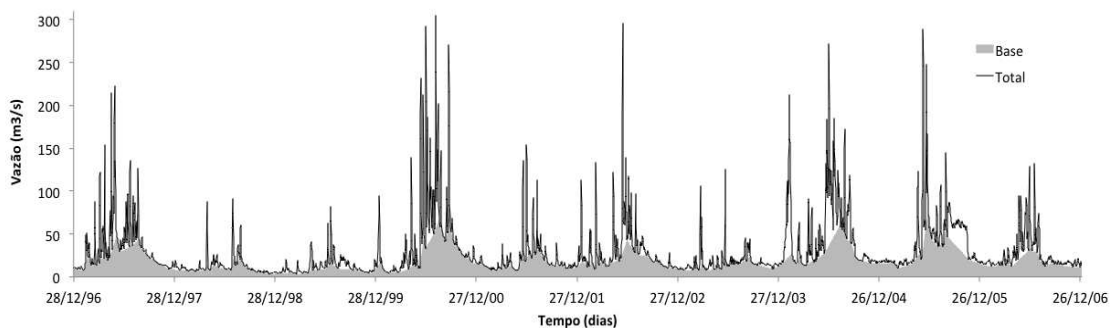
Gráfico 2 - Série temporal de dados de vazões diária e média mensal - estação fluviométrica Engenho Mato Grosso /PE (Período: 01/01/1997 a 31/12/2006)



Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

No Gráfico 3, observa-se a separação dos aportes de escoamento de base e respectivo escoamento superficial direto. A área abaixo de cada curva denota o volume escoado.

Gráfico 3 - Separação dos escoamentos de base e superficial direto - estação fluviométrica Engenho Mato Grosso/PE (Período: 01/01/1997 a 31/12/2006)



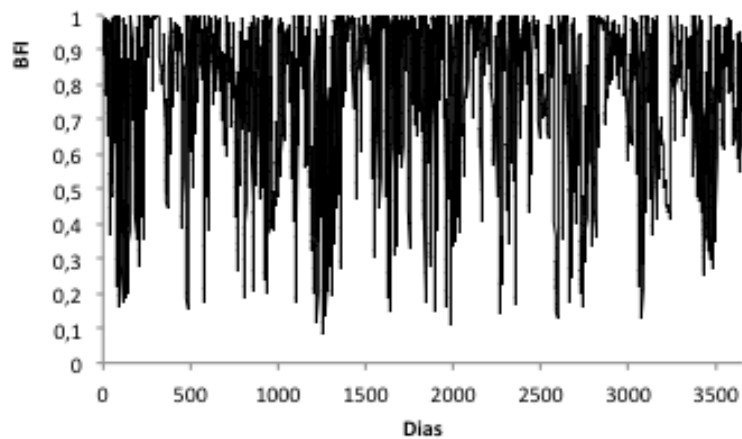
Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

Como o modelo utilizado para a aplicação da transformada de wavelet contínua (Interactive Wavelet Plot), metodologia desenvolvida por Torrence e Compo (1998)

disponível em Torrence e Compo (2017), limita a série temporal em menos de 3.000 dados, a abordagem focou em dados diários (considerando dois dias consecutivos).

Com a separação apresentada no Gráfico 4, foi calculado, para o período de 01/01/1997 a 31/12/2006, o índice de escoamento de base (BFI) na escala diária. Observa-se através desse índice, quanto proporcionalmente o fluxo de base é dominante frente ao fluxo total, ou seja: mais próximo da unidade, será mais próximo do domínio pleno (100%); próximo de zero, teremos domínio do escoamento superficial direto.

Gráfico 4 - Índice de escoamento de base (BFI) para a escala diária - período de 01/01/1997 a 31/12/2006, estação fluviométrica Engenho Mato Grosso/PE



Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

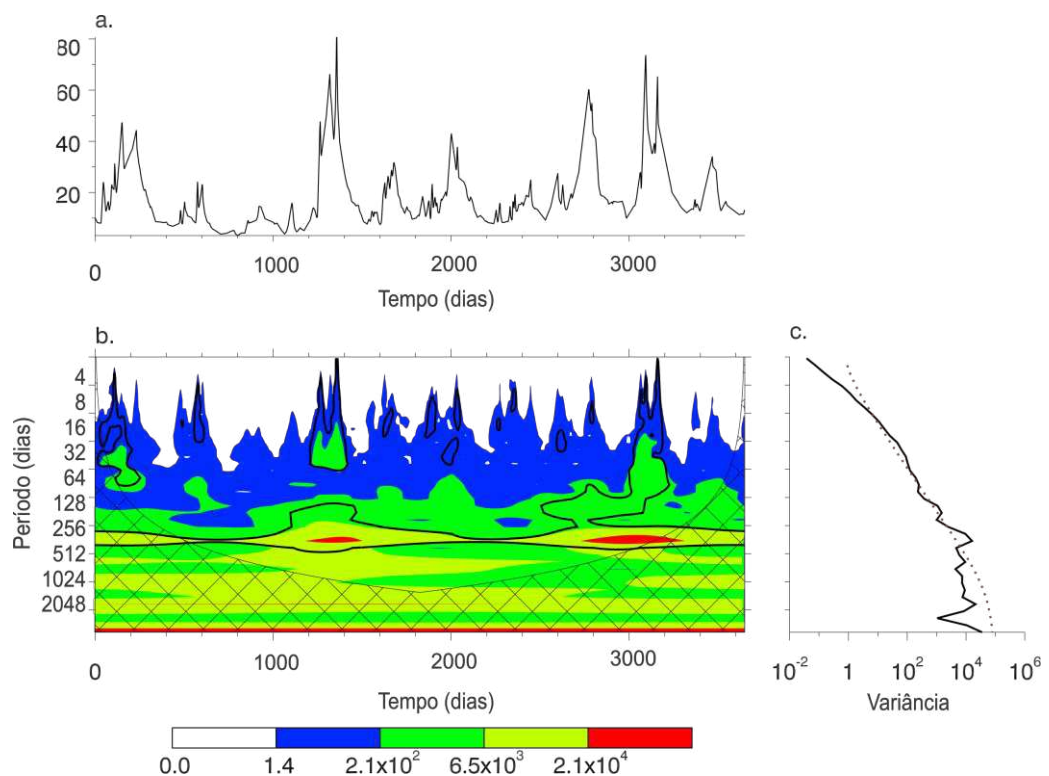
5.1 ESCALOGRAMAS DE WAVELET

As Figuras 1 a 3 apresentam os espectros de energia das wavelets (TORRENCE & COMPO, 1998) na proporção tempo-frequência e a magnitude (espectro de energia) da respectiva wavelet ao longo da série temporal em análise. Os espectros variam em níveis de cores, sendo a cor azul os pontos onde existem a menor frequência e a cor vermelha a maior frequência. O traçado em negrito corresponde a 95% do nível de confiança (5% de significância estatística).

Para cada Figura, observa-se a série temporal (a), o espectro de potência wavelet (b), e o espectro de potência global de wavelet (c). O cone de influência, região rachurada, abaixo do espectro de potência de wavelet, é destacado para desconsiderar os efeitos de borda, truncadas nas extremidades (LEÃO, 2008), pois tal região é suscetível a erros e não há confiança estatística.

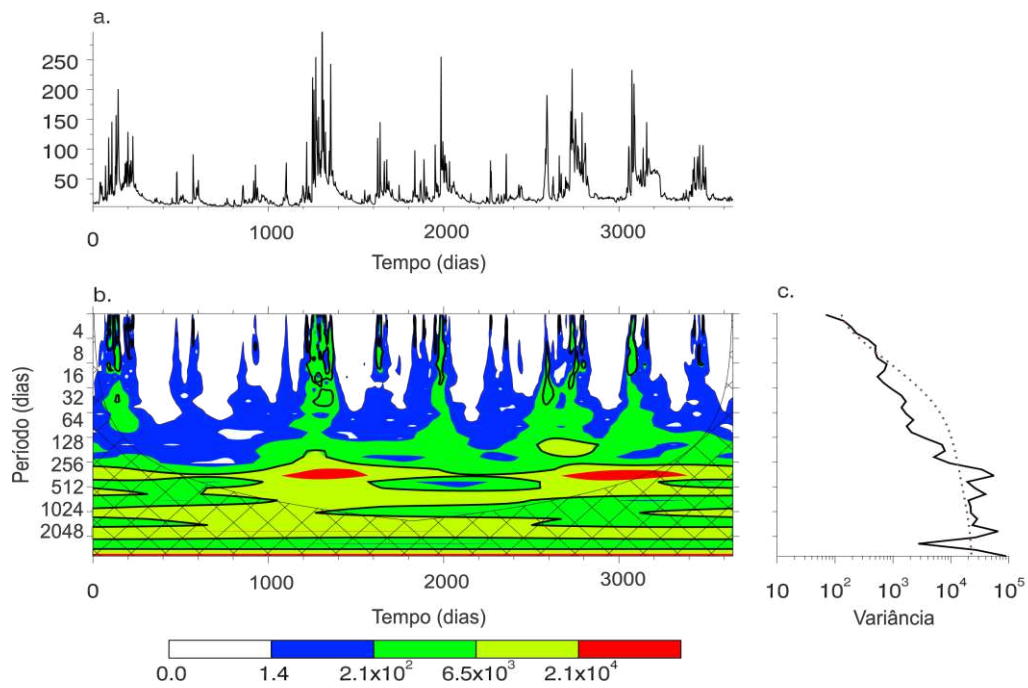
Na Figura 1 (a análise de wavelet para a vazão de base - média diária) pode-se verificar uma maior incidência do espectro de wavelet em um período entre de 310 a 460 dias, concentrados entre Abril de 2000 a Fevereiro de 2001, e entre o final de Junho de 2004 até a última semana de Setembro de 2005. Ou seja, essas maiores energias estão espaçadas, em média, por 1607 dias (4 anos e 5 meses, aproximadamente).

Figura 1 - Análise de wavelet para a vazão de base (média diária) da estação do Engenho Mato Grosso/PE no período de Jan/1997 a Dez/2006



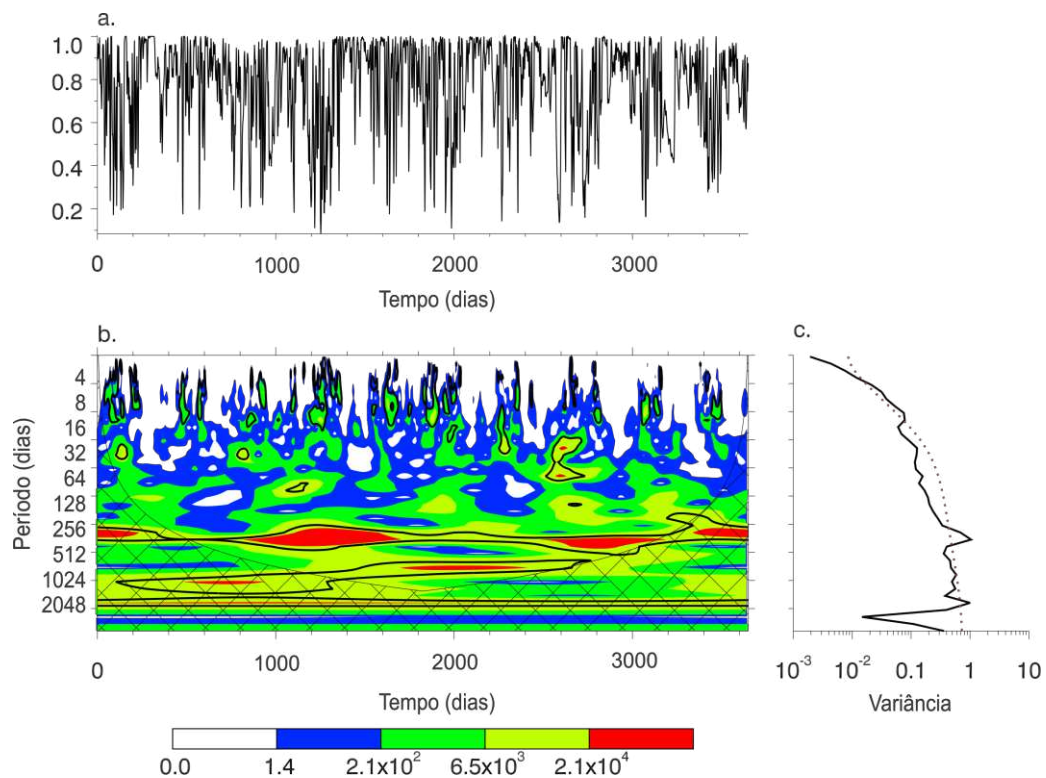
Na Figura 2 observa-se a análise de wavelet para a vazão total (a), verifica-se as maiores energias no espectro de potência (b) entre o período de 323 a 431 dias (destacado no espectro global (c)), sendo a primeira entre os 10 primeiros dias (segunda semana) de Dezembro de 1999 e a terceira semana de Abril de 2001, e a segunda, mais expressivo, entre as últimas semanas de Abril de 2004 e Abril de 2006, porém a área de significância estatística considera que o evento foi até a penúltima semana de Maio de 2005. A diferença entre as maiores energias, em média, ficou espaçada em torno de 5 anos.

Figura 2 - Análise de wavelet para a vazão total diária da estação do Engenho Mato Grosso/PE no período de Jan/1997 a Dez/2006.



Observa-se, na Figura 3, o sinal do BFI para a escala diária. Nota-se que no período de 272 a 460 dias houve fortes energias (espectro global de Wavelet (c)), com significância estatística (espectro de potência de Wavelet (b)) entre a segunda semana de Abril de 1999 a última semana de Agosto de 2001 e a penúltima semana de Novembro de 2003 até os primeiros dias de Julho de 2005. Essas energias estão espaçadas, em média, por 4 anos e 7 meses. Outra área de forte energia, ocorreu no período de 761 a 834 dias, entre o final de Agosto de 2001 até a última semana de Julho de 2003. Não foi observado outro evento de maior energia nesse período.

Figura 3 - Análise de wavelet do BFI (diário) da estação do Engenho Mato Grosso/PE no período de Jan/1997 a Dez/2006



Para todas as análises, deve-se atentar que, no ciclo hidrológico o aporte de escoamento fluvial recebe carga principal de entrada da precipitação, com certa relação entre este parâmetro e o fluxo em que, normalmente, resultam-se maiores vazões em períodos chuvosos, e vice-versa, fortemente difundido com modelos chuva-vazão (BORTOLIN et al., 2017; FLEISCHMANN, 2017; FIGUEIREDO & BLANCO, 2016).

Por outro lado, sob o contexto climatológico, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) (INMET, 2018) define Normais Climatológicas como sendo “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).

Assim sendo, as análises descritas nesta pesquisa, relacionadas com o escoamento fluvial total e subterrâneo, contemplam períodos de 10 anos, semelhantes ao contexto climatológico como “Normal Provisória”. Trabalhos futuros, integrando mais dados à série

fluviométrica analisada nesta pesquisa (estação Engenho Mato Grosso/PE), poderão promover resultados mais seguros, e periodicidades fluviais em outras escalas poderão ser identificadas.

6 CONCLUSÃO

A aplicação da transformada de wavelet contínua nos aportes de escoamento da estação fluviométrica Engenho Mato Grosso/PE (Período de 01/01/1997 a 31/12/2006) destacou dois eventos para a vazão de base e para a vazão total: eventos com períodos de duração relativamente aproximados, porém em datas diferentes espaçados entre 4 anos e 5 meses e 5 anos. Para índice de escoamento de base, foram verificados três eventos de maiores energias, sendo dois em períodos semelhantes, espaçados entre 4 anos e 7 meses. A análise poderá ser estendida em estudos posteriores com séries temporais mais longas, de maneira a detectar periodicidades de eventos fluviométricos com maiores energias do espectro, tanto no fluxo total como no domínio do fluxo de base.

A metodologia usada mostra-se ferramenta matemática robusta para detectar eventos de maiores frequências no domínio da escala versus deslocamento, os eventos mais evidentes na série temporal de vazão apoiam estudos e projetos na área de recursos hídricos, especialmente na tomada de decisões frente aos instrumentos de gestão das águas.

REFERÊNCIAS

ADAMOWSKI, J., SUN, K. Development of a coupled wavelet transform and neural network method for flow forecasting of non-perennial rivers in semi-arid watersheds. **Journal of Hydrology**, v. 390, p. 85–91, 2010.

AGARWAL, A.; MAHESWARAN, R.; SEHGAL, V.; KHOSA, R.; SIVAKUMAR, B.; BERNHOFER, C. Hydrologic regionalization using wavelet-based multiscale entropy method. **Journal of Hydrology**. Sydney, Austrália, v. 538, p. 22–32., 2016. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.023>>. Acesso: 28/04/2018.

AKSOY, H.; KURT, I.; ERIS, E. Filtered smoothed minima baseflow separation method. **Journal of Hydrology**, v. 372, p. 94–101, June 2009. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.03.037.

ANA. Agência Nacional das Águas 2017. **Hidroweb: Séries históricas**. Disponível em < www.hidrweb.ana.gov.br/ >. Acesso: 16/12/2017.

ANA. **Agência Nacional das Águas**. Caderno de Capacitação: Hidrologia básica. Unidade 1, 2018. Disponível em: <<https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/handle/ana/66>>. Acesso: 20/04/2018.

ANA. **Agência Nacional das Águas**. Resolução N° 833, de 05 de Dezembro de 2011. Disponível em: < <http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2011/833-2011.pdf> >. Acesso: 12/02/2018.

ANTUNES, Paulo de Bessa. **Direito Ambiental**. 7. ed. São Paulo: Lúmen Júris, p.826, 2004.

APAC. **Agência Pernambucana de Águas e Clima**. Disponível em: < http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=37>. Acesso: 21/02/2018.

ARAÚJO, L. E.; Da SILVA, D. F. Influência da variabilidade climática sobre a distribuição espaço-temporal da precipitação na Região do Baixo Paraíba (PB). **Caminhos de Geografia (UFU)**, v. 12, p. 289-304, 2011.

ARNOLD, J., ALLEN, P., MUTTIAH, R., BERNHARDT, G. Automated base flow separation and recession analysis techniques. **Groundwater**, v. 33 (6), p. 1010–1018, 1995. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-6584.1995.tb00046.x> >. Acesso: 25/04/2018.

BANCO MUNDIAL. **Governance and Development**. Washington, Abril, 1992. ISBN 0-8213-2094-7. Disponível em: < <http://documents.worldbank.org/curated/pt/604951468739447676/pdf/multi-page.pdf> >. Acesso: 21/02/2018.

BORTOLIN, T. A.; REGINATO, P. A. R.; PRESOTTO, M. A.; SCHNEIDER, V. E.; MENDES, L. A. Análise de diferentes funções-objetivo na calibração do modelo chuva-vazão smap. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2017. Florianópolis, 2017. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10183/173868> >. Acesso: 20/05/2018.

BRASIL. Código de Águas. Decreto N° 24.643, de 10 de Julho de 1934.

BRASIL. Criação da Agência Nacional de Águas – ANA. Lei N° 9.984, de 17 de Julho de 2000.

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

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei N° 9.433, de 08 de Janeiro de 1997.

BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Verificação da Eficiência e Eficácia de um Algoritmo Evolucionário Multi-objetivo na Calibração Automática do Modelo Hidrológico IPH II. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n.3, 37-50 p. Jul/Set 2009.

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.

BRUŠKOVÁ, V. Assessment of the base flow in the upper part of Torysa river catchment. **Slovak Journal of Civil Engineering**, 2008. Disponível em: < https://www.svf.stuba.sk/buxus/docs/sjce/2008/2008_2/file2.pdf >. Acesso: 25/04/2018.

CASTRO, A. C. **Padrões de variabilidade intrasazonal sobre a cidade de São Paulo e Oceano Atlântico Sul adjacente utilizando a análise de ondeleta, no período de 1982 a 2005**. Dissertação de Mestrado. USP. Novembro, 2007.

CHEN, J., NIU, J., SIVAKUMAR, B. Daily anomalous high flow (DAHF) of a headwater catchment over the East River basin in South China. **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 284–294, 2014.

CHEN. X.; CHEN, D. Y.; CHEN, X. Simulation of baseflow accounting for the effect of bank storage and its implication in baseflow separation. **Journal of Hydrology**, v.327, p.539– 549, 2006.

CLAUSEN, B. Discharge Date Collection and Analysis Strategies in Low Studies. Department of Earth Sciences Aarhus University, Denmark. **Nordic Hydrology**. v. 26, p. 191-204, 1995.

COELHO, G.; PONTES, L. M.; BATISTA, M. L.; MELLO, R.; SILVA, A. M. Relação entre o Escoamento de Base e os Diferentes Sistemas Hidrogeológicos do Estado de Minas Gerais. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 29, n. 3, p. 257-267, 2015.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. Introduzindo hidrologia. **Apostila**. p. 274. 6. ed. Porto Alegre, RS: IPH UFRGS, 2008.

COLLISCHONN, W; FAN, F. 2012. Defining Parameters for Eckhardt’s Digital Base Flow Filter. **Hydrological Processes**. v. 27(18), 2012. Disponível em: < <https://doi.org/10.1002/hyp.9391> >. Acesso: 25/04/2018.

- CONDEPE/FIDEM. **Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco.** Base Cartográfica: Arquivo Gráfico Municipal, 1998. Disponível em: < <http://www.condepefidem.pe.gov.br/web/condepe-fidem/cartografia1> >. Acesso: 19/12/2017.
- COSTA FILHO, W. D.; COSTA, W.D. . Caracterização hidrogeológica do estado de Pernambuco. In: 1st Joint World Congress on Groundwater, 2000, Fortaleza. **Anais** do 1st Joint World Congress on Groundwater, 2000.
- DORA, A.S. **Quantificação de reservas renováveis de água subterrânea em bacias hidrográficas a partir de séries históricas de vazão: uma ferramenta para a gestão e bacias.** Trabalho de conclusão de curso. Instituto de Pesquisas hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2013.
- ECKHARDT, K. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. **Hydrological Processes**. V.19, p. 507–515, 2005.
- EUROPA. Diretiva 2000/60/CE – quadro de ação comunitária no domínio da política da água. Diretiva Marco da Água.
- FAN, Y., Li, H., MIGUEZ-MACHO, G. Global patterns of groundwater table depth. **Science**, v. 339 (6122), p. 940–943, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1126/science.1229881> >. Acesso: 25/04/2018.
- FLEISCHMANN, A.; PAIVA, R.; COLLISCHONN, W. Modelos hidrológicos-hidráulicos de grandes bacias: comparação entre modelos 1D e 2D na bacia do Rio Negro, Amazônia. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2017. Florianópolis, 2017.
- FIGUEIREDO, N.M. DE; BLANCO, C. J. C. Modelos RNA como ferramentas de previsão de aflúências e de níveis de água em AHE. **RIPE**, v. 2, n. 9, 2016.
- FSUP. Flood Studies Update Programme: Work Package 5.2 - Base Flow Index derived from soils. **Draft Final Report**. Project no.1718/WP 5.2DFR/Version no.1/Rev no. 1; August, 2009.
- FUREY, P. R.; GUPTA, V.K. A physically based filter for separating base flow streamflow time series. **Water Resourcer Research**, v. 37, n. 11, p. 2709-2722, 2001.
- GLOBAL WATER PARTNERSHIP. **Dialogue on effective water governance: learning from the dialogues.** GWP. Estocolmo, Suécia, 2002. Disponível em: < <http://www.waterinfo.gr/pages/GWPfolderGovernance.pdf> .>. Acesso: 04/01/2018.
- GOMEZ-LUNA, E.; SILVA, D.; APONTE, G.; PLEITE, J.G.; HINESTROZA, D. **IEEE Trans. Power**. v. 28, p. 1242 – 1244, 2013.
- GONÇALVES, Arlindo. O conceito de governança. In: XV Congresso Nacional do
- CONPEDI/UEA - Manaus: **Anais** de Congresso, 2006. Disponível em: < <http://www.egov.ufsc.br/portal/conteudo/o-conceito-de-governan%C3%A7a> >. Acesso: 04/01/2018.

- GOUPILLAUD, P., GROSSMANN, A., MORLET, J. Cycle-octave and related transforms in seismic signal analysis. **Geoexploration**, v. 2, p. 85-105, 1984.
- GRANJA, S.I.B. Negociação na governança da água e as inovações na construção de consenso em comitês de bacia hidrográfica: o “Water governance game”. In: **Anais do Encontro Governança da Água na América Latina**, 2007.
- GRASZKIEWICZ, Z., MURPHY, R., HILL, P., NATHAN, R. Review of techniques for estimating the contribution of baseflow to flood hydrographs. In: **Proceedings of the 34th World Congress of the International Association for Hydro-Environment Research and Engineering: 33rd Hydrology and Water Resources Symposium and 10th Conference on Hydraulics in Water Engineering**. Engineers Australia, p. 138, 2011.
- GUSTARD, A; MARSHALL, D.C.W.; SUTCLIFFE, M. F. Low flow estimation in Scotland. Institute of Hydrology: **Report N ° 101**. Wallingford, United Kingdom, 1987.
- HAN, D. e HAMMOND, M. Recession curve estimation for storm event separations. **Journal of Hydrology**. v.330, p.573– 585, 2006.
- HEALY, R.W. **Estimating Groundwater Recharge**. Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 244, 2010.
- HIRATA, R.; ZOBBI, J.; OLIVEIRA, F. 2010. Águas subterrâneas: reserva estratégica ou emergencial. In: Bicudo, C.; Fundido, J.; Scheuenstuhl, M.(Org.). **Águas do Brasil: análises estratégicas**. 1.ed. São Paulo: Instituto de Botânica, v.1, p.144-164.
- HOSHI, Y.; YAKABE, N.; ISOBE, K.; SAITO, T.; SHITANDA, I.; ITAGAKI, M. Wavelet transformation to determine impedance spectra of lithiumion rechargeable battery. **Journal of Power Sources**, v. 315, p. 351 e 358, 2016. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.03.048> >. Acesso: 25/04/2018.
- IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Lauda Biológico para Determinação da Área de Influência do Estuário do Rio Sirinhaém – PE**. Recife, 2008.
- 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.
- INSTITUTE OF HYDROLOGY. **Low flow studies report**, 3 volumes. Institute of Hydrology, Wallingford, UK, 1980.
- 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.
- JEMCOV, I e PETRIC, M. Measured precipitation vs. effective infiltration and their influence on the assessment of karst systems based on results of the time series analysis. **Journal of Hydrology**, v. 379; p. 304–314, 2009.

KINKELA, K., PEARCE, L. Assessment of baseflow seasonality and application to design flood events in southwest Western Australia. *Aust. J. Water Resour.* 18(1), 27, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.7158/W13-024.2014.18.1> >. Acesso: 25/04/2018.

LABAT, D. Recent advances in wavelet analyses: Part 1. A review of concepts. **Journal of Hydrology**, v. 314 (1–4), p. 275–288, 2005.

LABAT, D. Wavelet analysis of annual discharge records of the world's largest rivers. **Adv. Water Resour.** V. 31, p.109–117, 2008.

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.

LAUTZE, J. et al. Putting the cart before the horse: water governance and IWRM. **Natural Resources Forum**. United Nations, v. 35, p. 1-8, 2011.

LEÃO, C. **Variabilidade espaço-temporal da concentração de clorofila-a e temperatura da superfície do mar estimadas por satélite na Margem Continental Sudeste Brasileira**. Dissertação de Mestrado. INPE. São José dos Campos, 2008.

LONGOBARDI, A.; VILLANI, P. Baseflow index regionalization analysis in a mediterranean area and data scarcity context: Role of the catchment permeability index. **Journal of Hydrology**, v.355, p.63– 75, 2008.

LOTT, D.A., STEWART, M.T. Base flow separation: a comparison of analytical and mass balance methods. **Journal of Hydrology**, v. 535, p. 525–533, 2016. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.063> >. Acesso: 10/05/2018.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Recursos hídricos: direito brasileiro e internacional**. São Paulo: Malheiros, p.58, 2002.

MAKRIDAKIS, S.G. Forecasting: Methods and Applications. 3th edition, **Jonh Wiley & Sons**, 1998.

MATTIUZZ, C. D. P. **Estimativa de recarga a partir da separação de escoamento de base na bacia hidrográfica do Rio Ibicuí/RS**. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Ambiental- Instituto de Pesquisas hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

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: < [doi:10.4136/ambi-agua.179](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.179) >. Acesso: 18/04/2018.

MEDEIROS, P. da C. **Abordagens para a separação dos escoamentos: subsídios ao instrumento da outorga de água na região sedimentar do baixo Paraíba**. Dissertação de Doutorado. UFCG. Campina Grande, 2011.

MEI, Y., ANAGNOSTOU, E.N. A hydrograph separation method based on information from rainfall and runoff records. **Journal of Hydrology**, v. 523, p. 636–649, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.083> >. Acesso: 25/04/2018.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Nacional de Recursos Hídricos: panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil**. Volume I. Brasília, 2006.

MOREIRA, M.C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006. Disponível em: < <http://locus.ufv.br/handle/123456789/3614> >. Acesso: 04/01/2018.

MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M. **Séries Temporais**. 2. ed. São Paulo Editora Atual, 2004.

MORTATTI, J.; BORTOLETTO JÚNIOR, M.J.; MILDE, L.C.E.; PROBST, J.L. Hidrologia dos Rios Tietê e Piracicaba: séries temporais de vazão e hidrogramas de cheia. **Revista Ciência & Tecnologia**, Piracicaba, v.12, n.23. p. 55-67, jan./jun. 2003.

NATHAN, R.J. e MCMAHON, T.A. Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analysis. **Water Resources Research**, v.26. n.7, p.1465–1473, 1990.

NIU, J. Precipitation in the Pearl River basin, South China: scaling, regional

NIU, J., CHEN, J., SIVAKUMAR, B. Teleconnection analysis of runoff and soil moisture over the Pearl River basin in South China. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 18, p. 1475–1492, 2014.

NIU, J., SIVAKUMAR, B. Scale-dependent synthetic streamflow generation using a continuous wavelet transform. **Journal of Hydrology**, v. 496, p. 71–78, 2013.

NOURANI, V., KOMASI, M., ALAMI, M.T. Hybrid wavelet-genetic programming approach to optimize ANN modeling of rainfall–runoff process. **Journal of Hydrology**, v. 17 (6), p. 724–741, 2012.

NOURANI, V., KOMASI, M., MANO, A. A multivariate ANN-wavelet approach for rainfall–runoff modeling. **Water Resour**, v. 23 (14), p. 2877–2894, 2009.

OLIVEIRA, H.M. **Análise de Sinais para Engenheiros: Uma Abordagem via Wavelets**. Editora, Rio de Janeiro, Brasport, 2007.

OLIVEIRA, L.C. K. de; CANELLAS, A. V. B. Importância de dados hidrometeorológicos confiáveis no gerenciamento de recursos hídricos. Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos. **Anais...** Gramado, RS, de 5 a 8 de Outubro de 1998. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/267844665_IMPORTANCIA_DE_DADOS_HIDROMETEOROLOGICOS_CONFIAVEIS_NO_GERENCIAMENTO_DE_RECURSOS_HIDRICOS >. Acesso: 20/01/2018.

OLIVEIRA, P. B. M. **Delimitação dos Domínios do Escoamento – Região do Baixo Curso do rio Paraíba**. Trabalho de Conclusão de Curso. Agosto, 2013.

ORTEGA, Diego Javier Perez. **Avaliação dos efeitos das atividades antrópicas na bacia hidrográfica do Córrego do Ipê, município de Ilha Solteira - SP**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de Conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2011.

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.

ÖZGER, M., MISHRA, A.K., SINGH, V.P. Scaling characteristics of precipitation data in conjunction with wavelet analysis. **Journal of Hydrology**, v. 395, p. 279–288, 2010. patterns, and influence of large-scale climate anomalies. **Stoch. Env. Res. Risk Assess**, v. 27 (5), p. 1253–1268, 2013.

PEIXINHO, Frederico Cláudio. Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos. **Anais... XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços**. São Paulo, 2010. Disponível em <
http://www.cprm.gov.br/publique/media/evento_PAP003029.pdf> Acesso: 12/02/2018.

PERNAMBUCO. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Bacias hidrográficas de Pernambuco**. Recife, Comunigraf, 2006. 104 p. ISBN 978-85-60323-03-6.

PERNAMBUCO. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos – Documento Síntese**. Recife, 1998.

PINHEIRO, V. B. **Calibração de um modelo chuva-vazão em bacias sem monitoramento fluviométrico a partir de curvas de permanência sintéticas**. Tese de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

PINHEIRO, Viviane Borda; NAGHETTINI, Mauro. 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 Abr/Jun 2010, 143-156. 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: 12/02/2017.

PINTO, J. A. O. **Avaliação de métodos para a Regionalização de curvas de Permanência de vazões para a bacia do Rio das Velhas**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Universidade Federal de Minas Gerais. 2006.

PINTO, N.L.; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J.A. **Hidrologia de superfície**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. 179 p.

PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V.S.; SILVA, D.D. **Escoamento Superficial**. Viçosa-MG, Editora UFV, P.88, 2003.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/ USP, 1998.

ROBLES, Carmen Tirado. La política del agua en el Marco Comunitario y su Integración en España. Editorial Aranzadi. **Colección Divulgación Jurídica**, 2004.

ROGERS, P.; HALL, A. Governança da Água eficaz. Comitê Técnico Global Water Partnership. Fundo n. 7, **papel**, 2003.

ROUEFF, F., & Sachs, R. Locally stationary long memory estimation. **Stochastic Processes and Their Applications**, v. 121, p. 813–844, 2011.

SACO, P., KUMAR, P. Coherent modes in multiscale variability of streamflow over the United States. **Water Resour. Res.**, v. 36 (4), p. 1049–1067, 2000.

SANT'ANNA, F. M. Governança global dos recursos hídricos transfronteiriços: o papel da cooperação internacional e da cooperação transfronteira. In: 3º Encontro Nacional ABRI. **Anais...** ISBN: 2236-7381 São Paulo, 2010.

SEHGAL, V., SAHAY, R.R., CHATTERJEE, C. Effect of utilization of discrete wavelet components on flood forecasting performance of wavelet based ANFIS models. **Water Resour. Manag.**, v. 28 (6), p. 1733–1749, 2014b.

SEHGAL, V., TIWARI, M.K., CHATTERJEE, C. Wavelet bootstrap multiple linear regression based hybrid modeling for daily river discharge forecasting. **Water Resour. Manag.**, v. 28 (10), p. 2793–2811, 2014a.

SEMA. Secretaria de Estado de Meio Ambiente: **Manual para usuários: outorga de direito de uso de recursos hídricos**, Belém, 2014.

SHOAIB, M., SHAMSELDIN, A.Y., MELVILLE, B.W. Comparative study of different wavelet based neural network models for rainfall–runoff modeling. **Journal of Hydrology**, v. 515, p. 47–58, 2014.

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.

SILVA, M; OLESKOVICZ, M.; COURY, D, V. Uma nova ferramenta baseada na transformada wavelet para localização digital de faltas. **Revista Controle & Automação**, v.16, n. 3. Julho, Agosto e Setembro, 2005.

SILVEIRA, R.C. **Estudo de perdas de solo e água, sob diferentes níveis de resíduos culturais de milho, usando um simulador de chuvas**. 1998. 52 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

SIMPLÍCIO, Carinna Gonçalves; FARIA, Leonardo Vieira de. Outorga de Direito de uso dos Recursos Hídricos e suas implicações na Atividade Agropecuária. *Revista Referência - Ano 2 - Nº 2 - 2º Semestre 2016 – ISSN 2359-5728*. Disponível em: <

<http://www.unifemm.edu.br/revistareferencia/wp-content/uploads/2016/10/artigo-outorga.pdf>
>. Acesso: 19/04/2018.

SMAKHTIN, V.U. **Low flow hydrology: a review.** *Journal of Hydrology*, v. 240, p. 147-186, 2001.

SMITH, L.C., TURCOTTE, D.L., ISACKS, B.L. Streamflow characterization and feature detection using a discrete wavelet transform. *Hydrol. Process.*, v. 12 (2), p. 233–249, 1998.

STEWART, M., CIMINO, J., ROSS, M. Calibration of base flow separation methods with streamflow conductivity. *Ground Water*, v. 45 (1), p. 17–27, 2007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-6584.2006.00263.x> >. Acesso: 25/04/2018.

TAKATA, K. The papers of technical meeting on ICC. *IEEE Jpn.*, p. 13 – 18, 2002.

TALLAKSEN, L. M. A review of baseflow recession analysis. *Journal of Hydrology*, v. 165 (1–4), p. 349–370, 1995. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)02540-r](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(94)02540-r) >. Acesso: 25/04/2018.

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: 05/01/2018.

TORRENCE, C. A & COMPO, G., P. A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Interactive Wavelet Plot*. Disponível em: <http://paos.colorado.edu/research/wavelets/>. Acesso em: 21/03/2017.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009, 943 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2013.

TUCCI, C. E. M.; MENDES A. C. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. MMA. PNUD, p.311, 2006.

TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. ABRH Editora da UFRGS. Porto Alegre. 669 p., 1998.

TUCCI, C.E.M. Parâmetros do Hidrograma Unitário para bacias urbanas brasileiras. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre- RS. ABRH Vol 8 n.2 (abr/jun) 195-199 p. 2003. Disponível em: < <http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/01/arthu03.pdf> >. Acesso: 20/04/2018.

TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.2, n.1, p.135-152, 1997.

TULARAM, G.A., ILAHEE, M. Exponential smoothing method of base flow separation and its impact on continuous loss estimates. *Am. J. Environ. Sci.* 4 (4), p. 373–381, 2008. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.3844/ajessp.2008.136.144> >. Acesso: 25/04/2018.

TUNDISI, J. G. Water Programme: bridging water research, innovation and management: enhancing global water management capacity. In: Integrated water resources management. **Royal Scientific Society Jordan**, IAP Water Programme, WAITRO. P. 1-10, 2009.

VILLAR, Pilar Carolina. Governança da Água na América Latina. Unidade 1 Governança hídrica: definições e arcabouço legal. **Curso de Capacitação da ANA**. São Paulo, 2011. Disponível em: < https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/78/6/UNIDADE_1.pdf >. Acesso: 02/01/2018.

VILLAR, Pilar Carolina. Governança dos riscos e os aquíferos transfronteiriços. **GEOUSP: espaço e tempo**, n. 31, São Paulo. Especial, p. 93-107, 2012. Disponível em < <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2012.74272> >. Acesso: 04/01/2018.

WAHL, R.S.; WAHL, T.L. Determining the Flow of Comal Springs at New Braunfels, Texas, Texas Water '95. **American Society of Civil Engineers**, August 16-17, 1995, San Antonio, Texas, p. 77-86, 1995.

WITTENBERG, H., SIVAPALAN, M. Watershed groundwater balance estimation using streamflow recession analysis and baseflow separation. **Journal of Hydrology**, 219 (1), p. 20–33, 1999. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00040-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00040-2) >. Acesso: 25/04/2018.

YIOU, P., SORNETTE, D., GHIL, M. Data-adaptive wavelets and multi-scale singular-spectrum analysis. **Physica D.**, v.142 (3), p. 254–209, 2000.

ZHANG, L., BRUTSAERT, W., CROSBIE, R., POTTER, N. Long-term annual groundwater storage trends in Australian catchments. *Adv. Water Res.*, v. 74, p. 156–165, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2014.09.001> >. Acesso: 10/02/2018.

ZOPPOU, C., NIELSEN, O.M., ZHANG, L. Regionalization of Daily Streamflow in Australia Using Wavelets and k-means Analysis. **CMA Research Report MRR02- 003**. Australian National University, Canberra, 2002.